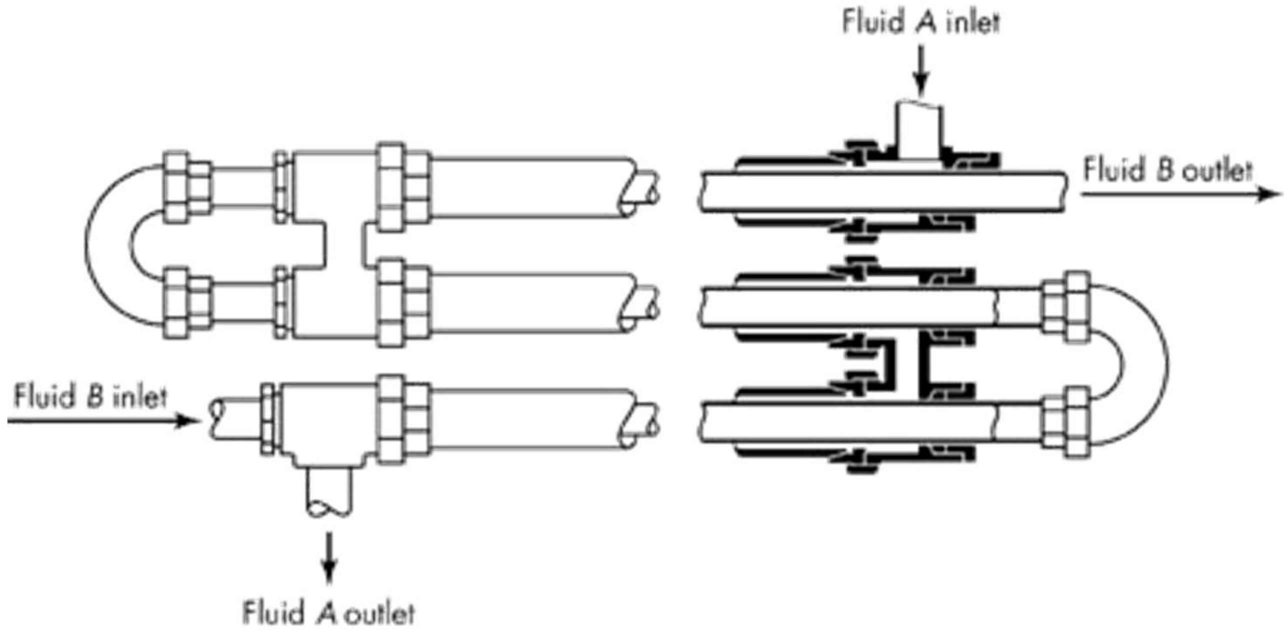
ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΧΡ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΑ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

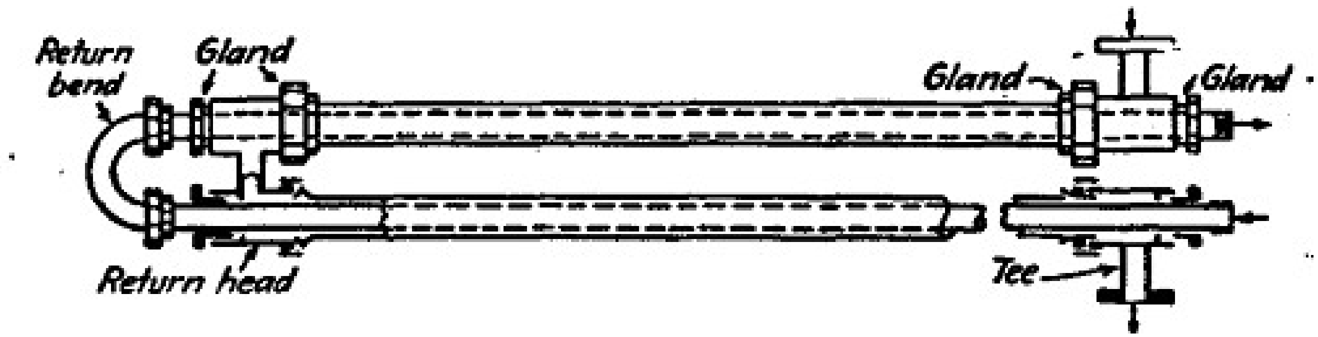
- Εναλλάκτης Θερμότητας είναι μια συσκευή μέσα στην οποία θερμότητα μεταφέρεται από ένα **θερμό** *ρέον ρευστό* προς ένα **ψυχρό** *ρέον ρευστό.*
- Αν έχουμε αλλαγή φάσης τότε ο εναλλάκτης ονομάζεται (ανάλογα) συμπυκνωτής, αναβραστήρας (θυμηθείτε Φυσικές Διεργασίες Ι), εξατμιστήρας, κλπ.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΤΥΠΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ
Εναλλάκτης Τύπου Διπλού Αυλού

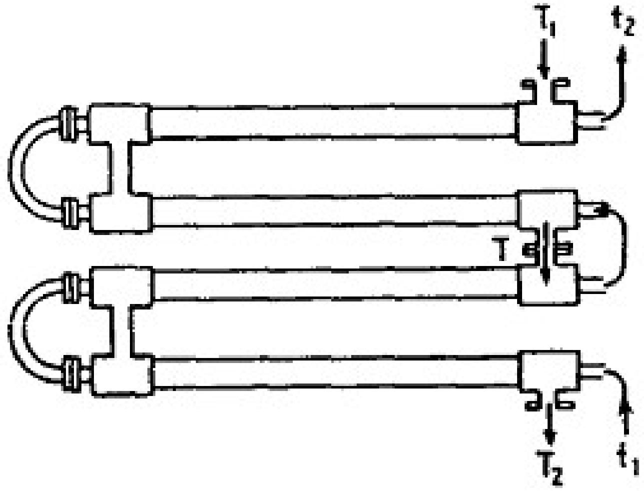


- Τυπικές διαστάσεις:
  - εσωτερικός σωλήνας 1¼ in
  - εξωτερικός σωλήνας 2½ in
- Για $A \lesssim 10 - 12\ \mathrm{m}^2$

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΤΥΠΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ
Εναλλάκτης Τύπου Διπλού Αυλού



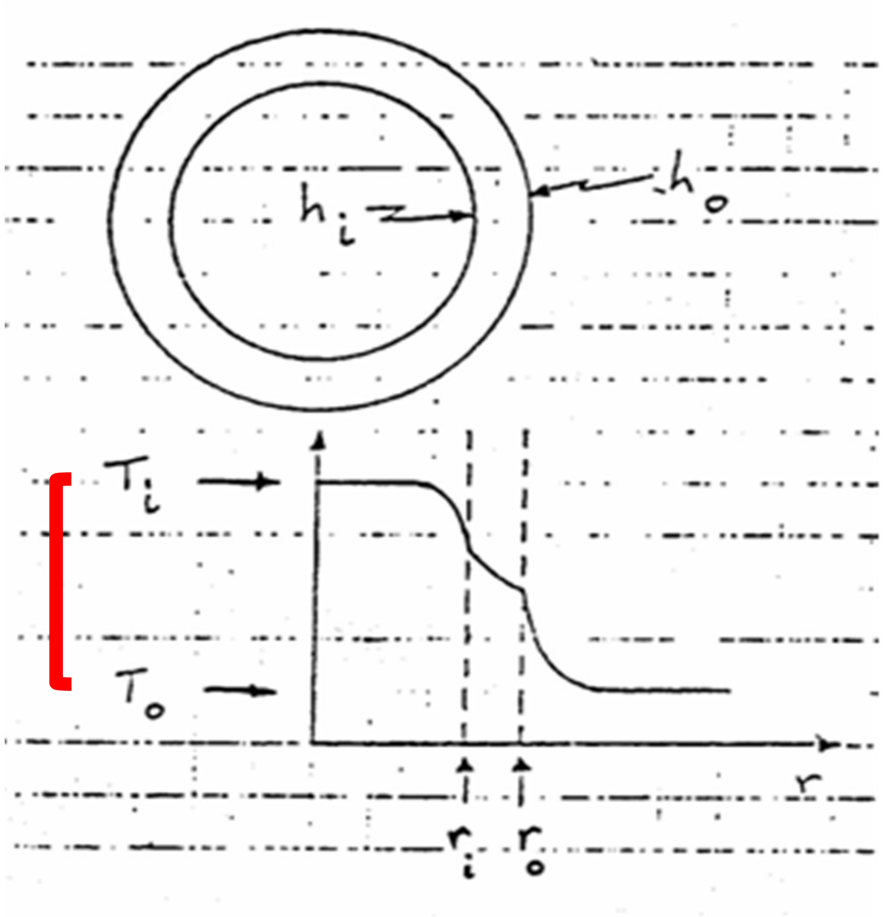
Εναλλάκτης τύπου διπλού αυλού μια “φουρκέτα”



Εναλλάκτης τύπου διπλού αυλού. Δύο φουρκέτες σε σειρά

ΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ , U

Τοίχωμα Αυλού



$Q = A_o U_o \, \Delta T = A_i \, U_i \, \Delta T$

$\Delta T = T_i - T_o$

$A_o = 2\pi r_o L$

$$U_o = \frac{1}{r_o}\left(\frac{1}{r_i h_i} + \frac{1}{k_\tau}\ell n\frac{r_o}{r_i} + \frac{1}{r_o h_o}\right)^{-1}$$

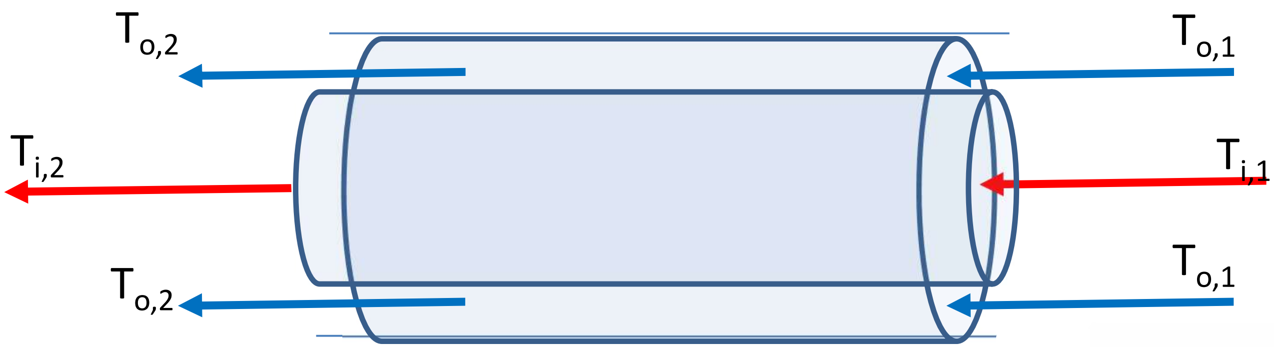
$A_i = 2\pi r_i L$

$$U_i = \frac{1}{r_i}\left(\frac{1}{r_i h_i} + \frac{1}{k_\tau}\ell n\frac{r_o}{r_i} + \frac{1}{r_o h_o}\right)^{-1}$$

Κατανομή θερμοκρασίας μέσα και έξω από τον αυλό. Περίπτωση όπου το θερμό ρεύμα ρέει στο εσωτερικό του αυλού.

ΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ , U

ΔΤ η οδηγούσα δύναμη

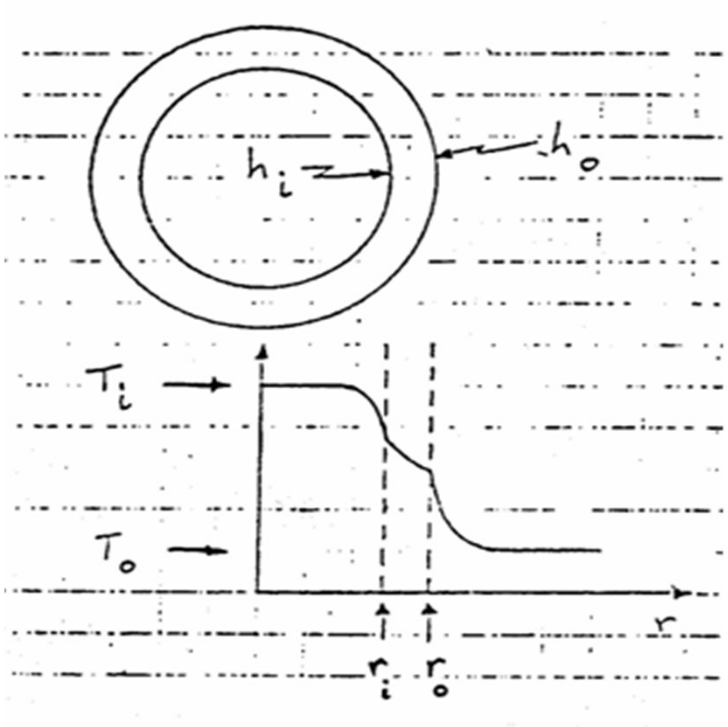


$Q = A_o U_o \, \Delta T = A_i \, U_i \, \Delta T$

$\Delta T_1 = T_{i,1} - T_{o,1}$

$\Delta T_2 = T_{i,2} - T_{o,2}$

$A_o = 2\pi r_o L$



ΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ , U

Συντελεστή Ρυπάνσεως

Αποθέματα στις επιφάνειες ενός εναλλάκτη δημιουργούν μια πρόσθετη **θερμική** αντίσταση και έτσι **μειώνουν** τον ολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Αυτό πρέπει να προβλέπεται στο σχεδιασμό

$$\frac{1}{U_{\sigma\chi}} = \frac{1}{U} + R_{\rho,\varepsilon\sigma} + R_{\rho,\varepsilon\xi} \qquad U_{\sigma\chi} = \frac{U}{1+R_{\rho}U}$$

U= ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας

$U_{\sigma\chi}$= διορθωμένη τιμή του U, για σχεδιασμό

$R_{\rho,\varepsilon\sigma}$ **= συντελεστής ρυπάνσεως εσωτερικής επιφάνειας**

$R_{\rho,\varepsilon\xi}$ **= συντελεστής ρυπάνσεως εξωτερικής επιφάνειας**

$$\mathbf{R_{\rho} = R_{\rho,\varepsilon\sigma} + R_{\rho,\varepsilon\xi}}$$

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, h_{lm}

<u>Μεταφορά θερμότητας με Συναγωγή μέσα σε Αυλούς</u>

i) Στρωτή Ροή, Re_b <2100

Εξίσωση των Sieder and Tate (1936)

$$Re_b < 2100$$

$$Re_b \, Pr_b \, \frac{D}{L} > 10$$

$$Nu_{\ell m} = \frac{\boxed{h_{\ell m}} D}{k_b} = 1.86 \left(Re_b \, Pr_b \, \frac{D}{L}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} = 1.86 \left(\frac{4}{\pi} \frac{\dot{m} \, c_p}{k_b L}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

Ορισμοί

Re= [ρ U D]/μ = [G D]/μ =αδρανειακές δυνάμεις/ιξώδεις δυνάμεις

Pr_b= ν/α, ν= μ/ρ, κινηματικό ιξώδες,

α= κ/(ρ c_p), συντελεστής θερμικής διαχύσεως

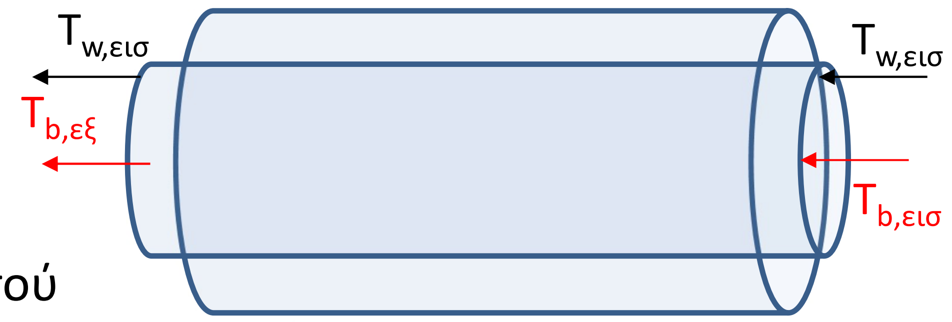
Pr_b= $\frac{c_p \mu_b}{k_b}$ **= Διαχυτότητα ορμής/ θερμική διαχυτότητα**

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, h

Nu_{lm}= μέσος αριθμός *Nusselt* για τη μέση λογαριθμική θερμοκρασία

h_{lm}= μέσος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας για τη μέση λογαριθμική θερμοκρασία

k_b= συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του ρευστού στη θερμοκρασία μίξεως T_b

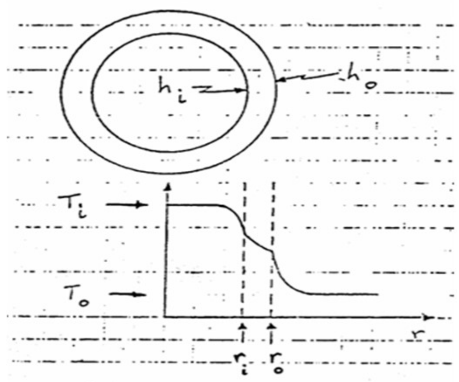


Re_b= = αριθμός *Reynolds* στην T_b

Pr_b= = αριθμός *Prandtl* στην T_b

G= = ρ<v>= μαζική ταχύτητα του ρευστού

μ_b= ιξώδες του ρευστού στην T_b



μ_w= ιξώδες του ρευστού στη θερμοκρασία του εσωτερικού τοιχώματος T_w

m ‘= μαζική παροχή του ρευστού

c_p= ειδική θερμότητα του ρευστού

Το ιξώδες, η θερμική αγωγιμότητα και η θερμοχωρητικότητα υπολογίζονται στην μέση θερμοκρασία μίξεως, T_b=1/2 [($T_{b,εισ}$+ $T_{b, εξ}$)]. Το μ_w υπολογίζεται στην μέση θερμοκρασία τοιχώματος, T_w=(1/2) [($T_{w,εισ}$+ $T_{w, εξ}$)]

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, h_{lm}

Έντονα τυρβώδης ροή, Sieder and Tate, 1936

Για L/D > 10, για $Re_b > 20000$

$$Nu_{\ell m} = \frac{\boxed{h_{\ell m}} D}{k_b} = \boxed{0.026\, Re_b^{0.8}}\, Pr^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

Συντελεστή –j του Colburn για μεταφορά θερμότητας, j_H

$$j_H = \boxed{0.026\, Re_b^{0.8}}$$

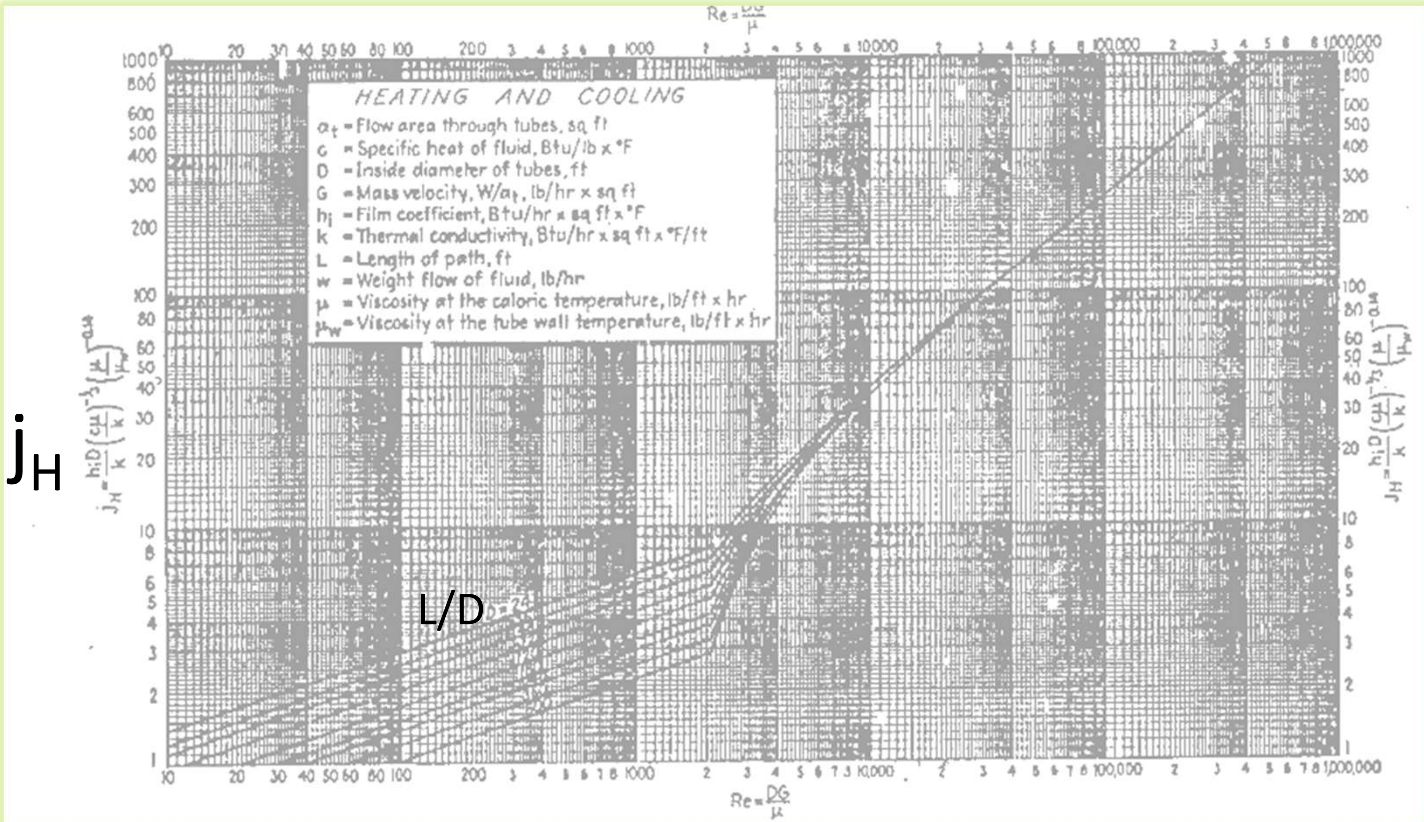
$Re_b > 20000$, $(L/D) > 10$

$$Nu_{\ell m} = \frac{h_{\ell m} D}{k_b} = \boxed{1.86 \left(Re_b\right.}\, Pr_b \boxed{\left.\frac{D}{L} \right)^{1/3}} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.14} = 1.86 \left(\frac{4}{\pi} \frac{\dot{m}\, c_p}{k_b L} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

$$j_H = \boxed{1.86 \left(Re_b \frac{D}{L} \right)^{1/3}}$$

$Re_b < 2100$, $Re_b Pr_b\, (L/D) > 10$

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, h



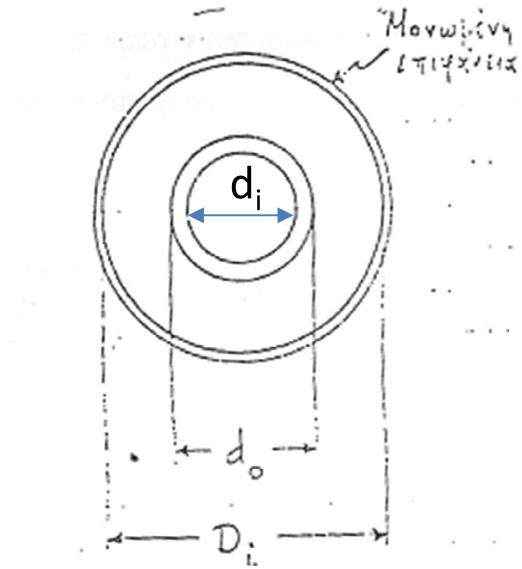
$$Re_b = \frac{GD}{\mu_b}$$

Τιμές του συντελεστή j_H για μεταφορά θερμότητας μέσα σε αυλούς. (Πηγή: Kern)

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, h

Μεταφορά Θερμότητας με Συναγωγή μέσα σε Αγωγούς Δακτυλιοειδούς Διατομής

Οι εξισώσεις που ισχύουν για το εσωτερικό αυλών ισχύουν και εδώ με την ακόλουθη τροποποίηση. Αντί της διαμέτρου D, χρησιμοποιούμε την ***ισοδύναμη διάμετρο:***



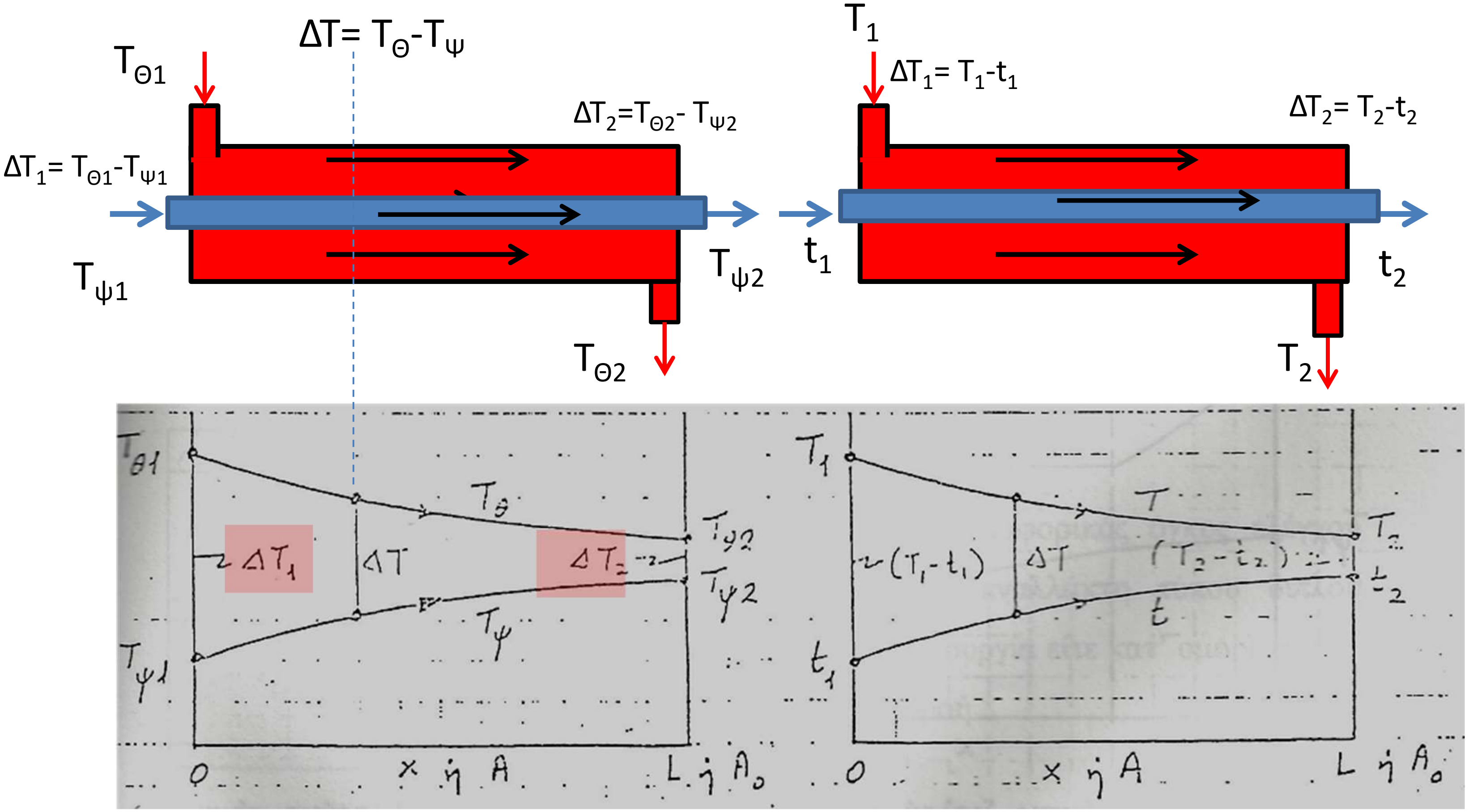
$$D_e = 4\frac{\text{εμβαδόν διατομής}}{\text{περίμετρος μεταφοράς θερμότητας}}$$

$$D_e = 4\frac{\frac{\pi}{4}\left(D_i^2 - d_0^2\right)}{\pi d_0} = \frac{D_i^2 - d_0^2}{d_0}$$

Η *υδραυλική διάμετρο $D_υ$* ορίζεται ως

$$D_υ = 4\frac{\frac{\pi}{4}\left(D_i^2 - d_0^2\right)}{\pi(D_i + d_0)} = D_i - d_0$$

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού, ΟΜΟΡΡΟΗ

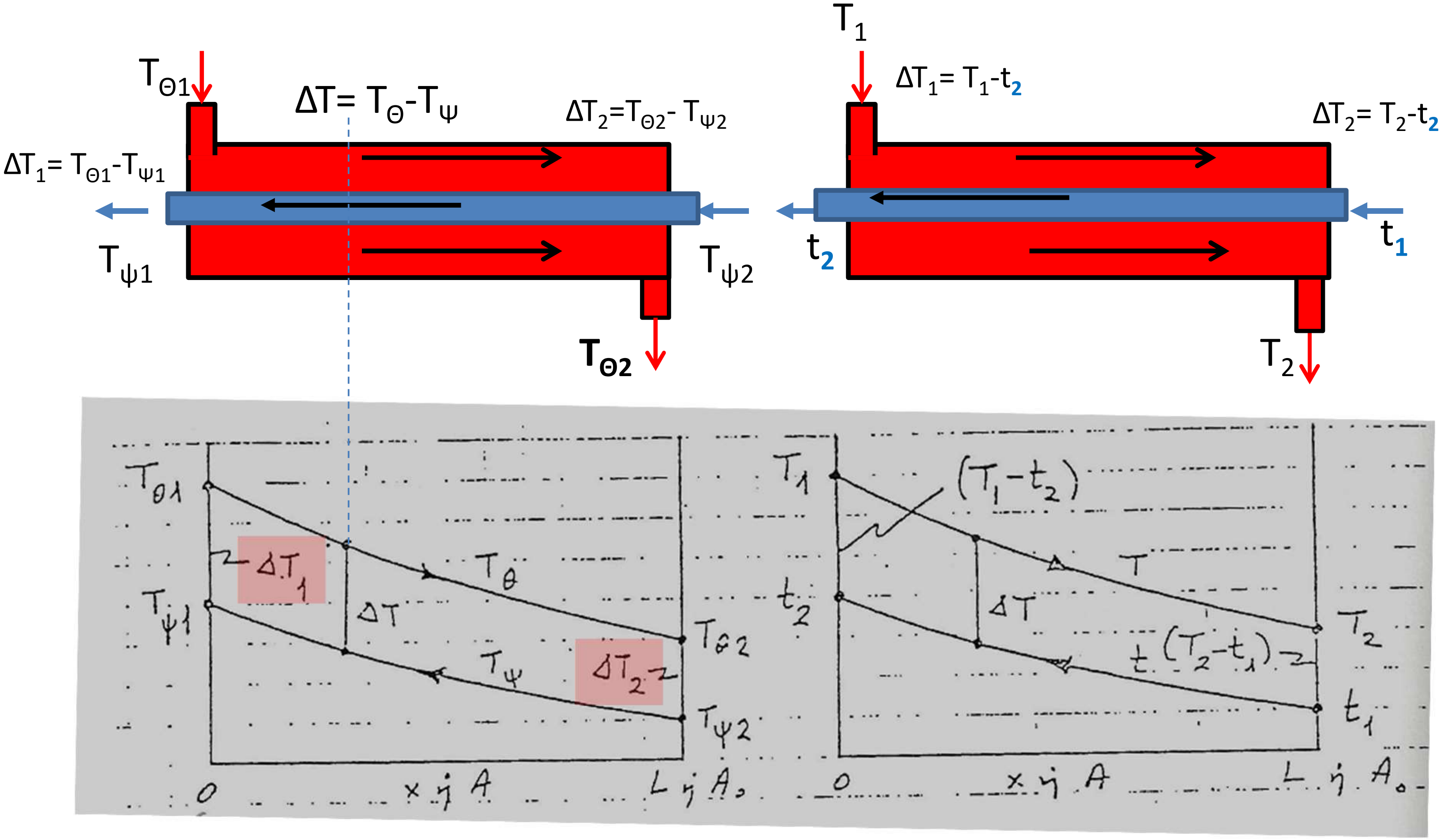


Q= A U ΔT, $\Delta T_1 = T_{\Theta 1} - T_{\psi 1}$, $\Delta T_2 = T_{\Theta 2} - T_{\psi 2}$, $\Delta T = T_{\Theta} - T_{\psi}$

Q= A U ΔT, $\Delta T_1 = T_1 - t_1$, $\Delta T_2 = T_2 - t_2$, $\Delta T = T - t$

Παρατηρούμε ότι $T_{\psi 2}$ (< ή =) $T_{\Theta 2}$

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού, ΑΝΤΙΡΡΟΗ



Q= A U ΔT, $\Delta T_1 = T_{\Theta 1} - T_{\psi 1}$, $\Delta T_2 = T_{\Theta 2} - T_{\psi 2}$, $\Delta T = T_\Theta - T_\psi$

Q= A U ΔT, $\Delta T_1 = T_1 - \mathbf{t_2}$, $\Delta T_2 = T_2 - \mathbf{t_1}$, $\Delta T = T - t$

Βλέπουμε ότι στην περίπτωση αντιρροής η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευμάτων ΔΤ είναι πιο ομοιόμορφη κατά μήκος του εναλλάκτη απ’ ότι στην περίπτωση ομορροής. **Επίσης $T_{\psi 1}$ μπορεί > $T_{\Theta 2}$**

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

<u>Συμφωνία 1</u>

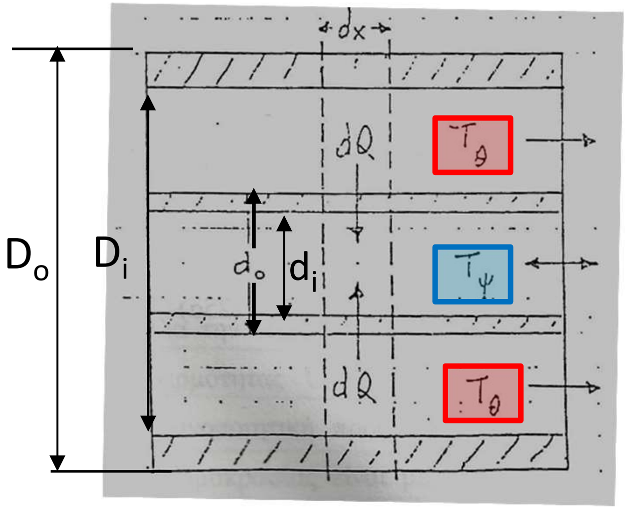
T_θ= θερμοκρασία θερμού ρευστού
T_ψ= θερμοκρασία ψυχρού ρευστού
$T_{\theta 1}$, $T_{\psi 1}$=θερμοκρασίες στην είσοδο του θερμού ρευστού
$T_{\theta 2}$, $T_{\psi 2}$=θερμοκρασίες στην έξοδο του θερμού ρευστού
$\Delta T_1=T_{\theta 1}-T_{\psi 1}$=διαφορά θερμοκρασίας στην είσοδο του θερμού ρεύματος
$\Delta T_2=T_{\theta 2}-T_{\psi 2}$=διαφορά θερμοκρασίας στην έξοδο του θερμού ρεύματος

<u>Συμφωνία 2</u>

T= θερμοκρασία θερμού ρευστού
t= θερμοκρασία ψυχρού ρευστού
T_1=θερμοκρασία εισόδου του θερμού ρευστού
t_1=θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού ρευστού
T_2=θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρευστού
t_2=θερμοκρασία εξόδου του ψυχρού ρευστού

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

Ανάλυση. Η Λογαριθμική Μέση Διαφορά Θερμοκρασίας



$dQ=U_0(T_\theta-T_\psi)dA=U_0\Delta T\, dA$ [22]

το ψυχρό ρεύμα κερδίζει ποσό θερμότητας $dQ_\psi(>0)$

ενώ το θερμό ρεύμα κερδίζει ποσό θερμότητας $dQ_\theta(<0)$.

$dQ_\psi=-dQ_\theta=dQ$

$dA=(\pi d_o)*dx$

Διαφορικός όγκος ελέγχου κατά μήκος εναλλάκτη τύπου διπλού αυλού. Λειτουργία είτε κατ’ ομορροή είτε κατ’ αντιρροή.

Αν U_0 είναι σταθερός κατά μήκος του εναλλάκτη

$$Q = U_0 A_0 (\Delta T)_{\ell m} \qquad (\Delta T)_{\ell m} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ell n\left(\dfrac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \qquad Q = U_0 A_0 \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ell n\left(\dfrac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

Αν U_0 ΔΕΝ είναι σταθερός κατά μήκος του εναλλάκτη

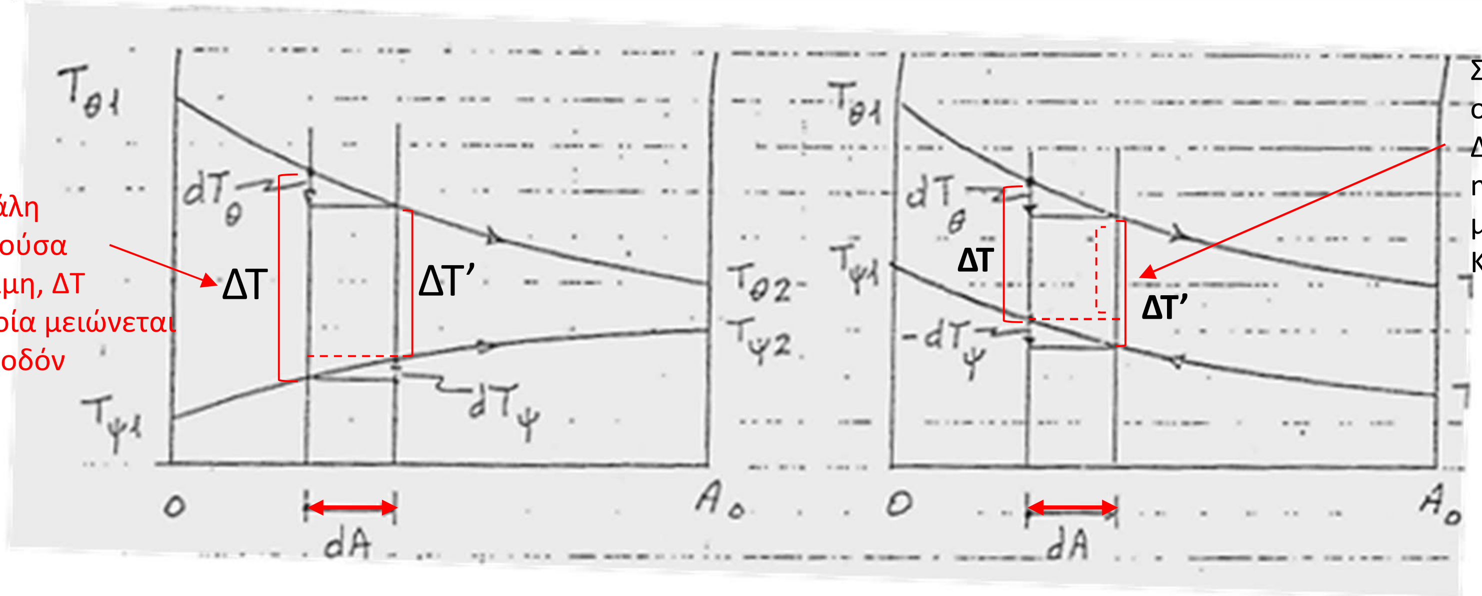
U_1=τιμή του U_0 στην είσοδο του θερμού ρευστού

U_2=τιμή του U_0 στην έξοδο του θερμού ρευστού

$$Q = A_0 \frac{U_2\Delta T_1 - U_1\Delta T_2}{\ell n \dfrac{U_2\Delta T_1}{U_1\Delta T_2}}$$

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

Ανάλυση. Η Λογαριθμική Μέση Διαφορά Θερμοκρασίας



Αλλαγές θερμοκρασίας κατά μήκος διαφορικού τμήματος (dA) του εναλλάκτη σε περίπτωση ομορροής και σε περίπτωση αντιρροής

$$dQ = \dot{m}_\psi c_{p,\psi} dT_\psi$$

$$-dQ = \dot{m}_\theta c_{p,\theta} dT_\theta$$

Λύνοντας τις Εξισ. ως προς dT_θ και dT_ψ και αφαιρώντας παίρνουμε

dΔT=ΔT-ΔT'

$$d\Delta T = d(T_\theta - T_\psi) = dT_\theta - dT_\psi = -\left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right) dQ$$

$$\int_{\Delta T_1}^{\Delta T_2} d\Delta T = -\left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right) \int_0^Q dQ$$

$$\Delta T_1 - \Delta T_2 = \left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right) Q$$

$$\left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right) = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{Q}$$

$dQ=U_0(T_\theta-T_\psi)dA=U_0\Delta T\, dA$

$$dQ = -\frac{d\Delta T}{\left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right)} = U_0 \Delta T dA$$

$$-\frac{d\Delta T}{\Delta T} = U_0 \left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right) dA$$

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού
Ανάλυση. Η Λογαριθμική Μέση Διαφορά Θερμοκρασίας

$$dQ = \dot{m}_\psi c_{p,\psi} dT_\psi$$

$$-dQ = \dot{m}_\theta c_{p,\theta} dT_\theta$$

$$d\Delta T = d(T_\theta - T_\psi) = dT_\theta - dT_\psi = -\left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right) dQ$$

$$\int_{\Delta T_1}^{\Delta T_2} d\Delta T = -\left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right)\int_0^Q dQ$$

$$\Delta T_1 - \Delta T_2 = \left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right) Q$$

$$\left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right) = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{Q}$$

dQ=$U_0(T_\theta - T_\psi)$dA=$U_0\Delta T$ dA

$$dQ = -\frac{d\Delta T}{\left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right)} = U_0 \Delta T dA$$

$$-\frac{d\Delta T}{\Delta T} = U_0\left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right) dA$$

$$\ell n\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = U_0\left(\frac{1}{\dot{m}_\theta c_{p,\theta}} + \frac{1}{\dot{m}_\psi c_{p,\psi}}\right) A_0$$

$$Q = U_0 A_0 \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ell n\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

Ορίζουμε τη *λογαριθμική μέση θερμοκρασία* $\Delta T_{\ell m}$ ως

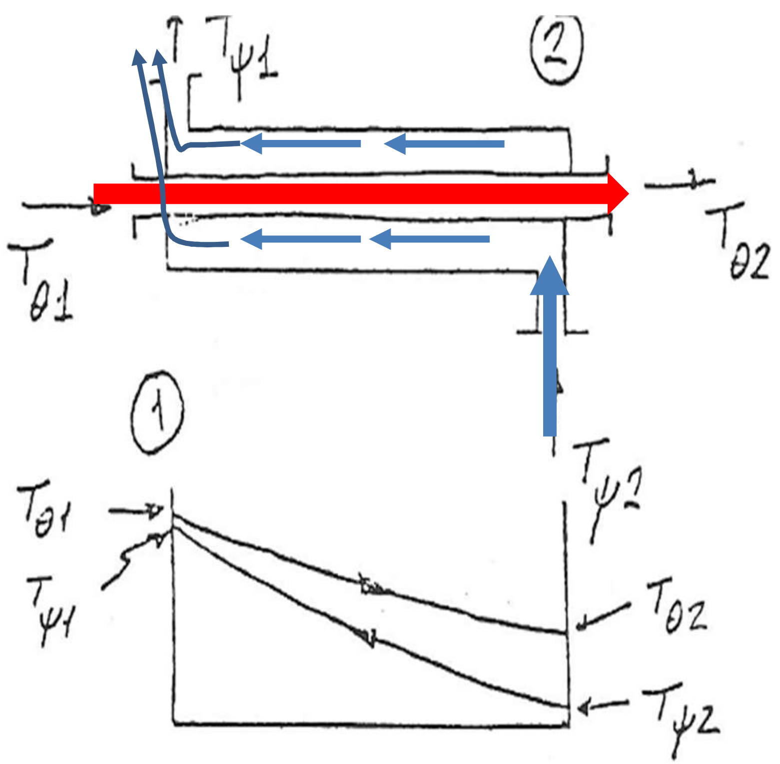
$$(\Delta T)_{\ell m} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ell n\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$Q = U_0 A_0 (\Delta T)_{\ell m}$$

Ισχύει και για ομορρόη και για αντιρροή

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

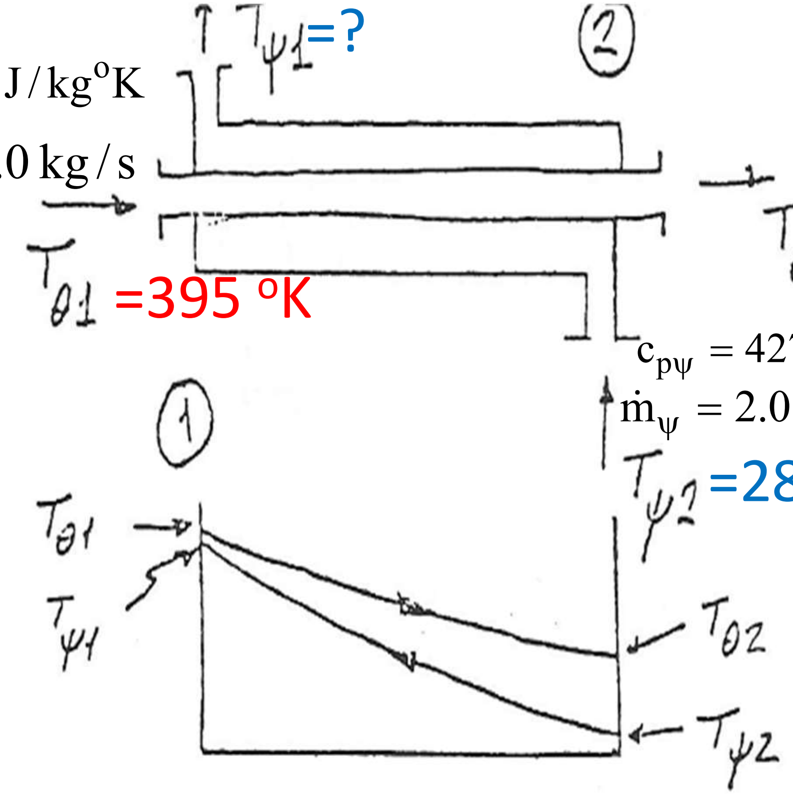
- **Παράδειγμα 4δ (σελ 143)**
- Ελαφρύ λιπαντικό έλαιο (c_p=2090 J/kg°K) ψύχεται με **νερό** (c_p=4271 J/kg°K) σε εναλλάκτη τύπου διπλού σωλήνα. **Το έλαιο** έχει θερμοκρασία εισόδου **395°**, εξόδου 305 K και ρέει με παροχή 5.0 kg/s. Νερό είναι διαθέσιμο σε θερμοκρασία 280°K και με μέγιστη παροχή 2.0 kg/s. Έχουμε U_0=1136 Watt m^{-2}°K^{-1}.
- (α) Υπολογίστε την απαιτούμενη επιφάνεια ***για αντιρροή.***
- (β) Υπολογίστε το ελάχιστο ποσό νερού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί
- (γ) Ποιο είναι το ελάχιστο ποσό νερού που θα ήταν απαραίτητο γι αυτή τη ψύξη, αν ο εναλλάκτης λειτουργούσε κατ' ομορροή;
- (δ) Αν η επιφάνεια του εναλλάκτη είναι 5 m^2 και λειτουργεί κατ' αντιρροή με παροχή νερού 2.0 kg/s, ποια θα είναι η θερμοκρασία εξόδου του ελαίου (θερμοκρασία εισόδου=395°K);



ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

$c_{p\theta} = 2090\, J/kg^{o}K$

$\dot{m}_{\theta} = 5.0\, kg/s$



$c_{p\psi} = 4271\, J/kg^{o}K$

$\dot{m}_{\psi} = 2.0\, kg/s$

$U_0 = 1136\, W/m^2\, {}^{o}K$

A_o= ?

$$Q = U_0 A_0 \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ell n\left(\dfrac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$\boldsymbol{Q_{\Theta}} = \dot{m}_{\theta}\, c_{p,\theta}\, \Delta T_{\theta} = \boldsymbol{Q_{\psi}} = \dot{m}_{\psi}\, c_{p,\psi}\, \Delta T_{\psi}$$

$$\Delta T_1 = T_{\theta,1} - T_{\psi,1} = 395\text{ K} - T_{\psi,1} = 4{,}9K$$

$$\Delta T_{\theta} = T_{\theta,1} - T_{\theta,2} = (395 - 305)K = 90\ K$$

$$\Delta T_2 = T_{\theta,2} - T_{\psi,2} = (305\text{-}280)\text{ K} = 25\text{ K}$$

$$\Delta T_{\psi} = T_{\psi,1} - T_{\psi,2} = \left(T_{\psi,1} - 280\right)K = ?\ K$$

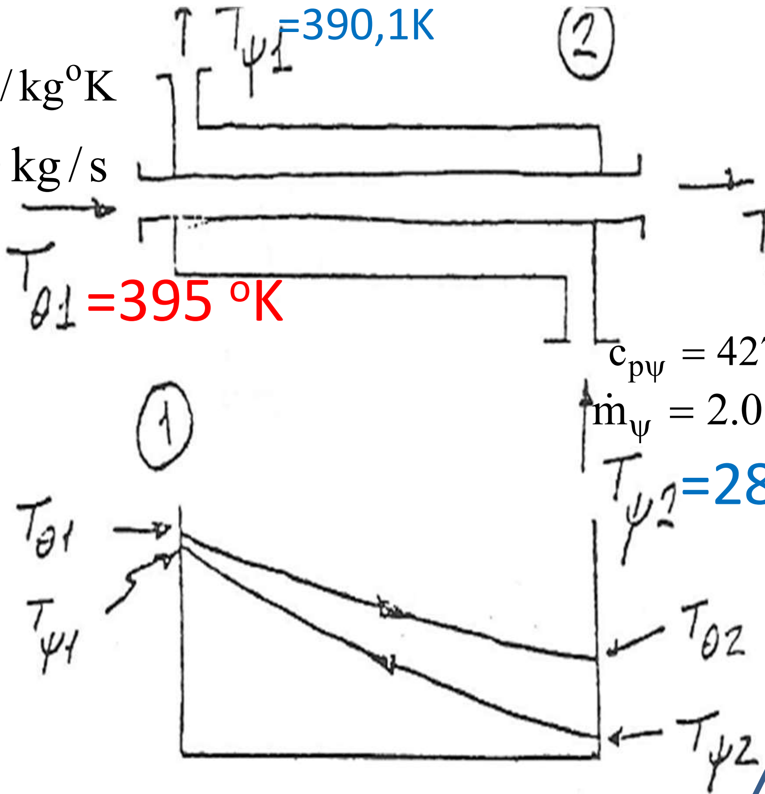
$$\Delta T_{\psi} = T_{\psi,1} - T_{\psi,2} = \frac{\dot{m}_{\theta}\, c_{p,\theta}}{\dot{m}_{\psi}\, c_{p,\psi}}\left(T_{\theta,1} - T_{\theta,2}\right) = \frac{5\,\frac{kg}{s}\, 2090\,\frac{J}{kg\,K}}{2\,\frac{kg}{s}\, 4271\,\frac{J}{kg\,K}}\text{(90 K)=1,22*90K=110,1 K}$$

$$T_{\psi,1} = T_{\psi,2} + 110{,}1\text{ K} = (280 + 110{,}1)K = 390{,}1\text{ K}$$

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

$c_{p\theta} = 2090\,\mathrm{J/kg^oK}$

$\dot{m}_\theta = 5.0\,\mathrm{kg/s}$



$T_{\psi 1}$=390,1K

$T_{\theta 1}$=395 °K

$T_{\theta 2}$= 305°K

$c_{p\psi} = 4271\,\mathrm{J/kg^oK}$

$\dot{m}_\psi = 2.0\,\mathrm{kg/s}$

$T_{\psi 2}$=280°K

$$Q = U_0 A_0 \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ell n\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$(\Delta T)_{\ell m} = \frac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2}) - (T_{\theta 1} - T_{\psi 1})}{\ell n \frac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2})}{(T_{\theta 1} - T_{\psi 1})}}$$

$$(\Delta T)_{\ell m} = \frac{(305-280)-(395-390.1)}{\ell n \frac{(305-280)}{(395-390.1)}} = 12.33\ ^oK$$

$$\mathbf{A_0} = \frac{Q}{U_o\,[\Delta T]_{lm}} = \frac{(940500\ w)}{1136\left(\frac{W}{m^2\ k}\right)12.33\ K} = \mathbf{67{,}15}\ m^2$$

Ποσά θερμότητας που εναλλάσσονται

$$\boldsymbol{Q_\Theta} = \dot{m}_\theta\, c_{p,\theta}\, \Delta T_\theta = \boldsymbol{Q_\psi} = \dot{m}_\psi\, c_{p,\psi}\, \Delta T_\psi$$

$$\boldsymbol{Q_\Theta} = (5 * 2090 * 90)\frac{\cancel{kg}}{s}\frac{J}{\cancel{kg}\,\cancel{K}}\cancel{K} = \mathbf{940500}\ \frac{J}{s} = 940.5\ kWatt$$

$$\boldsymbol{Q_\psi} = (2 * 4271 * 110{,}1)\frac{kg}{s}\frac{J}{kg\,K}K = \mathbf{940499{,}8}\ \frac{J}{s} = 940.5\ kWatt$$

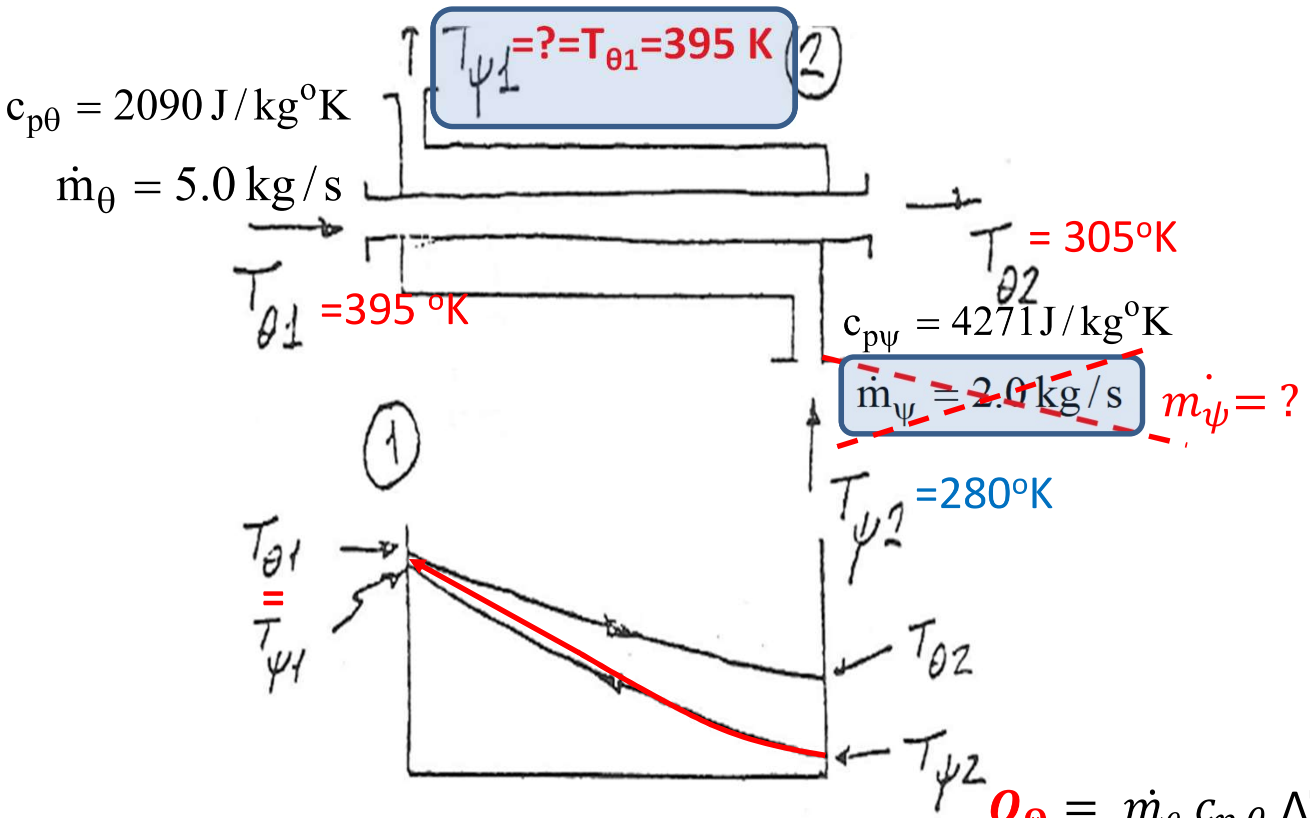
$\boldsymbol{Q_\Theta} = \boldsymbol{Q_\psi}$, Έλεγχος ΟΚ !

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

(β) Υπολογίστε το ελάχιστο ποσό νερού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί

Για $c_{p\theta}$, $c_{p\psi}$, $T_{\theta1}$, $T_{\theta2}$ και $T_{\psi2}$=σταθ., το $\dot{m}_{\psi}$ γίνεται ελάχιστο για $T_{\psi1}=T_{\psi1,max}$.

Αλλά, $T_{\psi1,max}=T_{\theta1}=395^{o}K$, (πράγμα που συμβαίνει αν $A_0\to\infty$). Ετσι,



$$Q_{\Theta} = \dot{m}_{\theta}\, c_{p,\theta}\, \Delta T_{\theta} = Q_{\Psi} = \dot{m}_{\psi}\, c_{p,\psi}\, \Delta T_{\psi}$$

$$\dot{m}_{\psi,min}^{(\alpha\nu\tau)} = \dot{m}_{\theta} \frac{c_{p\theta}(T_{\theta1} - T_{\theta2})}{c_{p\psi}(T_{\theta1} - T_{\psi2})} = 5.0 \frac{2090(395-305)}{4271(395-280)} = 1.915\ Kg/s$$

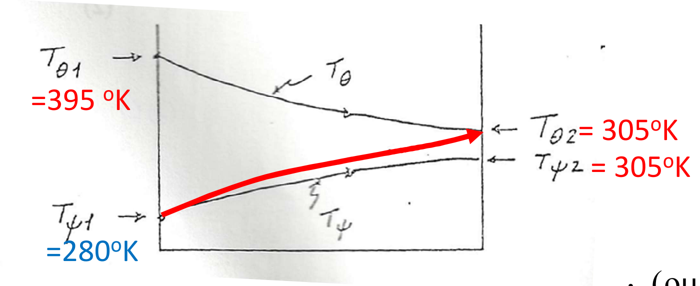
ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

γ) Ποιο είναι το **ελάχιστο ποσό νερού** που θα ήταν απαραίτητο γι αυτή τη ψύξη, αν ο εναλλάκτης λειτουργούσε **κατ' ομορροή**;

(με δεδομένη την επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας και τις θερμοκρασίες εισόδου (395 K) και εξόδου του θερμού (305 K) και την είσοδο του ψυχρού (=280^{o}K))

Αν ο εναλλάκτης λειτουργούσε *κατ' ομορροή*

θα είχαμε την ακόλουθη εικόνα:



*Χρησιμοποιώντας την **ελάχιστη ποσότητα** του νερού που θα ήταν απαραίτητο για αυτή την ψύξη,* $\boxed{\dot{m}_\psi = \dot{m}_{\psi,\min}}$

Τότε το κρύο νερό θα ζεσταθεί μέχρι το $T_{\vartheta 2}$, $\boxed{T_{\psi 2} = T_{\psi 2,\max} = T_{\theta 2}}$

$$\dot{m}^{(o\mu)}_{\psi,\min} = \dot{m}_\theta \frac{c_{p\theta}(T_{\theta 1} - T_{\theta 2})}{c_{p\psi}(T_{\theta 2} - T_{\psi 1})} = 5.0\frac{2090(395-305)}{4271(305-280)} = \boxed{8.808\ Kg/s}$$

$m_{\psi_{\text{αντιρροή}}} = 2$ kg/s,

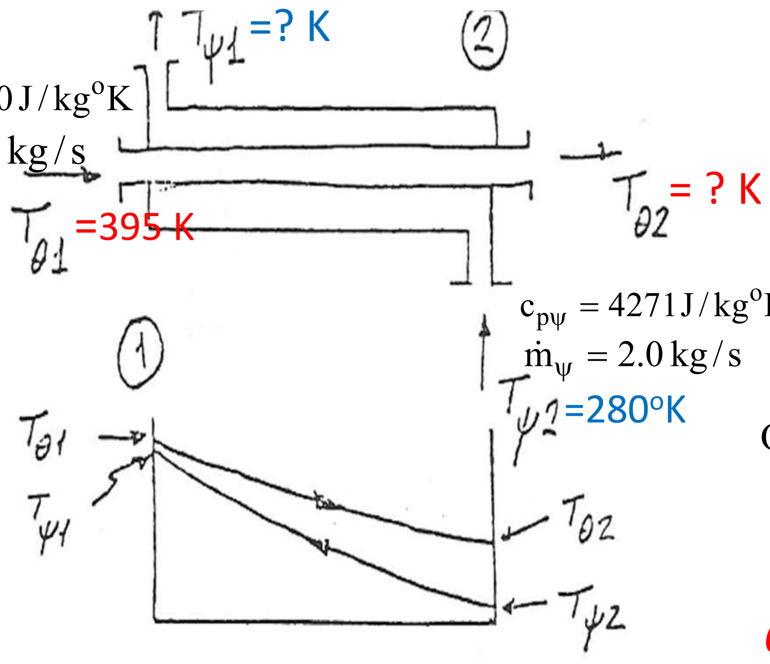
4 φορές μικρότερη

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

δ) Αν η επιφάνεια του εναλλάκτη είναι 5 m^2 και λειτουργεί κατ’ αντιρροή με παροχή νερού 2.0 kg/s, ποια θα είναι η θερμοκρασία εξόδου του ελαίου (θερμοκρασία εισόδου=395°K); (πριν η επιφάνεια του εναλλάκτη ήταν **67,15 m^2**!!!)

$c_{p\theta} = 2090\,\mathrm{J/kg^oK}$

$\dot{m}_\theta = 5.0\,\mathrm{kg/s}$



$c_{p\psi} = 4271\,\mathrm{J/kg^oK}$

$\dot{m}_\psi = 2.0\,\mathrm{kg/s}$

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να προσδιορίσουμε τις θερμοκρασίες εξόδου, $T_{\theta 2}$ και $T_{\psi 1}$, ταυτόχρονα.

$$Q = \dot{m}_\theta c_{p\theta}(T_{\theta 1} - T_{\theta 2}) = \dot{m}_\psi c_{p\psi}(T_{\psi 1} - T_{\psi 2})$$

$$\boxed{T_{\psi 1}^{\,?} + \frac{\dot{m}_\theta c_{p\theta}}{\dot{m}_\psi c_{p\psi}} T_{\theta 2}^{\,?} = T_{\psi 2} + \frac{\dot{m}_\theta c_{p\theta}}{\dot{m}_\psi c_{p\psi}} T_{\theta 1} = \sigma\tau\alpha\theta.} \quad [1]$$

$$Q = U_0 A_0 (\Delta T)_{\ell m} \qquad (\Delta T)_{\ell m} = \frac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2}) - (T_{\theta 1} - T_{\psi 1})}{\ell n \dfrac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2})}{(T_{\theta 1} - T_{\psi 1})}}$$

$$Q_\Theta = \dot{m}_\theta\, c_{p,\theta}\, \Delta T_\theta = U_o\, A_o\, (\Delta T)_{lm} \rightarrow$$

$$\rightarrow (\Delta T)_{lm} = [\dot{m}_\theta\, c_{p,\theta}\, \Delta T_\theta]/(U_o\, A_o)$$

$$\boxed{\frac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2}) - (T_{\theta 1} - T_{\psi 1})}{\ell n \dfrac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2})}{(T_{\theta 1} - T_{\psi 1})}} = \frac{\dot{m}_\theta c_{p\theta}}{U_0 A_0}(T_{\theta 1} - T_{\theta 2}) \qquad Q = U_0 A_0 (\Delta T)_{\ell m}} \quad [2]$$

Δεδομένα

$\dot{m}_\theta$, $c_{p,\theta}$, $\dot{m}_\psi$, $c_{p,\Psi}$

$T_{\theta 1}$ και $T_{\psi 2}$

U_o και A_o

Άγνωστα

$T_{\theta 2}$ και $T_{\psi 1}$

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

$$T_{\psi 1} + \frac{\dot{m}_\theta c_{p\theta}}{\dot{m}_\psi c_{p\psi}} T_{\theta 2} = T_{\psi 2} + \frac{\dot{m}_\theta c_{p\theta}}{\dot{m}_\psi c_{p\psi}} T_{\theta 1} \rightarrow T_{\psi 1} + 1.2234\, T_{\theta 2} = 763.23 \quad \text{[1']}$$

$$\frac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2}) - (T_{\theta 1} - T_{\psi 1})}{\ell n \dfrac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2})}{(T_{\theta 1} - T_{\psi 1})}} = \frac{\dot{m}_\theta c_{p\theta}}{U_0 A_0} (T_{\theta 1} - T_{\theta 2}) \rightarrow \frac{(T_{\theta 2} - 280) - (395 - T_{\psi 1})}{\ell n \dfrac{(T_{\theta 2} - 280)}{(395 - T_{\psi 1})}} = 1.8398\,(395 - T_{\theta 2}) \quad \text{[2']}$$

Το σύστημα αυτό λύνεται εύκολα με δοκιμή-και-σφάλμα:

$T_{\theta 2}$(°K)	[1']	$T_{\psi 1}$(°K)		Αριστ. Σκέλος (2')		Δεξιό Σκέλος (2')
350	$\rightarrow$	335.04	$\Rightarrow$	64.85	<	82.79
355	$\rightarrow$	328.92	$\Rightarrow$	70.45	<	73.59
356	$\rightarrow$	327.70	$\Rightarrow$	71.56	<	71.75
356.1	$\rightarrow$	327.58	$\Rightarrow$	71.67	$\approx$	71.56

$T_{\theta 2} \approx 356.1\ ^oK$ $T_{\psi 1} \approx 327.6\ ^oK$

$\boldsymbol{Q_\Theta} = \dot{m}_\theta\, c_{p,\theta}\, \Delta T_\theta$= 5*2090*(395-356.1)=406,505 W << 940,500 W

Λόγω μικρότερης επιφάνειας εναλλαγής και ΔT_θ=38,9K <<90K

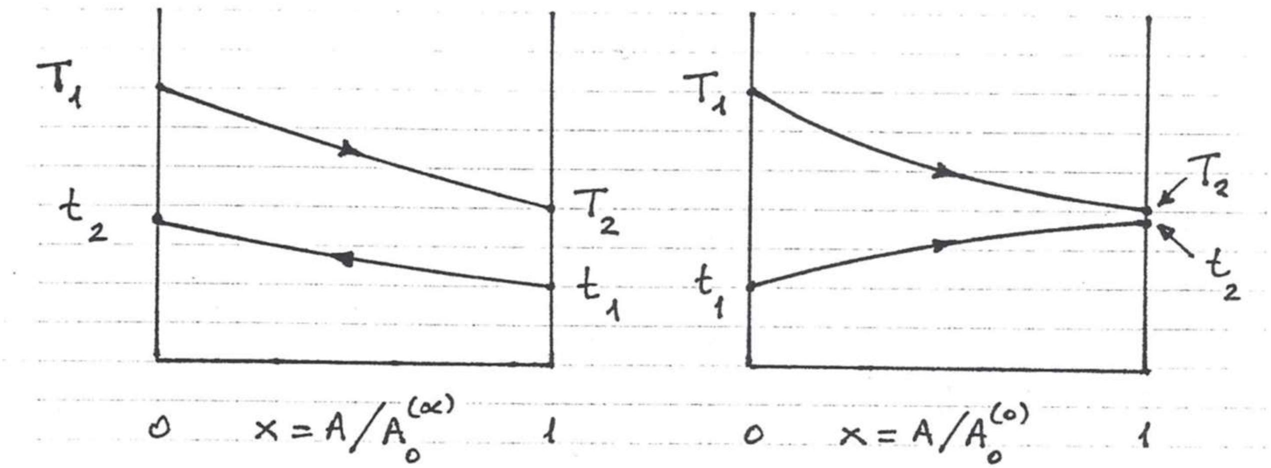
Πρόβλημα 1 (20%)

Αν οι θερμοκρασίες εισόδου (T_1, t_1) και εξόδου (T_2, t_2) για έναν εναλλάκτη θερμότητας του τύπου διπλού αυλού είναι δεδομένες σταθερές και ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας βάσει της εξωτερικής επιφάνειας (του εσωτερικού αυλού) U_o είναι σταθερός, καταστρώστε την εξίσωση που εκφράζει το λόγο $\xi = A_o^{(o)} / A_o^{(\alpha)}$ ως συνάρτηση των παραμέτρων του προβλήματος. Εδώ είναι:

$A_o^{(o)}$ =εξωτερική επιφάνεια που απαιτείται με διάταξη κατ' ομορροή

$A_o^{(\alpha)}$ =εξωτερική επιφάνεια που απαιτείται με διάταξη κατ' αντιρροή

Ποια τιμή λαμβάνει ο λόγος ξ όταν οι δυο θερμοκρασίες εξόδου απαιτείται να είναι ίσες (t_2=T_2)



ΟΜΟΡΡΟΗ

Πρόβλημα 1 (20%)

Από το ολικό Ισοζύγιο Ενέργειας λαμβάνουμε

$$Q^o = Q^a = \dot{m}_\theta \, c_{p,\theta}(T_1 - T_2) = \dot{m}_\psi \, c_{p,\psi}(t_2 - t_1) \quad [1]$$

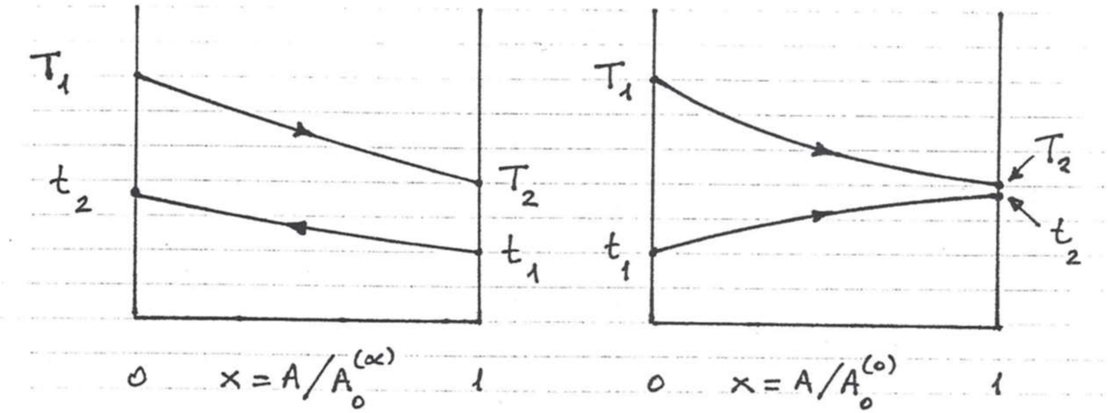
Για την περίπτωση της Ομορρόης

$$Q^o = A_o^o U_o \, \Delta T_{lm}^o \quad [2]$$

$A_o^{(o)}$=εξωτερική επιφάνεια που απαιτείται με διάταξη κατ' ομορροή

όπου ΔT_{lm}^o είναι η μέση λογαριθμική τιμή των διαφορών θερμοκρασίας στην είσοδο και έξοδο του εναλλάκτη

$$\Delta T_{lm}^o = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{ln\frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_2)}} \quad [3]$$



ΑΝΤΙΡΡΟΗ **ΟΜΟΡΡΟΗ**

Πρόβλημα 1 (20%)

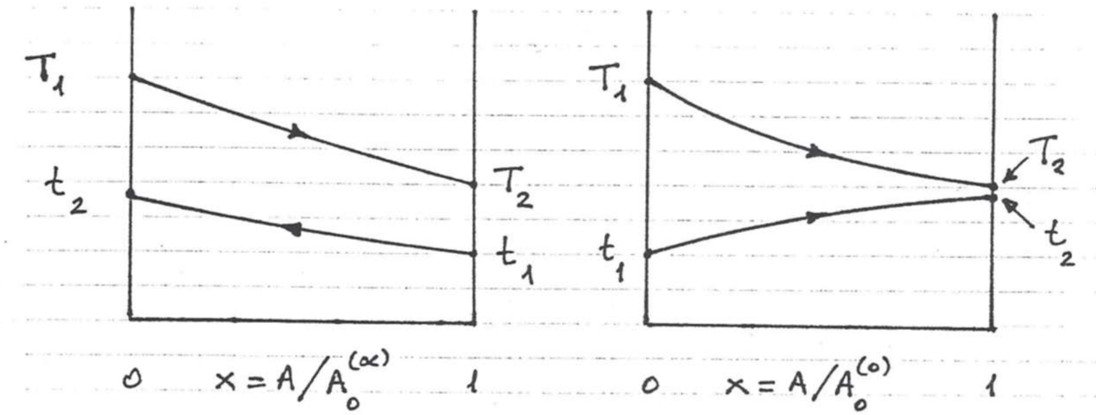
Για την περίπτωση της αντιρροής

$$Q^a = A_o^a U_o \, \Delta T_{lm}^a \quad [4]$$

$A_o^{(\alpha)}$=εξωτερική επιφάνεια που απαιτείται με διάταξη κατ' αντιρροή

Όπου ΔT_{lm}^a είναι η μέση λογαριθμική θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα για την περίπτωση της αντιρροής

$$\Delta T_{lm}^a = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{ln\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} \quad [5]$$



ΑΝΤΙΡΡΟΗ

Πρόβλημα 1 (20%)

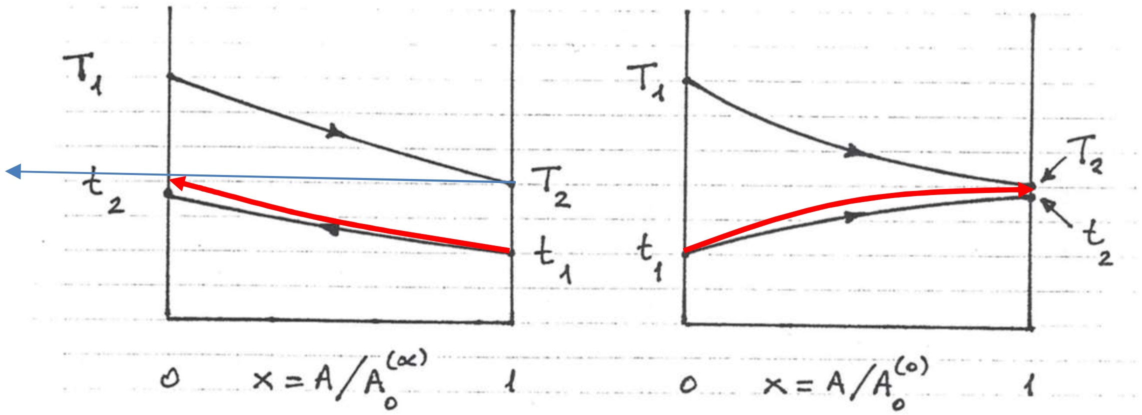
Διαιρώντας την Εξίσωση [2] με την Εξίσωση [4] λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δύο ποσά θερμότητας είναι ίσα (αμελώντας απώλειες)

$$\frac{A_o^o}{A_o^a}\,\frac{\Delta T_{lm}^o}{\Delta T_{lm}^a} = 1 \text{ or } \boldsymbol{\xi} \equiv \frac{\boldsymbol{A_o^o}}{\boldsymbol{A_o^a}} = \frac{\Delta T_{lm}^\alpha}{\Delta T_{lm}^o} \qquad [6]$$

Από τις Εξισώσεις [3], [5] και [6] λαμβάνουμε

$$\boldsymbol{\xi} = \frac{(\boldsymbol{T}_1 - \boldsymbol{t}_2) - (\boldsymbol{T}_2 - \boldsymbol{t}_1)}{(\boldsymbol{T}_1 - \boldsymbol{t}_1) - (\boldsymbol{T}_2 - \boldsymbol{t}_2)}\,\frac{\boldsymbol{ln}\frac{(\boldsymbol{T}_1 - \boldsymbol{t}_1)}{(\boldsymbol{T}_2 - \boldsymbol{t}_2)}}{\boldsymbol{ln}\frac{(\boldsymbol{T}_1 - \boldsymbol{t}_2)}{(\boldsymbol{T}_2 - \boldsymbol{t}_1)}}$$

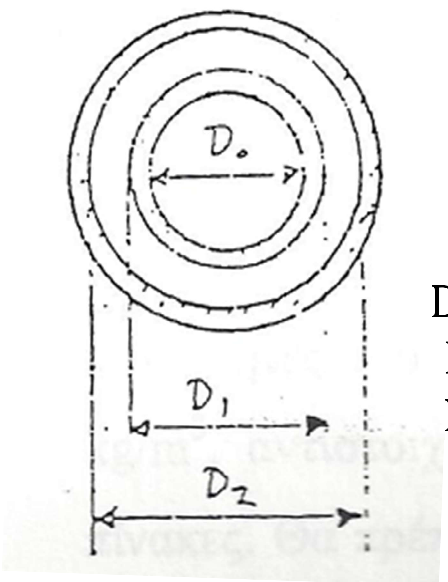
Για την περίπτωση που η θερμοκρασία $t_2 \rightarrow T_2$ τότε ο όρος $T_2 - t_2 = 0$ και ο παρονομαστής του λογαρίθμου στον 1ο λογαριθμικό όρο τείνει στο ο λογάριθμός τείνει στο άπειρο (∞).



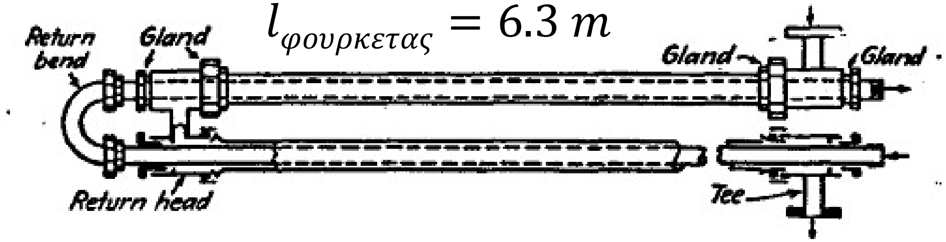
$$\boldsymbol{\xi} \equiv \frac{\boldsymbol{A_o^o}}{\boldsymbol{A_o^a}} \nearrow (\infty).$$

Παράδειγμα 4ε/Σημειώσεις ΑΧΠ, σελ. 147C

Θέλουμε να θερμάνουμε ένα ρεύμα ψυχρού **βενζολίου**, που έχει μαζική παροχή $\dot{m}_\psi = 4455 \frac{kg}{hr} (= 1.238\ kg/s)$ από 27°C σε 50°C. Προς τούτο θα χρησιμοποιήσουμε ένα ρεύμα θερμού **τολουολίου** αρχικής θερμοκρασίας 72°C, ψύχοντάς το σε 38°C. Οι πυκνότητες του βενζολίου και τολουολίου σε 20°C είναι ρ_ψ=880 kg/m^3 και ρ_θ=870 kg/m^3, αντίστοιχα. Οι άλλες ιδιότητες των ρευστών αυτών μπορούν να βρεθούν σε πίνακες. Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ένα συντελεστή ρυπάνσεως 0.0002 m^2°K/W για *κάθε* ρεύμα. Η επιτρεπτή πτώση πίεσης σε κάθε ρεύμα είναι 0.75 atm (=73.55 kPa). Διαθέτουμε αρκετές «φουρκέτες» μήκους 6.3 m και με ονομαστικές διαμέτρου D_2=2 in (πραγματική τιμή 2.067 in = 52.5 mm), $D_1 = 1\frac{1}{4}$ in (δηλ. 1.66 in=42.2 mm), ενώ D_0=1.38 in = 35.05 mm. **Πόσες φουρκέτες χρειαζόμαστε**; (Προφανώς, χρειαζόμαστε αντιρροή.)



$l_{φουρκετας} = 6.3\ m$



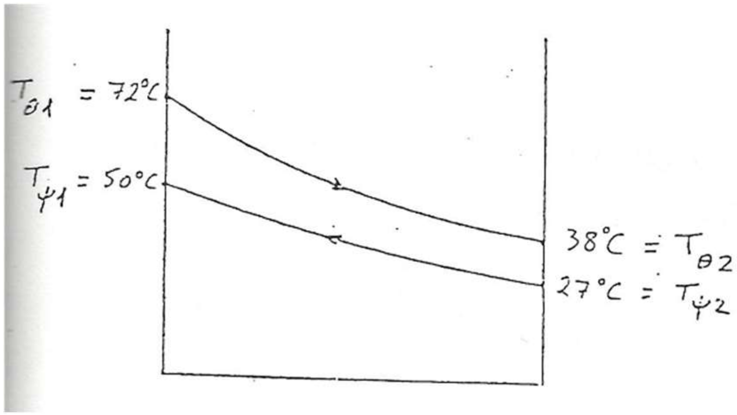
$$D_0 = 35.05\ 10^{-3} m$$
$$D_1 = 42.2\ 10^{-3} m$$
$$D_2 = 52.5\ 10^{-3} m$$

$$T_{\theta 1} = 72^o\ C, T_{\theta 2} = 38^o\ C$$
$$T_{\psi 1} = 27^o\ C, T_{\psi 2} = 50^o\ C$$
$$\dot{m}_\psi = 4455 \frac{kg}{hr} (= 1.238\ kg/s)$$
$$\boxed{\dot{m}_\theta = ?}$$

Παράδειγμα 4ε/Σημειώσεις ΑΧΠ, σελ. 147 / (Εναλλάκτης διπλού αυλού, αντιρροή)

Βήμα 1ο. Ισοζύγιο Ενέργειας (Υπολογισμοί παροχών, θερμοκρασιών, ποσού ενέργειας εναλλαγής)

$$[m_\theta, m_\psi, T_{\theta 1}, T_{\theta 2}, T_{\psi 1}, T_{\psi 2}, Q_\theta, (= Q_\psi)]$$



$$Q = \dot{m}_\theta c_{p\theta} (T_{\theta 1} - T_{\theta 2}) = \dot{m}_\psi c_{p\psi} (T_{\psi 1} - T_{\psi 2})$$

Τα $c_{p\theta}, c_{p\psi}, \mu\theta, \mu\psi, \rho\theta, και\ \rho\psi$ πρέπει να υπολογιστούν στις μέσες θερμοκρασίες

$$T_{\theta,\mu\varepsilon\sigma\eta} = \frac{1}{2}(72+38) = 55^o C$$

$$T_{\psi,\mu\varepsilon\sigma\eta} = \frac{1}{2}(50+27) = 38.5^o C$$

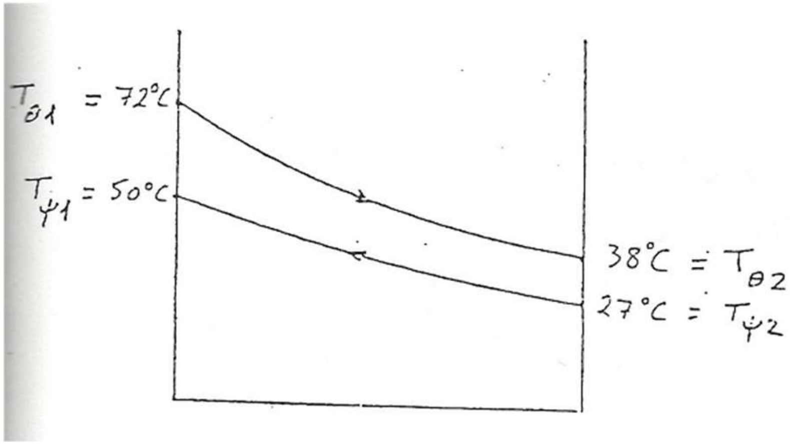
Από πίνακες: $c_{p\theta} = c_{p\theta}\big)_{55^o C} = 1840\ J/kg\ ^oK \quad c_{p\psi} = c_{p\psi}\big)_{38.5^o C} = 1780\ J/kg\ ^oK$

$$Q = \dot{m}_\psi c_{p\psi} (T_{\psi 1} - T_{\psi 2}) = 1.238 \times 1780(50-27) = \boxed{50.66 \times 10^3\ W}$$

$$\dot{m}_\theta = \frac{Q}{c_{p\theta}(T_{\theta 1} - T_{\theta 2})} = 50.66 \times \frac{10^3}{1840(72-38)} = \boxed{0.8098\ kg/s} = 2915\ kg/hr$$

Παράδειγμα 4ε/Σημειώσεις ΑΧΠ, σελ. 147 / (Εναλλάκτης διπλού αυλού, αντιρροή)

Βήμα 2ον: Υπολογισμός Μέσης Λογαριθμικής θερμοκρασίας, ΔT_{lm}



$$(\Delta T)_{\ell m} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ell n \dfrac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$\Delta T_1 = T_{\theta 1} - T_{\psi 1} = 72 - 50 = 22\ {}^{o}K$$

$$\Delta T_2 = T_{\theta 2} - T_{\psi 2} = 38 - 27 = 11\ {}^{o}K$$

$$(\Delta T)_{\ell m} = \frac{22 - 11}{\ell n \left(\dfrac{22}{11} \right)} = \mathit{15.87}\ {}^{o}K$$

Θερμοκρασίες Μίξεως

Και τα δύο ρευστά είναι λεπτόρευστα στο ψυχρό άκρο του εναλλάκτη (τα ιξώδη είναι μικρότερα του 1 c_p=1 mPa.s). Επιπλέον, οι διαφορές θερμοκρασίας είναι μέτριες. Ετσι, οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας $h_{\varepsilon\sigma}$ και $h_{\varepsilon\xi}$ μπορούν να υπολογισθούν από τις ιδιότητες στις αντίστοιχες μέσες θερμοκρασίες, η δε τιμή του όρου $(\mu_b/\mu_w)^{0.14}$ θα ληφθεί ως 1.0.

Παράδειγμα 4ε/Σημειώσεις ΑΧΠ, σελ. 147 / (Εναλλάκτης διπλού αυλού, αντιρροή)

Βήμα 3ον: Υπολογισμός συντελεστών μεταφοράς θερμότητας στο θερμό, h_θ και στο ψυχρό ρεύμα, h_ψ

Θερμό Ρευστό (Τολουόλιο) Δακτυλιοειδής Αγωγός	Ψυχρό Ρευστό (Βενζόλιο) Εσωτερικός Αγωγός
(4) Επιφάνεια για Ροή	$S_\psi = \frac{1}{4}\pi D_0^2 = \frac{\pi}{4} 0.03505^2 = 965 \times 10^{-6}\, m^2$

$$S_\theta = \frac{1}{4}\pi (D_2^2 - D_1^1)$$

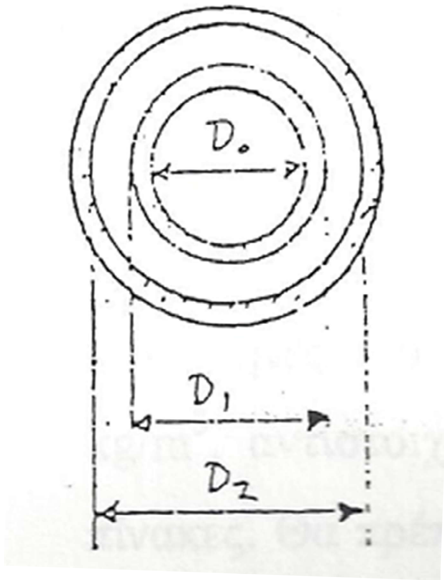
$$= \frac{\pi}{4}(0.0525^2 - 0.0422^2)$$

$$= 766 \times 10^{-6}\ m^2$$

$$D_e = \frac{(D_2^2 - D_1^2)}{D_1}$$

$$= \frac{(0.0525^2 - 0.0422^2)}{0.0422}$$

$$= 23.1 \times 10^{-3}\ m$$



Παράδειγμα 4ε/Σημειώσεις ΑΧΠ, σελ. 147 / (Εναλλάκτης διπλού αυλού, αντιρροή)

Βήμα 3ον: Υπολογισμός συντελεστών μεταφοράς θερμότητας στο θερμό, h_θ και στο ψυχρό ρεύμα, h_ψ

Θερμό Ρευστό (Τολουόλιο)	Ψυχρό Ρευστό (Βενζόλιο)
Δακτυλιοειδής Αγωγός	Εσωτερικός Αγωγός

(5) Μαζική Ταχύτητα

$$G_\theta = \frac{\dot{m}_\theta}{S_\theta} = \frac{0.8098}{766\times10^{-6}} = 1057\ kg/m^2 s$$

$$G_\psi = \frac{\dot{m}_\psi}{S_\psi} = \frac{1.238}{965\times10^{-6}} = 1283\ kg/m^2 s$$

(6) Αριθμός του Reynolds

$$\mu_\theta = \mu_\theta)_{55^o C} \overset{\substack{\text{πινακες}\\ \downarrow}}{=} 0.41\,\text{mPa.s}$$

$$\mu_\psi = \mu_\psi)_{38.5^o C} \overset{\substack{\text{πινακες}\\ \downarrow}}{=} 0.50\,\text{mPa.s}$$

$$Re_\theta = (Re_b)_\theta = \frac{D_e G_\theta}{\mu_\theta} = \frac{23.1\times10^{-3}\times1057}{0.41\times10^{-3}} = 59550$$

$$Re_\psi = (Re_b)_\psi = \frac{D_0 G_\psi}{\mu_\psi} = \frac{35.05\times10^{-3}\times1283}{0.50\times10^{-3}} = 89940$$

(7) Συντελεστής j_H του Colburn

$$Re_\theta = 59550 \ \underset{\text{Tate}}{\xrightarrow{\substack{\text{Διαγραμμα}\\ \text{Sieder}}}}\ j_H \cong 170$$

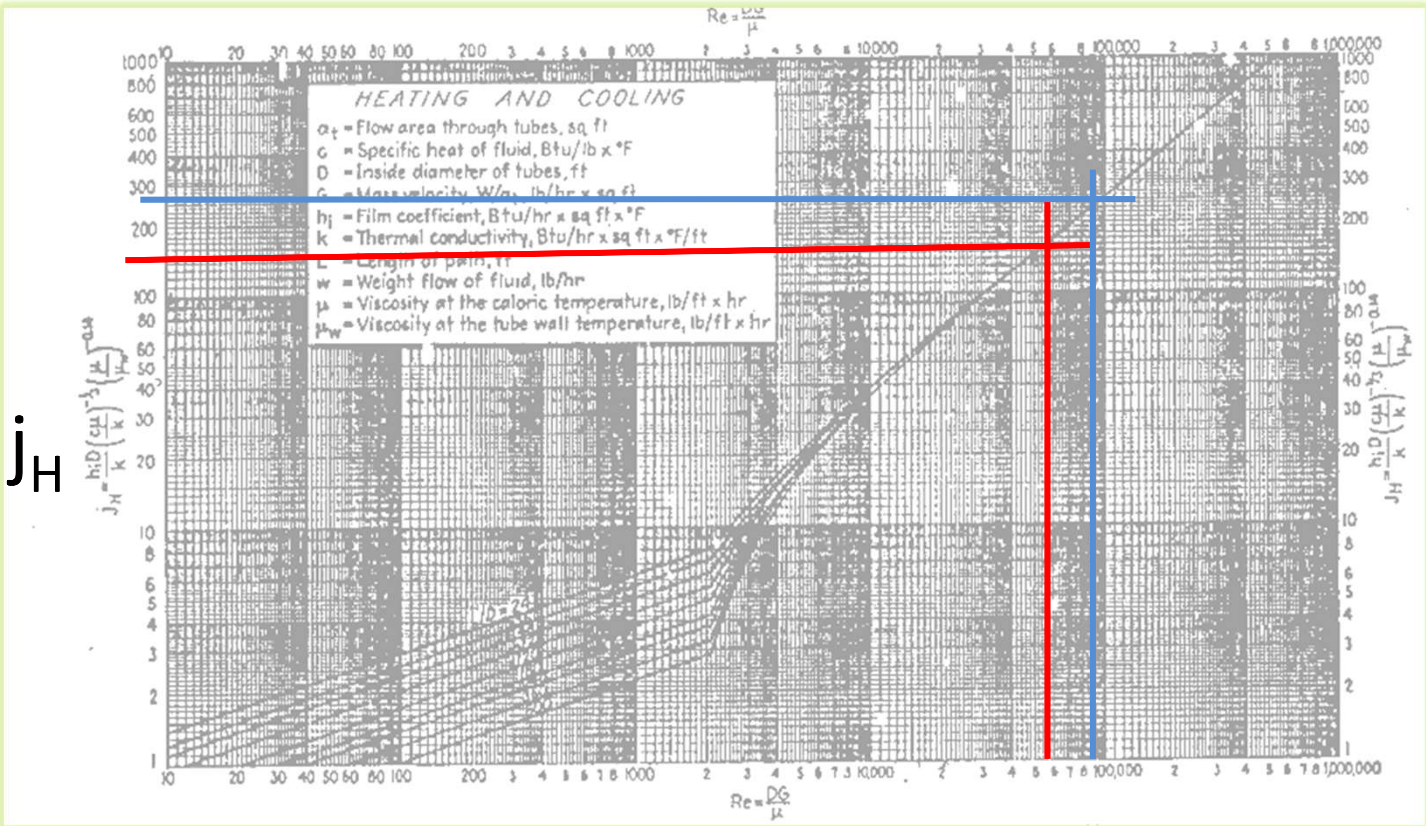
ή $$j_{H_\theta} = 0.026\,Re_\theta^{0.8} = 0.026\times59550^{0.8} = 172$$

$$Re_\psi = 89940 \ \underset{\text{Tate}}{\xrightarrow{\substack{\text{Διαγραμμα}\\ \text{Sieder}}}}\ j_H \cong 235$$

ή $$j_{H_\psi} = 0.026\ Re_\psi^{0.8} = 0.026\times89940^{0.8} = 239$$

Παράδειγμα 4ε/Σημειώσεις ΑΧΠ, σελ. 147 / (Εναλλάκτης διπλού αυλού, αντιρροή)

Βήμα 3ον: Υπολογισμός συντελεστών μεταφοράς θερμότητας στο θερμό, h_θ και στο ψυχρό ρεύμα, h_ψ



$$Re_b = \frac{GD}{\mu_b}$$

Παράδειγμα 4ε/Σημειώσεις ΑΧΠ, σελ. 147 / (Εναλλάκτης διπλού αυλού, αντιρροή)

Βήμα 3ον: Υπολογισμός συντελεστών μεταφοράς θερμότητας στο θερμό, h_θ και στο ψυχρό ρεύμα, h_ψ

Θερμό Ρευστό (Τολουόλιο)	Ψυχρό Ρευστό (Βενζόλιο)
Δακτυλιοειδής Αγωγός	Εσωτερικός Αγωγός

(8) Αριθμός του Prandtl

$$c_{p\theta} = c_{p\theta}\Big)_{55^o C} = 1840\ \mathrm{J/kg\ ^oK}$$

$$k_\theta = k_\theta\Big)_{55^o C} \overset{\substack{\pi\iota\nu\alpha\kappa\varepsilon\varsigma \\ \downarrow}}{=} 0.147\ \mathrm{W/m^oK}$$

$$(Pr_b)_\theta = \frac{c_{p\theta}\mu_\theta}{k_\theta}$$

$$= \frac{1840 \times 0.41 \times 10^{-3}}{0.147} = \mathit{5.13}$$

$$c_{p\psi} = c_{p\psi}\Big)_{38.5^o C} = 1780\ \mathrm{J/kg\ ^oK}$$

$$k_\psi = k_\psi\Big)_{38.5^o C} \overset{\substack{\pi\iota\nu\alpha\kappa\varepsilon\varsigma \\ \downarrow}}{=} 0.157\ \mathrm{W/m^oK}$$

$$(Pr_b)_\psi = \frac{c_{p\psi}\mu_\psi}{k_\psi}$$

$$= \frac{1780 \times 0.50 \times 10^{-3}}{0.157} = \mathit{5.65}$$

9) Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας

$$h_\theta = j_{H\theta}\frac{k_\theta}{D_e}(Pr_b)_\theta^{1/3}\left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)_\theta^{0.14}$$

$$= 172\frac{0.147}{0.0231}(5.13)^{1/3}\,1.0$$

$$\boxed{= \mathit{1888\ W/m^{2\,o}K}}$$

Από την Εξισ. Sieder & Tate:

$$h_\psi = j_{H\psi}\frac{k_\psi}{D_0}(Pr_b)^{1/3}\left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)_\psi^{0.14} = 239\,\frac{0.157}{0.03505}(5.65)^{1/3}\,1.0$$

$$\boxed{= \mathit{1907\ W/m^{2\,o}K}}$$

Διόρθωση Επιφανείας

$$h_{\psi,\varepsilon\xi} = h_\psi\frac{D_0}{D_1} = 1907\frac{35.05}{42.2}\boxed{= \mathit{1584\ W/m^{2\,o}K}}$$

Παράδειγμα 4ε/Σημειώσεις ΑΧΠ, σελ. 147 / <u>(Εναλλάκτης διπλού αυλού, αντιρροή)</u>

Βήμα 4ον: Υπολογισμός ολικού συντελεστών μεταφοράς θερμότητας- Απαιτούμενη Επιφάνεια

11) <u>Ολικός Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας</u> $U_{\varepsilon\xi}$

$$U_{\varepsilon\xi} = \left(\frac{1}{h_\theta} + \frac{1}{h_{\psi,\varepsilon\xi}}\right)^{-1} = \frac{h_\theta h_{\psi,\varepsilon\xi}}{h_\theta + h_{\psi,\varepsilon\xi}} = \frac{1888 \times 1584}{1888 + 1584} = 862\, W/m^{2\,o}K$$

(12) <u>Ολικός Συντελεστής Μεταφοράς Θερμότητας για Σχεδιασμό</u> $U_{\varepsilon\xi,\sigma\chi}$

$$U_{\varepsilon\xi,\sigma\chi} = \frac{U_{\varepsilon\xi}}{1 + R_\rho U_{\varepsilon\xi}}$$

$$R_\rho = R_{\rho,\varepsilon\xi} + R_{\rho,\varepsilon\sigma}$$

$$R_\rho = 0.0002 + 0.0002 = 0.0004\, m^{2\,o}K / W$$

$$U_{\varepsilon\xi,\sigma\chi} = \frac{862}{1 + 0.0004 \times 862} = \frac{862}{1 + 0.345} = 641\, W/m^{2\,o}K$$

(12) <u>Απαιτούμενη Επιφάνεια</u>

$$Q = U_{\varepsilon\xi,\sigma\chi} A_{\varepsilon\xi} (\Delta T)_{\ell m} \quad \Rightarrow \quad A_{\varepsilon\xi} = \frac{Q}{U_{\varepsilon\xi,\sigma\chi} (\Delta T)_{\ell m}}$$

$$A_{\varepsilon\xi} = \frac{50.66 \times 10^3}{641 \times 15.87} = 4.98\, m^2$$

<u>**Απαιτούμενος Αριθμός Φουρκετών,**</u> Η εξωτερική επιφάνεια του εσωτερικού σωλήνα ανά φουρκέτα είναι $A_\phi = 2\pi D_1 \ell_\phi$ όπου ***lφ***, το μήκος μιας φουρκέττας

$$A_\phi = 2\pi \times 0.0422 \times 6.3 = 1.67\, m^2$$

Τώρα $\frac{A_{\varepsilon\xi}}{A_\phi} = \frac{4.98}{1.67} = 2.98$

Αρα, **χρειαζόμαστε 3 φουρκέτες**.

Επειδή $3A_\phi = 5.01\, m^2 > A_{\varepsilon\xi}$ βλέπουμε ότι ο συντελεστής ρυπάνσεως R_ρ θα είναι κάπως μεγαλύτερος από την προδιαγραφή, δηλαδή έχουμε μεγαλύτερη ασφάλεια.

Παράδειγμα 4ε/Σημειώσεις ΑΧΠ, σελ. 147 / (Εναλλάκτης διπλού αυλού, αντιρροή)

(12) **Πτώση Πιέσεως (Αμελώντας τις υψομετρικές διαφορές παίρνουμε:**

Θερμό Ρευστό (Τολουόλιο)	Ψυχρό Ρευστό (Βενζόλιο)
Δακτυλιοειδής Αγωγός	Εσωτερικός Αγωγός

Θερμό Ρευστό (Τολουόλιο) – Δακτυλιοειδής Αγωγός

$$D_\upsilon = D_2 - D_1$$

$$= 0.0525 - 0.042 = 10.5 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

$$Re_{\upsilon,\theta} = \frac{D_\upsilon G_\theta}{\mu_\theta} = \frac{10.5 \times 10^{-3} \times 1057}{0.041 \times 10^{-3}} = \mathit{27070}$$

Για λείο αγωγό $\left(\frac{e}{D_\upsilon} \cong 10^{-6} \right)$

$$f_\theta = \mathit{0.024}$$

Αμελώντας τις ελάσσονες απώλειες

$$(\Delta p)_\theta = \rho_\theta f_\theta \frac{6\ell_\phi}{D_\upsilon} \frac{1}{2} < v_\theta >^2 \qquad G_\theta = \rho_\theta < v_\theta >$$

$$(\Delta p)_\theta = f_\theta \frac{6\ell_\phi}{D_\upsilon} \frac{G_\theta^2}{2\rho_\theta} = 0.024 \frac{6 \times 6.3}{10.5 \times 10^{-3}} \frac{1057^2}{2 \times 870}$$

$$= 55.5 \times 10^3\ \text{Pa} = 55.5\ \text{kPa}$$

$$(\Delta p)_\theta = 55.5\ \text{kPa} = \mathit{0.566\ atm}$$

Ψυχρό Ρευστό (Βενζόλιο) – Εσωτερικός Αγωγός

$$Re_\psi = \mathit{89940}$$ (από το 6 του 3[ου] βήματος)

Για λείο αγωγό $\left(\frac{e}{D_\upsilon} \cong 10^{-6} \right)$

$$f_\psi = \mathit{0.0185}$$

$$(\Delta p)_\psi = \rho_\psi f_\psi \frac{6\ell_\phi}{D_o} \frac{1}{2} < v_\psi >^2 \qquad G_\psi = \rho_\psi < v_\psi >$$

$$(\Delta p)_\psi = f_\psi \frac{6\ell_\phi}{D_o} \frac{G_\psi^2}{2\rho_\psi} = 0.0185 \frac{6 \times 6.3}{35.05 \times 10^{-3}} \frac{1283^2}{2 \times 880}$$

$$= 18.7 \times 10^3\ \text{Pa} = 18.7\ \text{kPa}$$

$$(\Delta p)_\psi = 18.7\ \text{kPa} = \mathit{0.190\ atm}$$

Παράδειγμα 4ε/Σημειώσεις ΑΧΠ, σελ. 147 / <u>(Εναλλάκτης διπλού αυλού, αντιρροή)</u>

(12) **<u>Πτώση Πιέσεως</u> :**

Θερμό Ρευστό (Τολουόλιο) Δακτυλιοειδής Αγωγός	Ψυχρό Ρευστό (Βενζόλιο) Εσωτερικός Αγωγός
$(\Delta p)_{\theta} = 55.5\,\mathrm{kPa} = 0.566\ atm$	$(\Delta p)_{\psi} = 18.7\,\mathrm{kPa} = 0.190\ atm$

Η πτώση πιέσεως και στους δύο αγωγούς είναι αρκετά χαμηλότερη από την επιτρεπτή < 0.75 atm . Εχουμε περιθώριο για τις ελάσσονες απώλειες (που αγνοήσαμε) καθώς και για μια μικρή αύξηση της τραχύτητας λόγω ρυπάνσεως των επιφανειών.