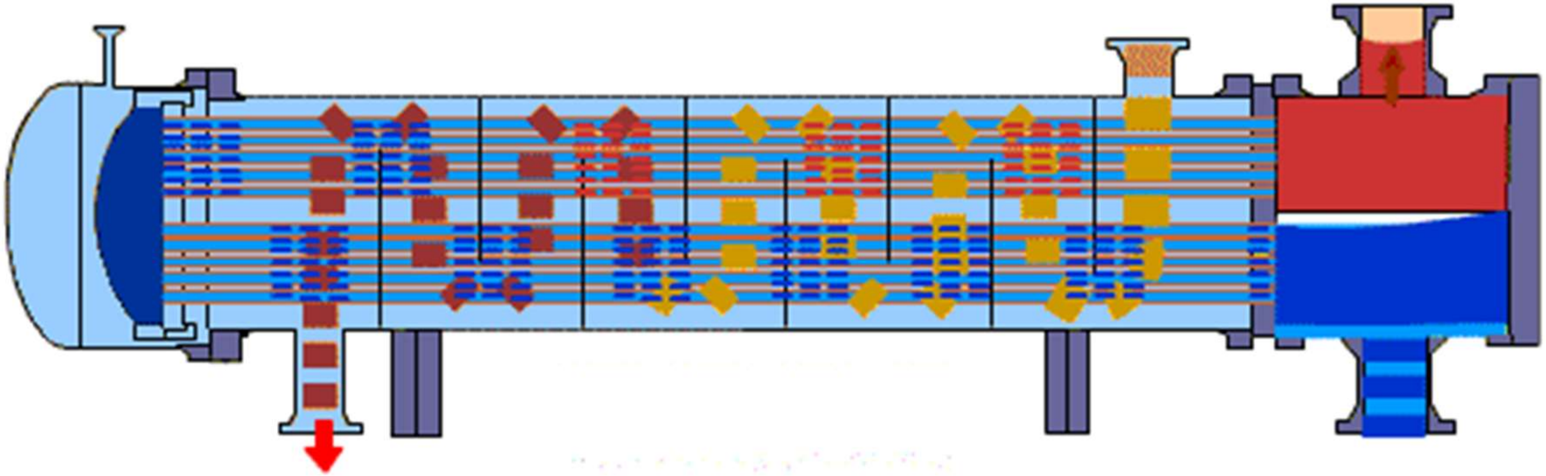
ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΧΡ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΑ

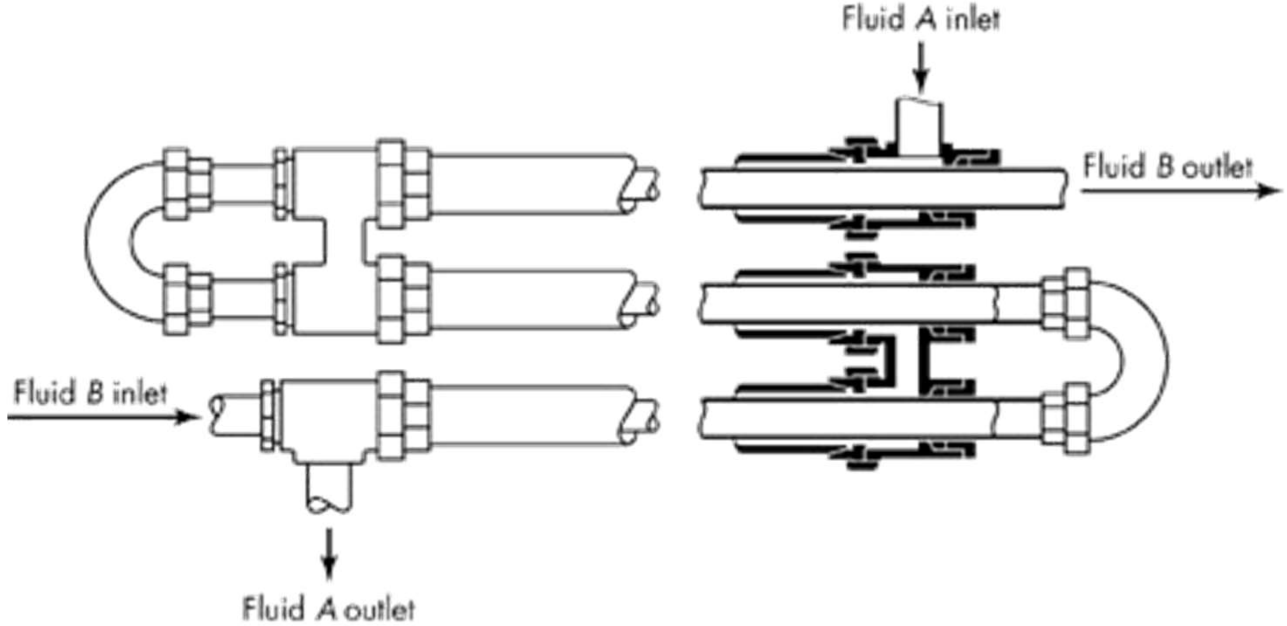
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

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.

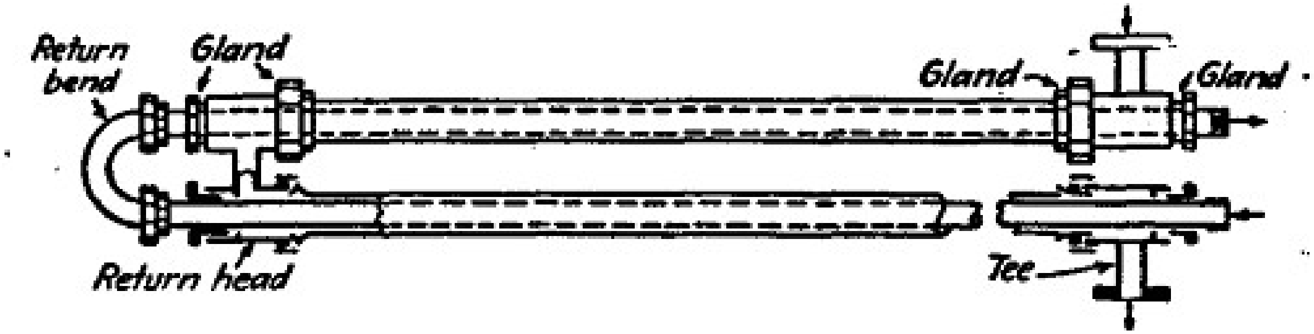


ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΤΥΠΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ
Εναλλάκτης Τύπου Διπλού Αυλού

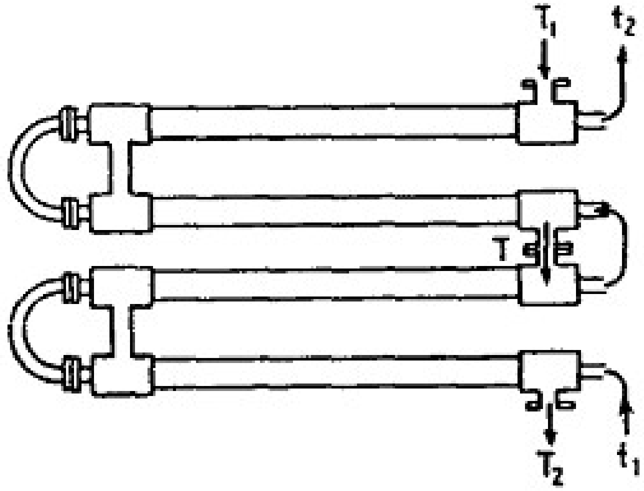


- Τυπικές διαστάσεις:
  - εσωτερικός σωλήνας 1¼ in
  - εξωτερικός σωλήνας 2½ in
- Για $A \lesssim 10 - 12\ \mathrm{m}^2$

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΤΥΠΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ
Εναλλάκτης Τύπου Διπλού Αυλού



Εναλλάκτης τύπου διπλού αυλού μια “φουρκέτα”



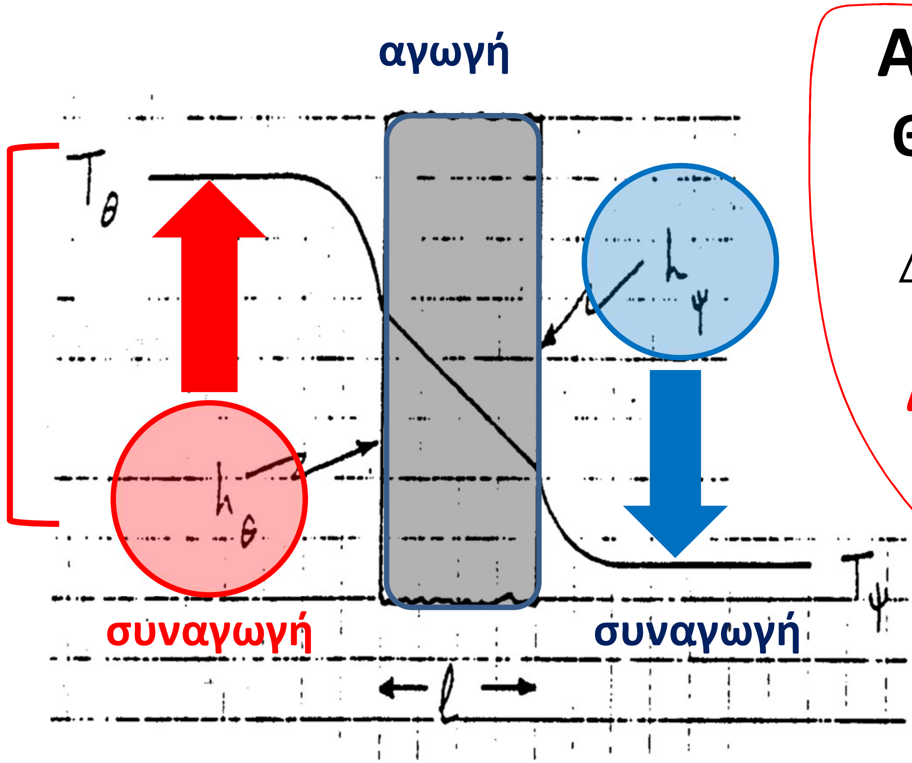
Εναλλάκτης τύπου διπλού αυλού. Δύο φουρκέτες σε σειρά

ΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ , U

Επίπεδο Τοίχωμα

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

$$Q = AU\Delta T$$



A: ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

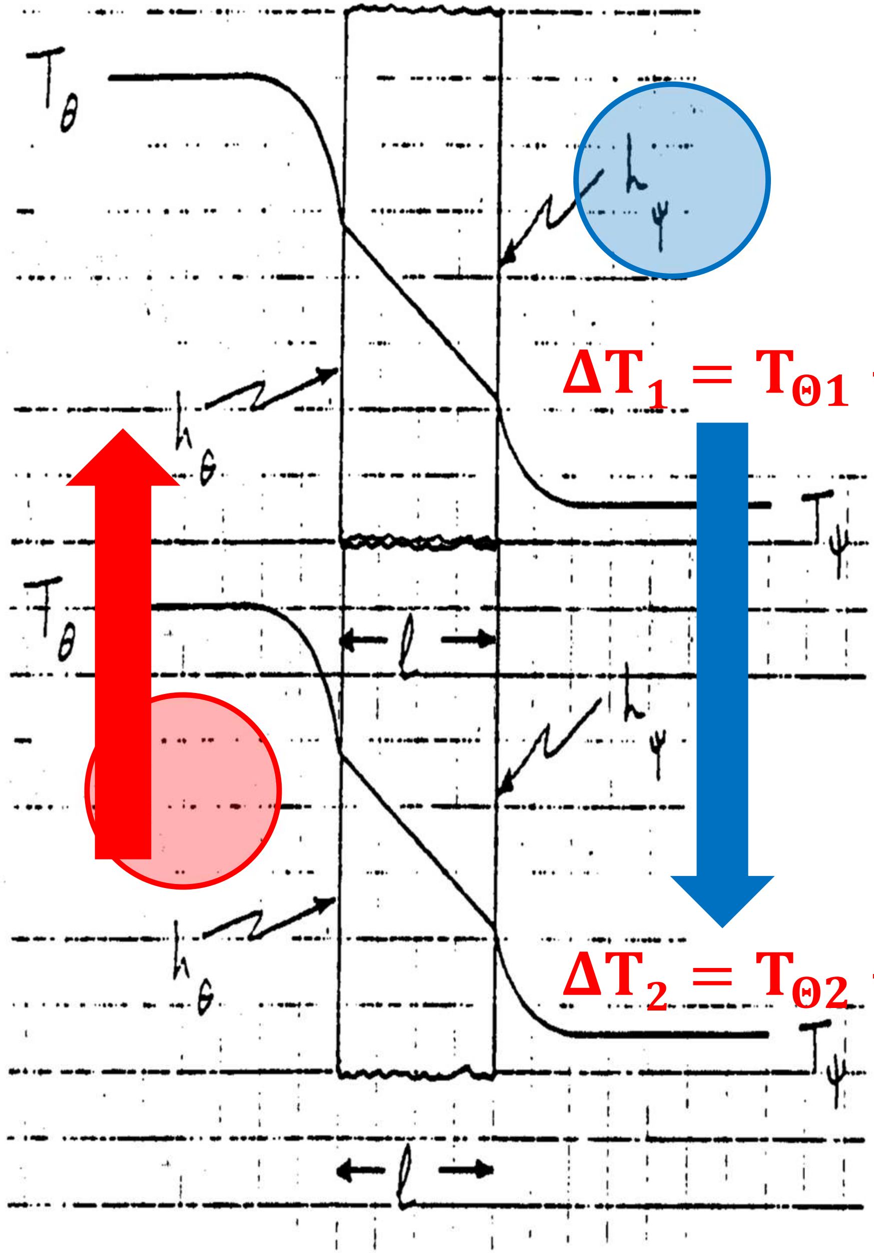
$$\Delta T = (T_\theta - T_\psi)$$

ΔΤ η οδηγούσα δύναμη

$$U = \left(\boxed{\frac{1}{h_\theta}} + \boxed{\frac{\ell}{k_\tau}} + \boxed{\frac{1}{h_\psi}}\right)^{-1}$$

Κατανομή Θερμοκρασιών αριστερά (ρέει θερμό ρευστό) και δεξιά (ρέει ψυχρό ρευστό) της επίπεδης πλάκας

ΔΤ η οδηγούσα δύναμη



$$\Delta T_1 = T_{\Theta 1} - T_{\Psi 1}$$

$$\Delta T_2 = T_{\Theta 2} - T_{\Psi 2}$$

$$Q = AU\Delta T$$

Α: ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔT_1, ΔT_2, οι οδηγούσες δυνάμεις

$$U = \left(\frac{1}{h_\theta} + \frac{\ell}{k_\tau} + \frac{1}{h_\psi} \right)^{-1}$$

ΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ , U

Επίπεδο Τοίχωμα

A = επιφάνεια τοιχώματος
U=ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας
ΔT = διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευμάτων
T_θ = θερμοκρασία θερμού ρευστού
T_ψ = θερμοκρασία ψυχρού ρευστού
h_θ=συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στη θερμή πλευρά
h_ψ=συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στη ψυχρή πλευρά
l = πάχος τοιχώματος
k_τ = συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του τοιχώματος

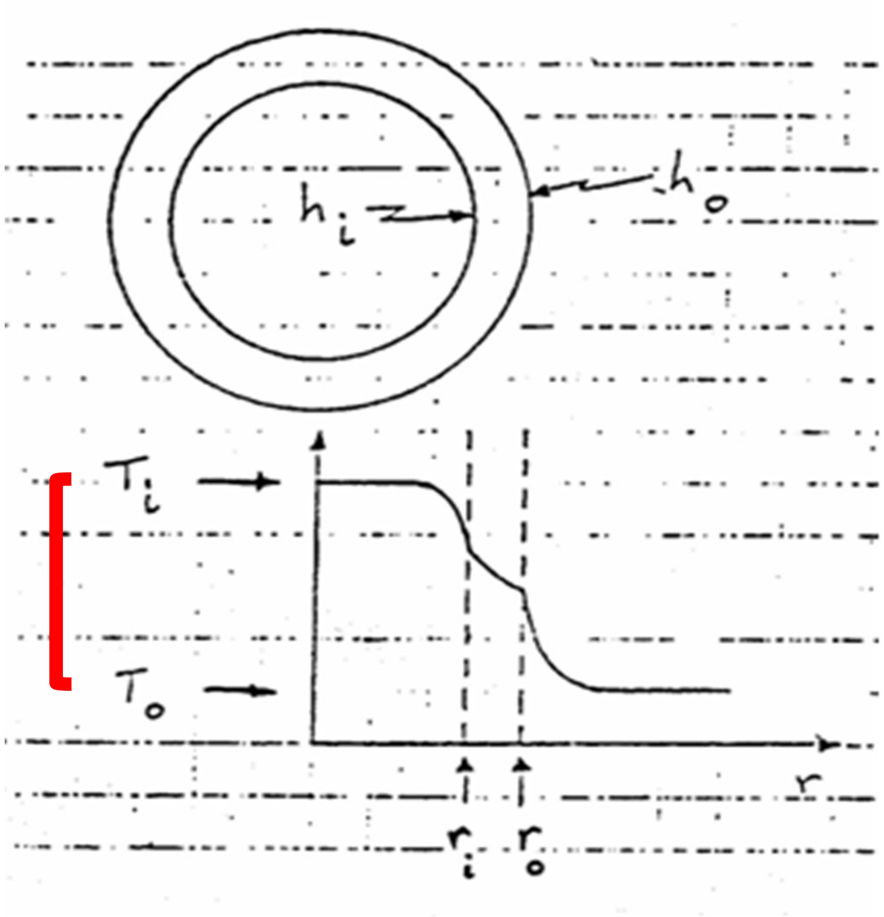
$$Q = AU\Delta T$$

$$\Delta T = (T_\theta - T_\psi)$$

$$U = \left(\frac{1}{h_\theta} + \frac{\ell}{k_\tau} + \frac{1}{h_\psi}\right)^{-1}$$

ΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ , U

Τοίχωμα Αυλού



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

$\Delta T = T_i - T_o$

$A_o = 2\pi r_o L$

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

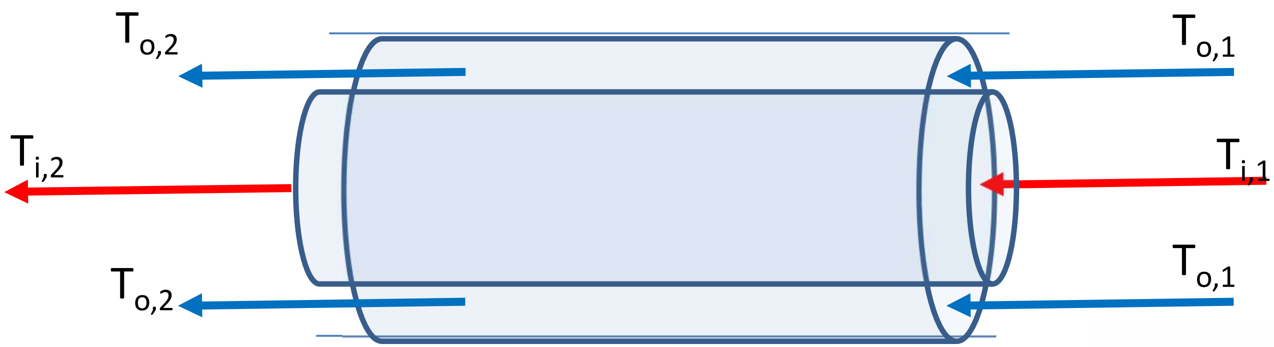
$A_i = 2\pi r_i L$

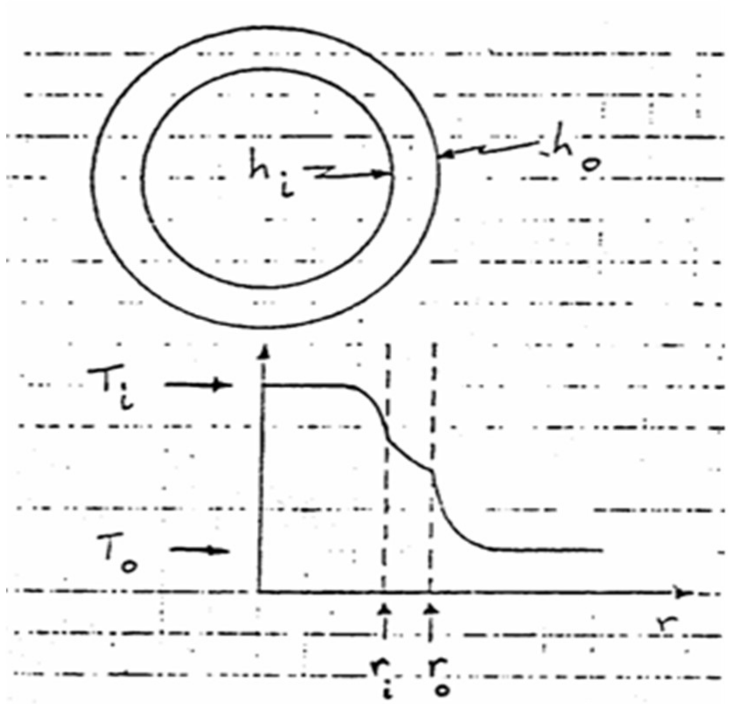
$$U_i = \frac{1}{r_i}\left(\frac{1}{r_i h_i} + \frac{1}{k_\tau}\ell n\frac{r_o}{r_i} + \frac{1}{r_o h_o}\right)^{-1}$$

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





$Q = A_o U_o\ \Delta T = A_i\ U_i\ \boldsymbol{\Delta T}$

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

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

$A_o = 2\pi r_o L$

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}

Μεταφορά θερμότητας με Συναγωγή μέσα σε Αυλούς

i) Στρωτή Ροή, Re_b <2100

Εξίσωση των Sieder and Tate (1936)

$$Re_b < 2100$$

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

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

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

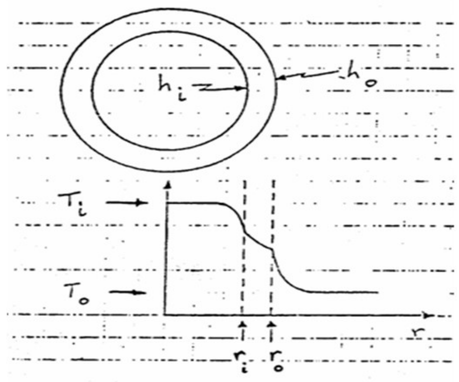
G= = $\rho\langle v\rangle$= μαζική ταχύτητα του ρευστού

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

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

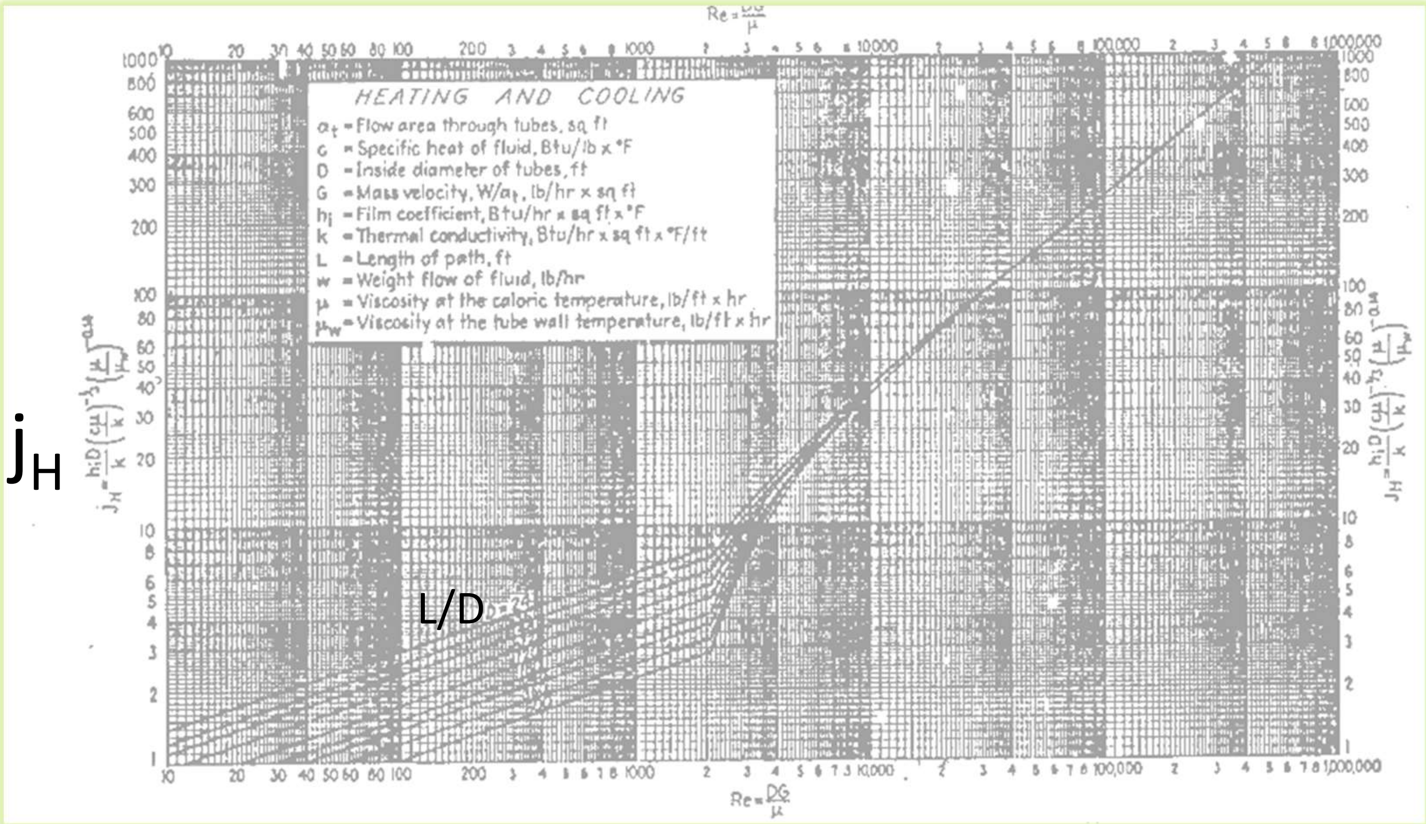
Re_b>20000, (L/D) > 10

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

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

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

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, h



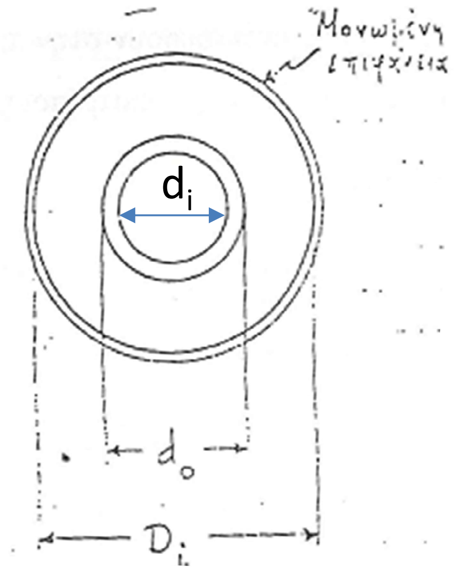
$$Re_b = \frac{GD}{\mu_b}$$

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:***



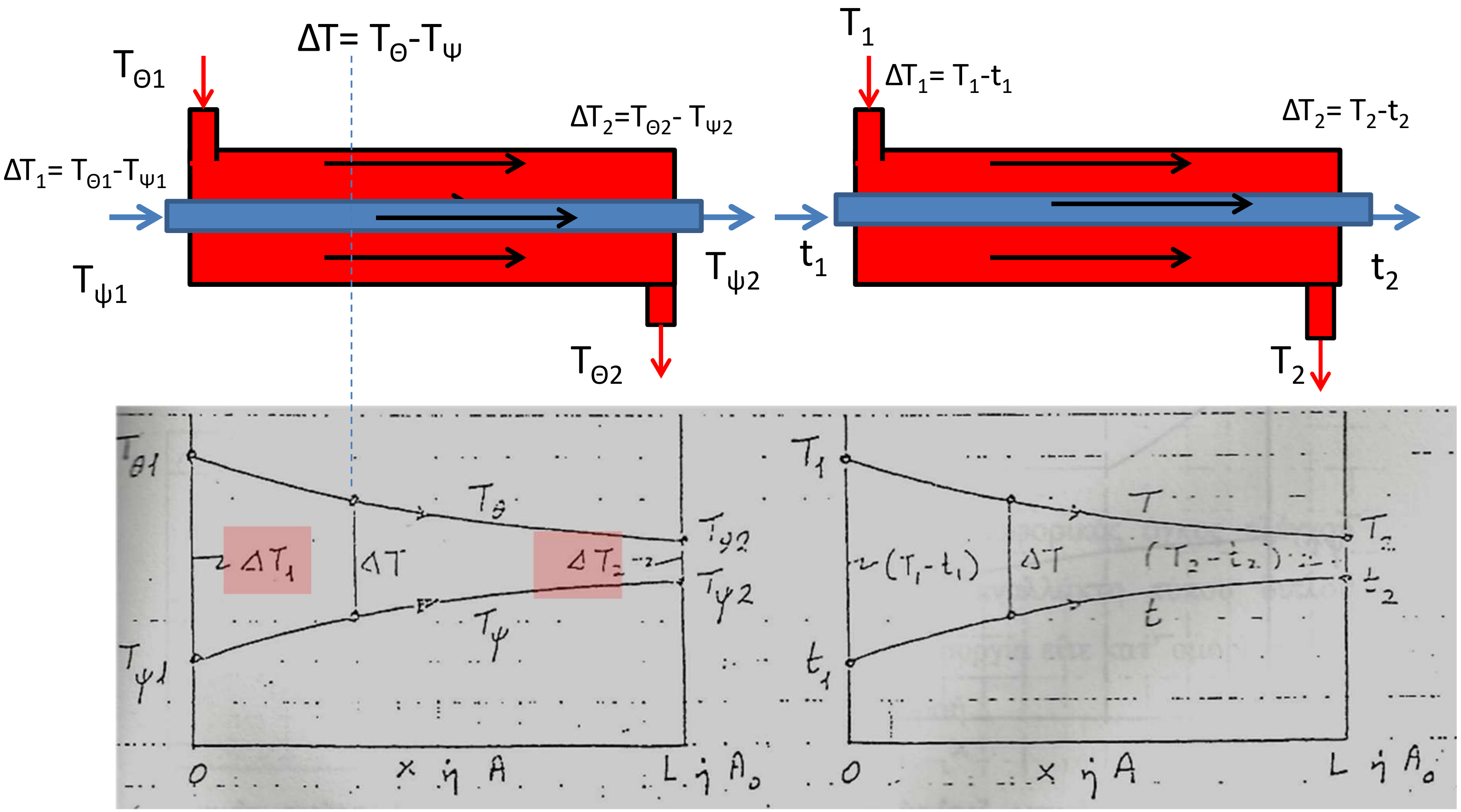
$$D_e = 4\frac{\text{εμβαδόν διατομής}}{\text{περίμετρος μεταφοράς θερμότητας}}$$

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

Η *υδραυλική διάμετρο D_υ* ορίζεται ως

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

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού, ΟΜΟΡΡΟΗ

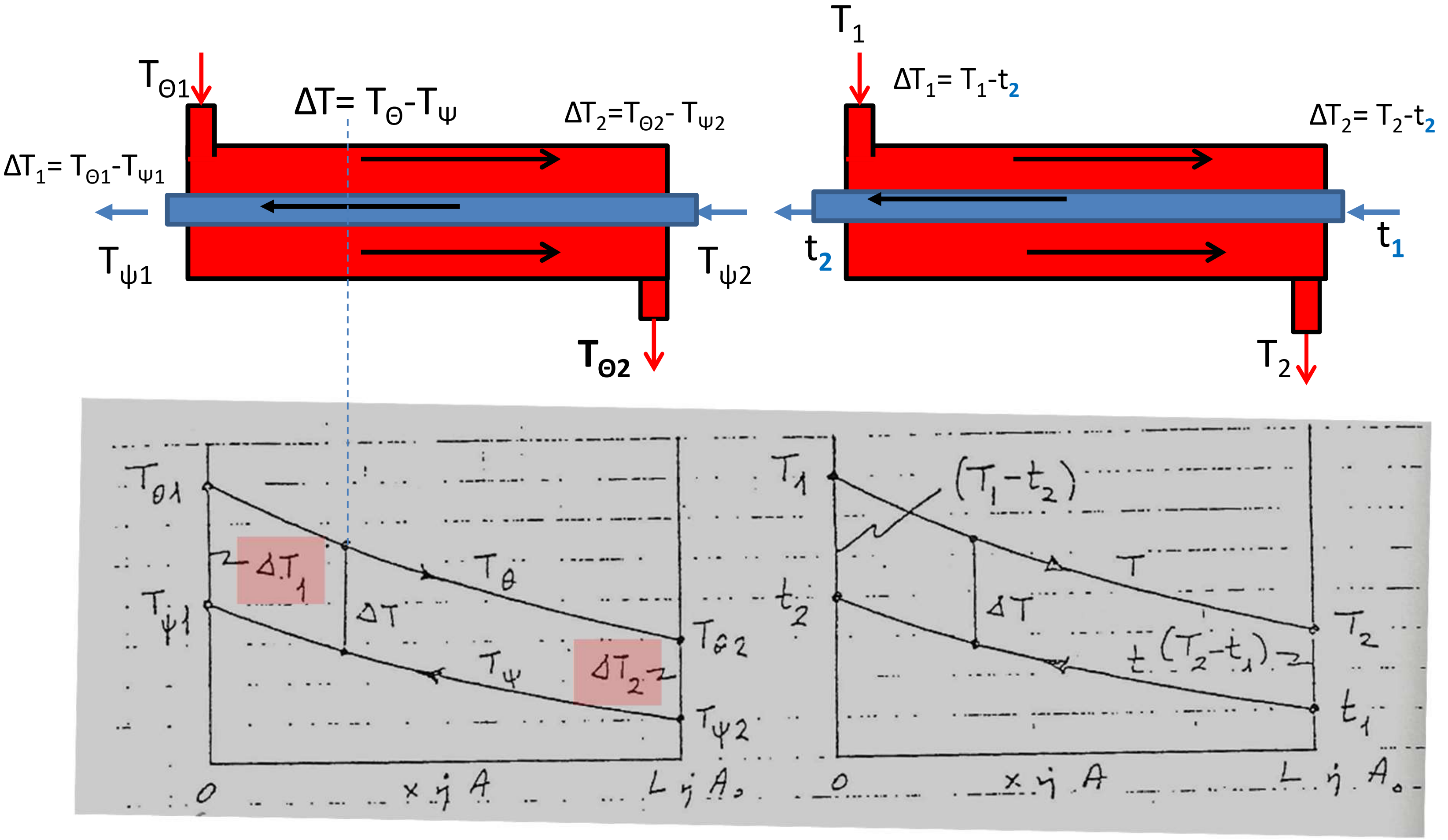


Q= A U ΔT, $\Delta T_1 = T_{\Theta 1} - T_{\psi 1}$, $\Delta T_2 = T_{\Theta 2} - T_{\psi 2}$, $\Delta T = T_\Theta - T_\psi$

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, $\Delta T_1 = T_1 - t_2$, $\Delta T_2 = T_2 - t_1$, $\Delta T = T - t$

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

Συμφωνία 1

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

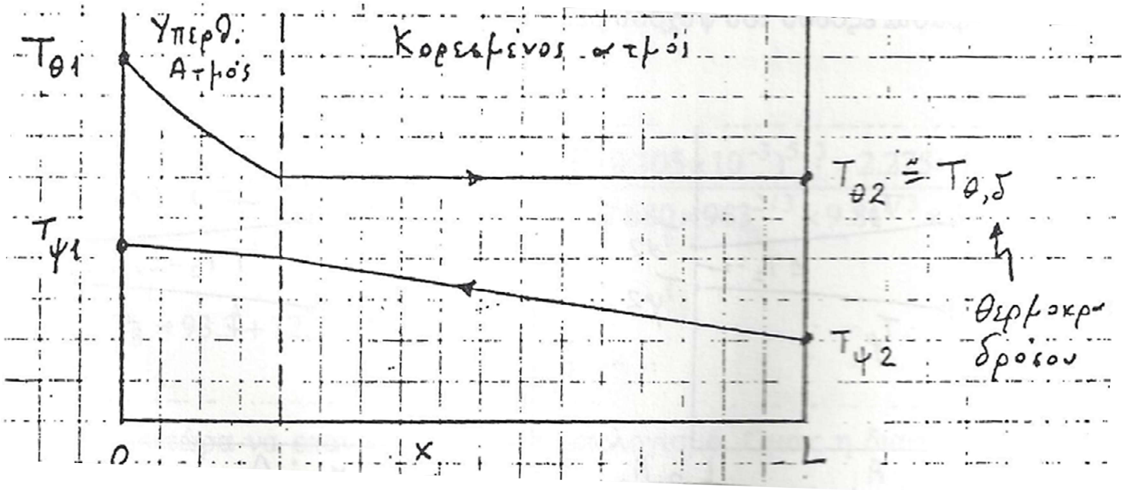
Συμφωνία 2

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

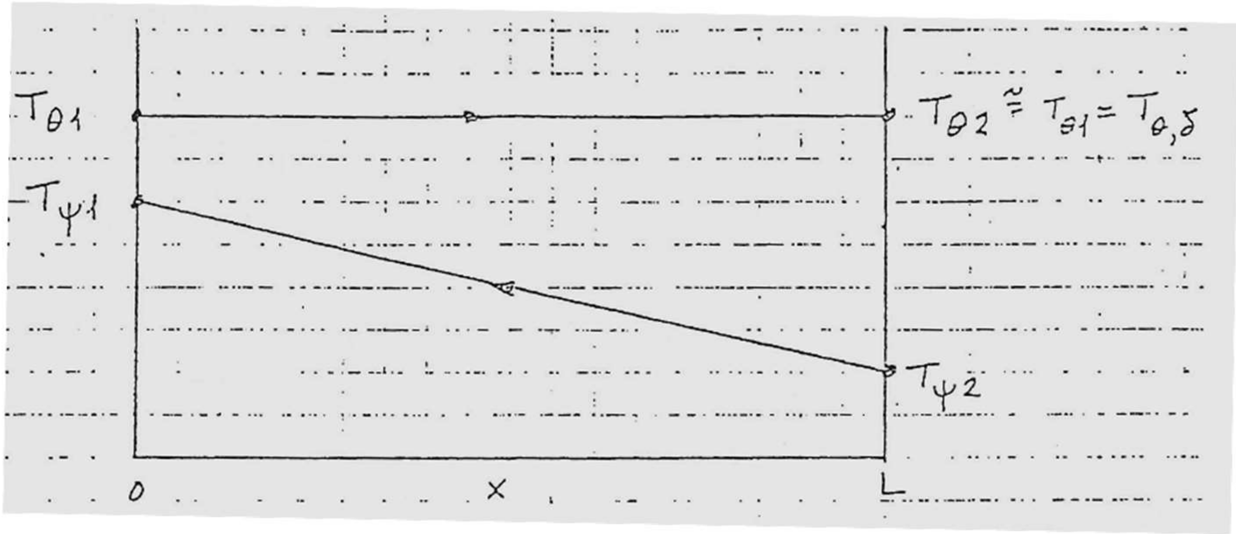
Αλλαγή φάσης

Αν το ένα από τα δύο ρευστά υπόκειται σε αλλαγή φάσεως, τότε η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή κατά μήκος μέρους του εναλλάκτη.



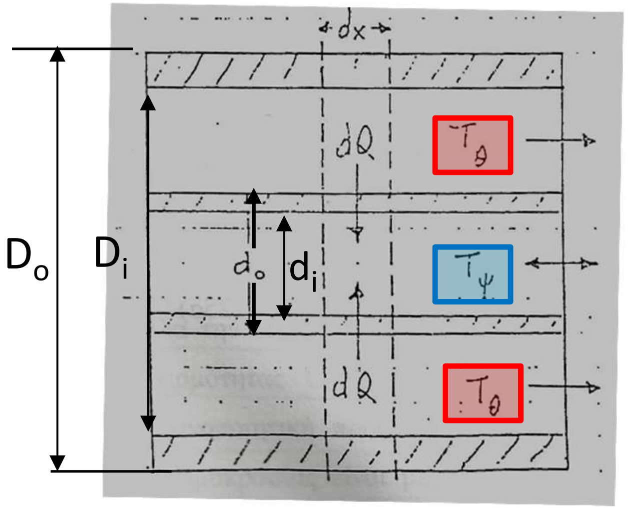
Εναλλάκτης διπλού αυλού κατ’ αντιρροή. Το θερμό ρεύμα είναι υπέρθερμος ατμός.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού



Εναλλάκτης διπλού αυλού κατ' αντιρροή. Το θερμό ρεύμα είναι κορεσμένος ατμός.

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

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

Αν U_0 ΔΕΝ είναι σταθερός κατά μήκος του εναλλάκτη

U_1=τιμή του U_0 στην είσοδο του θερμού ρευστού

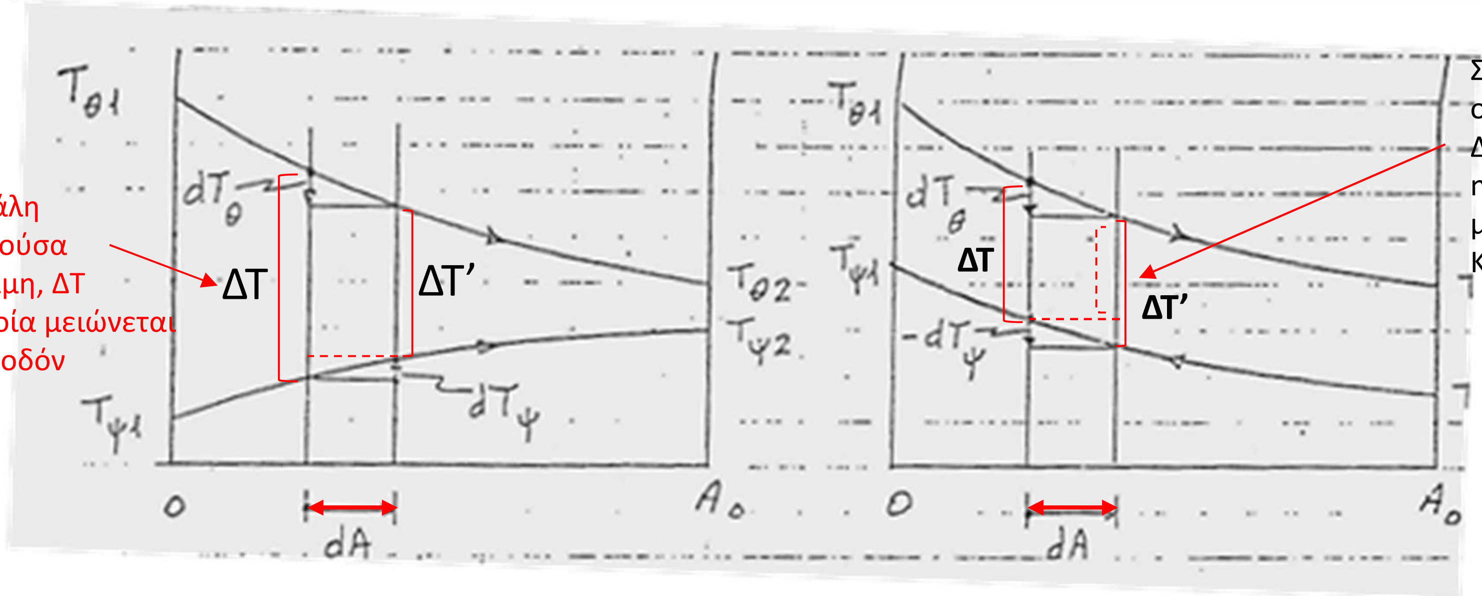
U_2=τιμή του U_0 στην έξοδο του θερμού ρευστού

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

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

Ανάλυση. Η Λογαριθμική Μέση Διαφορά Θερμοκρασίας

Μεγάλη οδηγούσα Δύναμη, ΔΤ η οποία μειώνεται Καθ' οδόν



Σχεδόν σταθερή οδηγούσα Δύναμη, ΔΤ η οποία δεν μειώνεται Καθ' οδόν

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

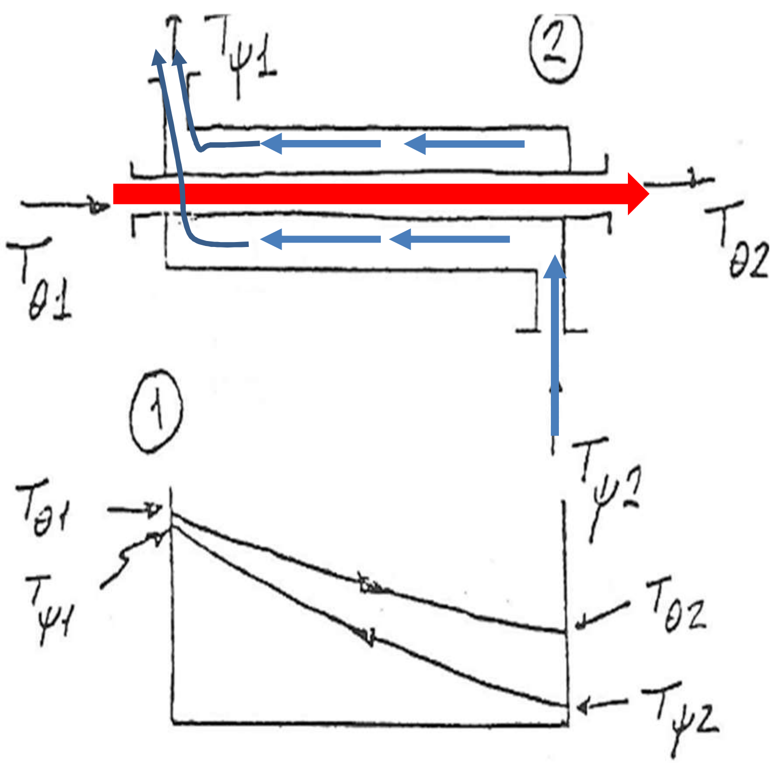
$$(\Delta T)_{\ell m} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ell n \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

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

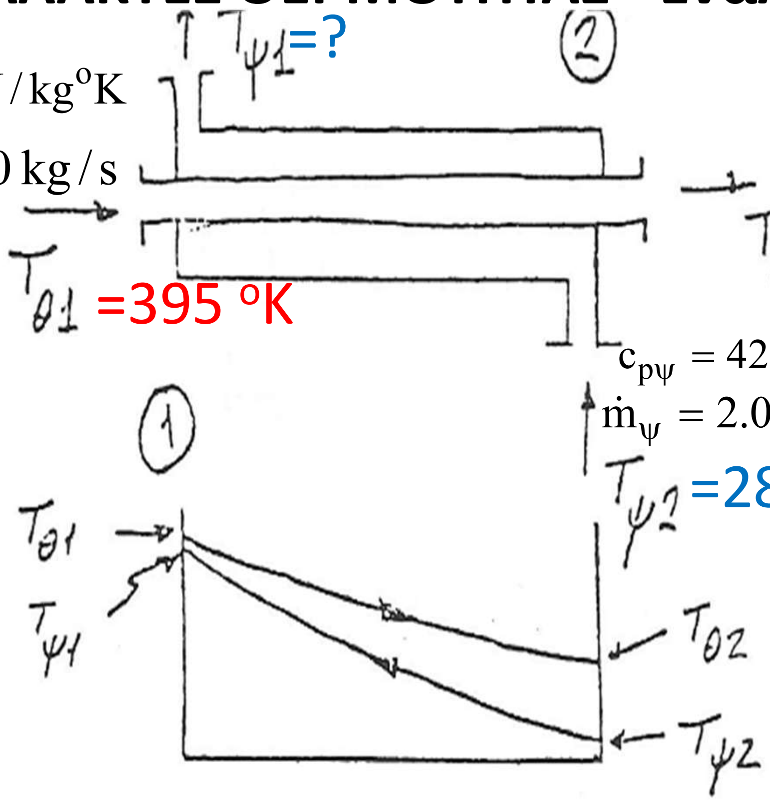
Ισχύει και για ομορρόη και για αντιρροή

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 $m^{-2o}K^{-1}$.
- (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 m² 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



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

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

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

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

$U_0 = 1136\,\mathrm{W/m^2\,{}^oK}$

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 K- $T_{\psi,1}$ $= 4{,}9K$

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

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

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

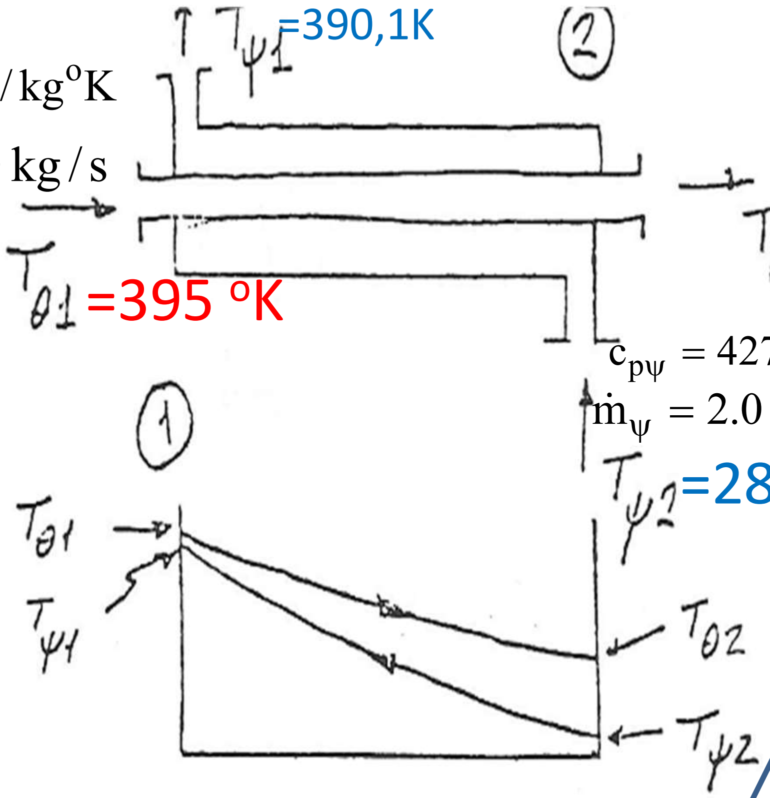
$\Delta T_\psi = T_{\psi,1} - T_{\psi,2} = \dfrac{\dot{m}_\theta\, c_{p,\theta}}{\dot{m}_\psi\, c_{p,\psi}}\,(T_{\theta,1} - T_{\theta,2})$= $\dfrac{5\,\frac{kg}{s}\,2090\,\frac{J}{kg\,K}}{2\,\frac{kg}{s}\,4271\,\frac{J}{kg\,K}}$ (90 K)=1,22*90K=110,103K

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

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

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

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



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

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

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

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

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

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

Ποσά θερμότητας που εναλλάσσονται

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

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

$$\boldsymbol{Q_\psi} = (2 * 4271 * 110{,}103)\frac{kg}{s}\frac{J}{kg\,K}K = \mathbf{940499{,}8}\ \frac{J}{s} = 940.5\ kWatt$$

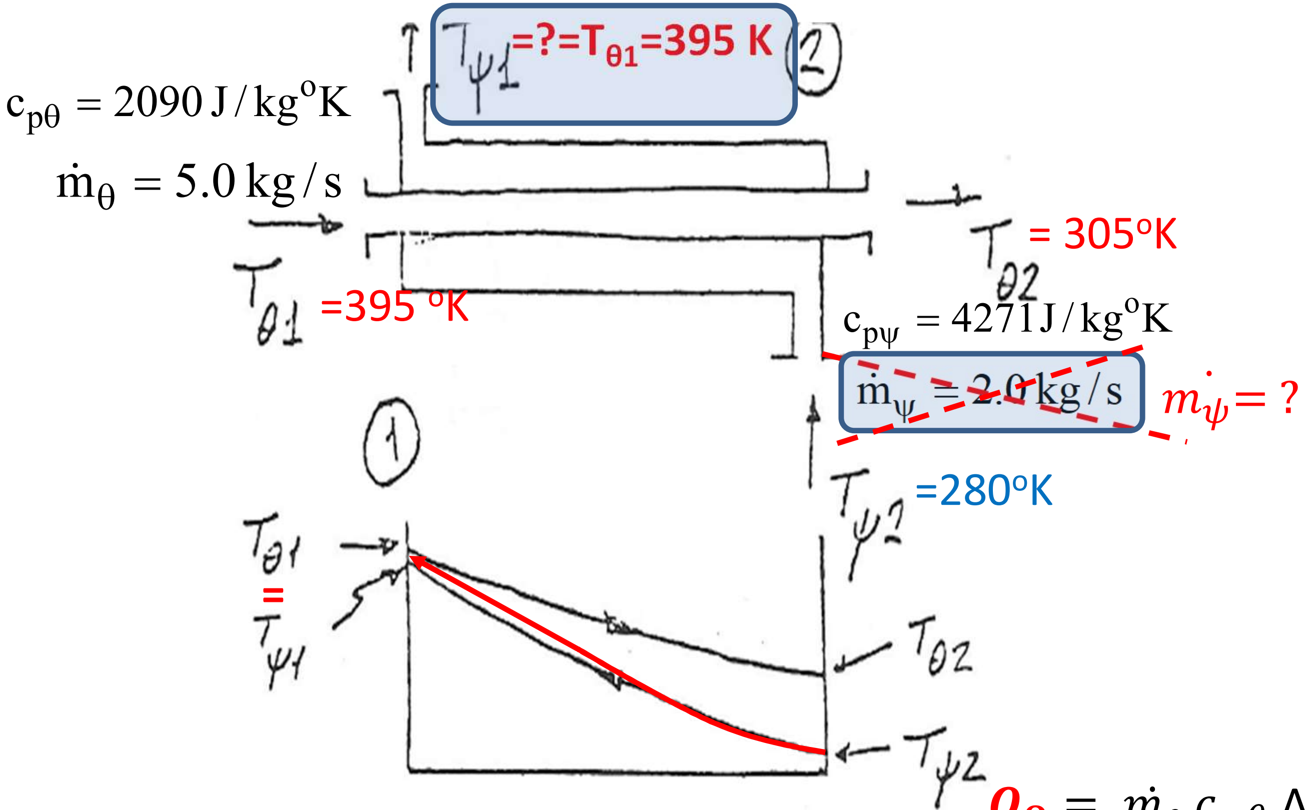
$\boldsymbol{Q_\Theta} = \boldsymbol{Q_\psi}$! Έλεγχος

ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

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

Για $c_{p\theta}$, $c_{p\psi}$, $T_{\theta 1}$, $T_{\theta 2}$ και $T_{\psi 2}$=σταθ., το $\dot{m}_{\psi}$ γίνεται ελάχιστο για $T_{\psi 1}=T_{\psi 1,max}$.

Αλλά, $T_{\psi 1,max}=T_{\theta 1}=395^{o}K$, (πράγμα που συμβαίνει αν $A_0 \to \infty$). Ετσι,



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

$$\dot{m}^{(\alpha\nu\tau)}_{\psi,min} = \dot{m}_{\theta}\frac{c_{p\theta}(T_{\theta 1}-T_{\theta 2})}{c_{p\psi}(T_{\theta 1}-T_{\psi 2})} = 5.0\frac{2090(395-305)}{4271(395-280)} = \mathit{1.915\ Kg/s}$$

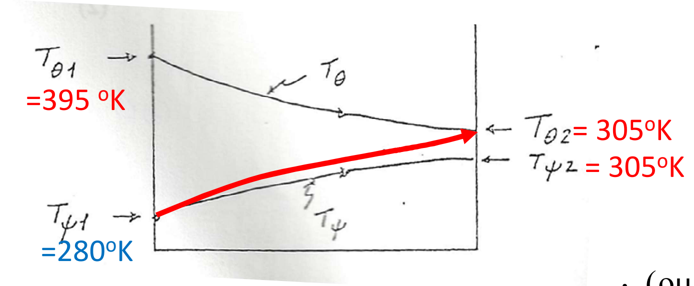
ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- Εναλλάκτης τύπου Διπλού Αυλού

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 $T_{\vartheta 2}$, $\boxed{T_{\psi 2} = T_{\psi 2,\max} = T_{\theta 2}}$

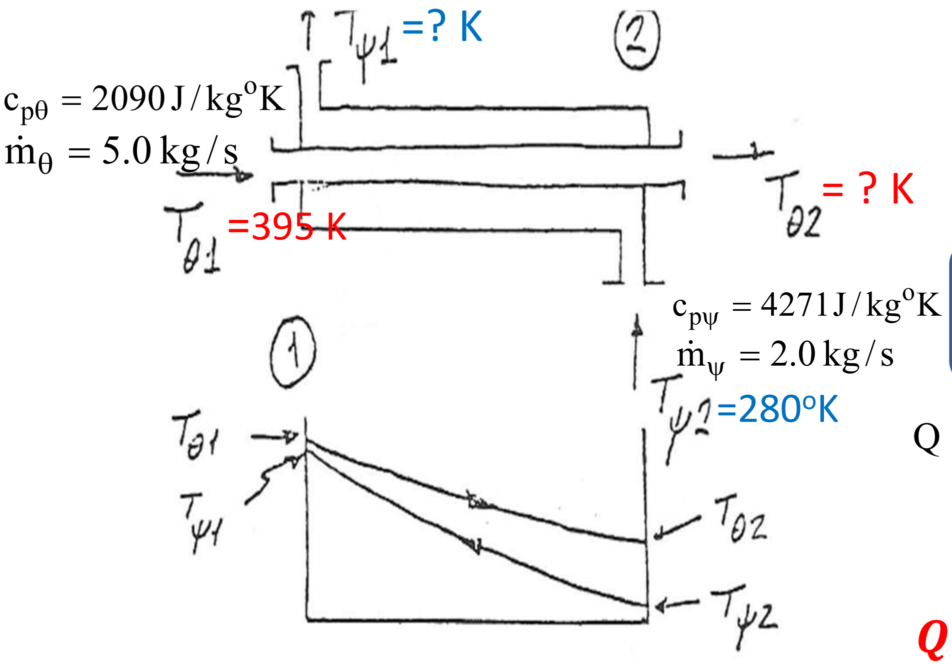
$$\dot{m}_{\psi,\min}^{(o\mu)} = \dot{m}_\theta \frac{c_{p\theta}(T_{\theta 1} - T_{\theta 2})}{c_{p\psi}(T_{\theta 2} - T_{\psi 1})} = 5.0\frac{2090(395-305)}{4271(305-280)} = 8.808\ Kg/s$$

$m_{\psi_{\text{αντιρροή}}} = 2$ 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**)



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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