Φυσικές Διεργασίες ΙΙ: Φροντιστήριο 6 (19/05/2021) ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ-ΔΙΠΛΟΥ ΑΥΛΟΥ

Άσκηση 1

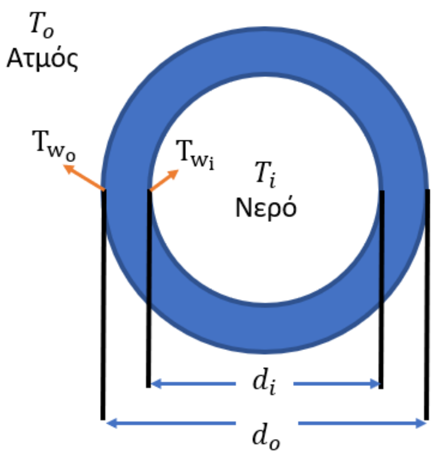
Νερό σε 10 °C ρέει σε σωλήνα ονομαστικής διαμέτρου 1 in (Schedule 40) με ταχύτητα 4.57 m/s και θερμαίνεται από έξω με συμπύκνωση κορεσμένου ατμού θερμοκρασίας 104.4 °C . Έχουμε $\mathbf{h}_{i} = \mathbf{12.21}\frac{kW}{m^2K}$, $\boldsymbol{h_o = 14.20}\frac{kW}{m^2K}$, $\boldsymbol{k_T = 119}\frac{W}{mK}$

(α) Υπολογίστε τον ολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας βάσει της εξωτερική και της εσωτερικής επιφάνειας

(β) Υπολογίστε τις θερμοκρασίες της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας του μεταλλικού σωλήνα.

Λύση

(a) Υπολογίστε τον ολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας βάσει την εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας.



Η ονομαστική διάμετρος του σωλήνα είναι $1\ in$. Από τον Πίνακα με τα χαρακτηριστικά χαλύβδινων σωλήνων σύμφωνα με το Schedule 40 έχουμε ότι:

$$d = 1\ in \Rightarrow \begin{cases} d_i = 1.32\ in \Rightarrow d_i = 0.03353\ m \\ d_o = 1.019\ in \Rightarrow d_o = 0.02589\ m \end{cases}$$

Αντίστοιχα, η εσωτερική και η εξωτερική ακτίνα έχουμε ότι:

$$r_o = \frac{1}{2}d_o \Rightarrow r_o = 0.01676\ m$$

$$r_i = \frac{1}{2}d_i \Rightarrow r_i = 0.01294\ m$$

Για τον ρυθμό μεταφορά θερμότητας μέσα από τον σωλήνα ισχύει ότι:

$$Q = A_{in}U_i\Delta T = A_{out}U_o\Delta T = h_{in}A_{in}\Delta T_{in} = h_{out}A_{out}\Delta T_{out} \qquad (1)$$

Όπου, $\Delta T = T_{in} - T_{out}$, $\Delta T_{in} = T_{in} - T_{wi}$, $\Delta T_{out} = T_{w,out} - T_{out}$

$$A_{in} = 2\pi r_i L,\ A_{out} = 2\pi r_o L$$

$$U_i = \frac{1}{r_i}\left\{\frac{1}{r_i h_i} + \frac{1}{k_t}\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{r_o h_o}\right\}^{-1} \qquad (2)$$

$$U_o = \frac{1}{r_o}\left\{\frac{1}{r_i h_i} + \frac{1}{k_t}\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{r_o h_o}\right\}^{-1} \qquad (3)$$

Από την σχέση (2) για τον ολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας με βάσει την εσωτερική επιφάνειας έχουμε:

$$U_i = \frac{1}{0.01294}\left\{\frac{1}{12.21 * 10^3 * 0.01294} + \frac{1}{119}\ln\left(\frac{0.01676}{0.01294}\right) + \frac{1}{14.20 * 10^3 * 0.01676}\right\}^{-1} \Rightarrow$$

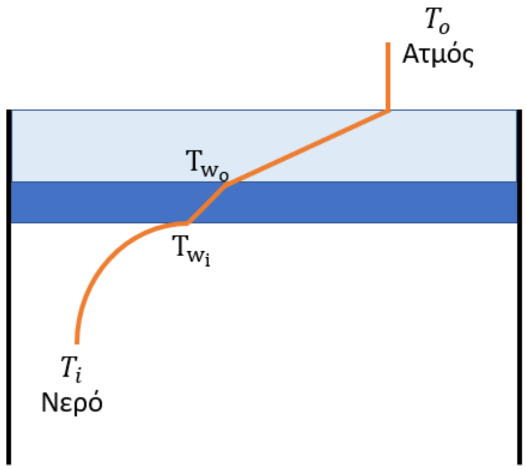
$$\boldsymbol{U_i = 6083\frac{W}{m^2\,K}}$$

Επίσης από τη σχέση (3) έχουμε:

$$(1) \Rightarrow Q = A_{in}U_i\Delta T = A_oU_o\Delta T \Rightarrow U_o = U_i\frac{A_i}{A_o} = U_i\frac{2\pi r_i L}{2\pi r_o L} = U_i\frac{r_i}{r_o} \Rightarrow$$

$$U_o = 6083\frac{0.01294}{0.01676} \Rightarrow \boldsymbol{U_o = 4696\frac{W}{m^2K}}$$

(b) Υπολογίστε τις θερμοκρασίες της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας του μεταλλικού σωλήνα.



Έχουμε ότι:

$$\Delta T = T_o - T_i = 104.4 - 10 \Rightarrow$$

$$\Delta T = 94.4\ °C$$

$$(1) \Rightarrow\ Q = A_{out}U_o\Delta T = h_{in}A_{in}\Delta T_{in} = h_{out}A_{out}\Delta T_{out} \Rightarrow$$

$$\begin{cases}\Delta T_i = \dfrac{U_o}{h_i}\dfrac{A_o}{A_i}\Delta T \\ \Delta T_o = \dfrac{U_o}{h_o}\Delta T\end{cases} \Rightarrow \begin{cases}\Delta T_i = 47°C \\ \Delta T_o = 31.2\ °C\end{cases}$$

Τέλος,

$$T_{w,i} = T_i + \Delta T_i = 10°C + 47°C \Rightarrow \boldsymbol{T_{w,i} = 57}°C$$

$$T_{w,o} = T_o - \Delta T_o = 104.4°C - 31.2°C \Rightarrow \boldsymbol{T_{w,o} = 73.2}°C$$

Άσκηση 2

Ορθοξυλένιο θερμαίνεται από 38 °C σε 67 °C ψύχοντας $8165\ kg/hr$ βουτυλικής αλκοόλης από 76.5 °C σε 60 °C. Για αυτή τη διεργασία θέτουμε πέντε φουρκέτες τύπου (3 in) x (2 in) IPS (Schedule 40) και μήκους 20 ft, συνδεδεμένες εν σειρά.

(α) Ποιος είναι ο διαθέσιμος συντελεστής ρύπανσης?

(β) Ποιες είναι οι πτώσεις πίεσης στα δύο ρεύματα?

Λύση

(α) Ποιος είναι ο διαθέσιμος συντελεστής ρύπανσης?

Ψυχρό ρευστό : ορθοξυλένιο

Θερμό ρευστό: Βουτυλική αλκοόλη

Για καλύτερη αποδοτικότητα και εφόσον η θερμοκρασία εισόδου του ψυχρού είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία εξόδου του θερμού ρευστού θα χρησιμοποιήσουμε αντιρροή.

1. ***Υπολογισμός μέσων θερμοκρασιών ρευστών και ιδιοτήτων***

$$\left.\begin{matrix} T_{\theta 1} = 76.5\ °\mathrm{C} \\ T_{\theta 2} = 60\ °\mathrm{C} \end{matrix}\right\} \Rightarrow T_{\theta,\mu} = \frac{1}{2}\left(T_{\theta 1} + T_{\theta 2}\right) \Rightarrow T_{\theta,\mu} = 68.25\ °\mathrm{C} = 154.85°\mathrm{F}$$

$$\left.\begin{matrix} T_{\psi 1} = 67\ °\mathrm{C} \\ T_{\psi 2} = 38\ °\mathrm{C} \end{matrix}\right\} \Rightarrow T_{\psi,\mu} = \frac{1}{2}\left(T_{\psi 1} + T_{\psi 2}\right) \Rightarrow T_{\psi,\mu} = 52.5\ °\mathrm{C} = 126.5°\mathrm{F}$$

Σε αυτές τις θερμοκρασίες θα υπολογίσουμε τις ιδιότητες των ρευστών, από πίνακες:

Ψυχρό Ρεύμα (Ορθοξυλένιο)	**Θερμό Ρεύμα (Βουτυλική αλκοόλη)**
$Cp_{\psi} = 0.43 \frac{Btu}{lb°F} = 1800.324 \frac{J}{kg\ K}$	$Cp_{\theta} = 0.685 \frac{Btu}{lb°F} = 2867.958 \frac{J}{kg\ K}$
$k_{\psi} = 0.156\ W/mK$	$k_{\theta} = 0.168\ W/mK$
$\mu_{\psi} = 0.59\ cp = 0.59 * 10^{-3} Pa\ s$	$\mu_{\theta} = 0.95\ cp = 0.95 * 10^{-3} Pa\ s$
$s_{\psi} = 0.81 = \frac{\rho_{\psi}}{\rho_{H2O}} \Rightarrow \rho_{\psi} = 810 \frac{kg}{m^3}$ $(\rho_{H2O} = 1000 \frac{kg}{m^3})$	$s_{\theta} = 0.87 = \frac{\rho_{\theta}}{\rho_{H2O}} \Rightarrow \rho_{\theta} = 870 \frac{kg}{m^3}$ $(\rho_{H2O} = 1000 \frac{kg}{m^3})$

Ακόμη, $m_{\theta} = 8165 \frac{kg}{hr} \Rightarrow m_{\theta} = 2.268\ kg/s$

2. ***Υπολογισμός του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας***

Αγνοούμε τις θερμικές απώλειες και θεωρούμε σταθερές ιδιότητες των ρευστών μέσα στον εναλλάκτη.

$$Q = m_{\theta} Cp_{\theta}\left(T_{\theta 1} - T_{\theta 2}\right) = m_{\psi} Cp_{\psi}\left(T_{\psi 1} - T_{\psi 2}\right) \Rightarrow$$

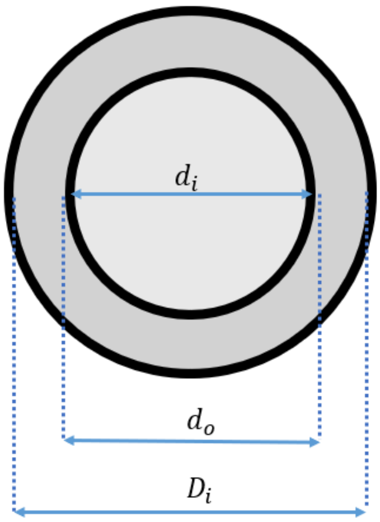
$$Q = m_{\theta} Cp_{\theta}\left(T_{\theta 1} - T_{\theta 2}\right) \Rightarrow Q = 107325\ W$$

$$m_{\psi} = \frac{m_{\theta} Cp_{\theta}\left(T_{\theta 1} - T_{\theta 2}\right)}{Cp_{\psi}\left(T_{\psi 1} - T_{\psi 2}\right)} \Rightarrow m_{\psi} = 2.056\ kg/s$$

3. ***Υπολογισμός της μέσης λογαριθμικής διαφοράς θερμοκρασίας***

$$(\Delta T)_{lm} = \frac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2}) - (T_{\theta 1} - T_{\psi 1})}{\ln(\frac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2})}{(T_{\theta 1} - T_{\psi 1})})} \Longrightarrow (\Delta T)_{lm} = 14.89\ K$$

4. ***Υπολογισμός του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας***



Τύπος φουρκετών: (3 in) x (2 in)

$$\mathrm{D_{out}} = 3\ in\ (ονομαστική) \Longrightarrow D_i = 3.068\ in = 0.07793\ m$$

$$\mathrm{D}_{in} = 2\ in\ (ονομαστική) \Longrightarrow \begin{cases} d_i = 2.067\ in = 0.0525\ m \\ d_o = 2.38\ in = 0.06045\ m \end{cases}$$

Έχουμε πέντε φουρκέτες μήκους 20 ft.

$$N_\varphi = 5$$

$$l_\varphi = 20\ ft = 6.096\ m$$

Η επιφάνεια ροής για τον εσωτερικό σωλήνα είναι:

$$S_{in} = \frac{\pi d_i^2}{4} \Longrightarrow S_{in} = 0.0021637\ m^3$$

Η επιφάνεια ροής για τον εξωτερικό σωλήνα είναι:

$$S_{out} = \frac{\pi (D_i^2 - d_o^2)}{4} \Longrightarrow S_{out} = 0.0018988\ m^2$$

Παρατηρώ ότι $S_{in} > S_{out}$. Για να έχουμε πιο ισοζυγισμένη πτώση πίεσης θα βάλουμε την μεγαλύτερη παροχή στην μεγαλύτερη επιφάνεια ροής, επομένως:

Εσωτερικός Αγωγός: Θερμό Ρευστό

Δακτυλιοειδής Αγωγός: Ψυχρό Ρευστό

Ψυχρό Ρευστό: ορθοξυλένιο **Δακτυλιοειδής Αγωγός**	**Θερμό Ρευστό: Βουτυλική Αλκοόλη** **Εσωτερικός Αγωγός**
Επιφάνεια για ροή	
$S_\psi = S_{out} = 0.0018988\ m^2$ $D_e = \frac{D_i^2 - d_o^2}{d_o} = 0.04\ m$	$S_\theta = S_{in} = 0.0021637\ m^2$
Μαζική Ταχύτητα	
$G_\psi = \frac{m_\psi}{S_\psi} = 1082.789\ kg/m^2s$	$G_\theta = \frac{m_\theta}{S_\theta} = 1048.205\ kg/m^2s$
Αριθμός Reynolds	
$Re_\psi = (Re_b)_\psi = \frac{D_e G_\psi}{\mu_\psi} = 7.3 * 10^4$ (Τυρβώδης ροή)	$Re_\theta = (Re_b)_\theta = \frac{d_i G_\theta}{\mu_\theta} = 5.8 * 10^4$ (Τυρβώδης ροή)

Συντελεστής j_H του Colburn	
$j_{H,\psi} = 0.026\,(Re_b)_{\psi}^{0.8} = 202.13$	$j_{H,\theta} = 0.026\,(Re_b)_{\theta}^{0.8} = 168.16$
Αριθμός Prandtl	
$Pr_{\psi} = \dfrac{Cp_{\psi}\mu_{\psi}}{k_{\psi}} = 6.809$	$Pr_{\theta} = \dfrac{Cp_{\theta}\mu_{\theta}}{k_{\theta}} = 16.218$
Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	
Από την εξίσωση Sieder and Tate: $h_o = j_{H,\psi}\dfrac{k_{\psi}}{D_e}\,Pr_{\psi}^{\frac{1}{3}}\left(\dfrac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} \Rightarrow$ $(\lambda\varepsilon\pi\tau\acute{o}\rho\varepsilon\upsilon\sigma\tau o\ \rho\varepsilon\upsilon\sigma\tau\acute{o}\ \acute{\alpha}\rho\alpha\ \left(\dfrac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} = 1) \Rightarrow$ $h_o = 1494.13\ W/m^2K$	Από την εξίσωση Sieder and Tate: $h_i = j_{H,\theta}\dfrac{k_{\theta}}{d_i}\,Pr_{\theta}^{\frac{1}{3}}\left(\dfrac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} \Rightarrow$ $(\lambda\varepsilon\pi\tau\acute{o}\rho\varepsilon\upsilon\sigma\tau o\ \rho\varepsilon\upsilon\sigma\tau\acute{o}\ \acute{\alpha}\rho\alpha\ \left(\dfrac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} = 1) \Rightarrow$ $h_i = 1362.1\ W/m^2K$ Διόρθωση για τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα. $h_{i,o} = h_i\dfrac{d_i}{d_o} \Rightarrow h_{i,o} = 1182.97\ W/m^2K$

5. ***Υπολογισμός του Ολικού συντελεστή μεταφοράς Θερμότητας***

Αγνοώντας την θερμική αγωγιμότητα του τοιχώματος έχουμε:

$$U_o = \left\{\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{i,o}}\right\}^{-1} \Rightarrow U_o = 660.233\ W/m^2K$$

6. ***Υπολογισμός της ολικής επιφάνειας***

Η επιφάνειας ανά φουρκέτα είναι: $A_{\varphi} = \pi d_o(2l_{\varphi}) \Rightarrow A_{\varphi} = 2.3142\ m^2$

Άρα η ολική επιφάνεια είναι: $A_o = N_{\varphi}A_{\varphi} = 5 * 2.3142 \Rightarrow A_o = 11.571\ m^2$

7. ***Υπολογισμός του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για τον σχεδιασμό***

$$Q = U_{o,\sigma\chi}A_o(\Delta T)_{lm} \Rightarrow\ U_{o,\sigma\chi} = \frac{Q}{A_o(\Delta T)_{lm}} \Rightarrow U_{o,\sigma\chi} = 623.117\ W/m^2K$$

8. ***Υπολογισμός του διαθέσιμου συντελεστή μεταφοράς ρύπανσης***

$$R_{\rho} = \frac{1}{U_{o,\sigma\chi}} - \frac{1}{U_o} \Rightarrow \boldsymbol{R_{\rho} = 0.00009\ m^2K/W}$$

(b) Υπολογισμός της πτώσης πίεσης σε κάθε ρεύμα

Ψυχρό Ρευστό: ορθοξυλένιο Δακτυλιοειδής Αγωγός	**Θερμό Ρευστό: Βουτυλική Αλκοόλη Εσωτερικός Αγωγός**
Αριθμός Reynolds	
$D_u = D_i - d_o = 0.01748\ m$ $(Re_u)_{\psi} = \dfrac{D_u G_{\psi}}{\mu_{\psi}} = 3.2 * 10^4$	$Re_{\theta} = (Re_b)_{\theta} = \dfrac{d_i G_{\theta}}{\mu_{\theta}} = 5.8 * 10^4$

<table>
<tr><th colspan="2">Συντελεστής τριβής</th></tr>
<tr><td>Εμπορικό ατσάλι$\Longrightarrow \frac{e}{D_u} = 0.002$
$$\left.\begin{array}{r}\dfrac{e}{D_u} = 0.002\\(Re_u)_\psi = 3.2 * 10^4\end{array}\right\} \Longrightarrow f_\psi = 0.029$$</td><td>Εμπορικό ατσάλι$\Longrightarrow \frac{e}{d_i} = 0.0008$
$$\left.\begin{array}{r}\dfrac{e}{d_i} = 0.0008\\(Re_b)_\theta = 5.8 * 10^4\end{array}\right\} \Longrightarrow f_\theta = 0.025$$</td></tr>
<tr><th colspan="2">Πτώση πίεσης</th></tr>
<tr><td>Αμελώντας τις ελάσσονες απώλειες έχουμε:
$$(\Delta P)_\psi = f_\psi \frac{2N_\varphi l_\varphi}{D_u}\frac{G_\psi^2}{2\rho_\psi} \Longrightarrow$$
$\boldsymbol{(\Delta P)_\psi = 73.194\ Pa = 0.722\ atm}$</td><td>Αμελώντας τις ελάσσονες απώλειες έχουμε:
$$(\Delta P)_\theta = f_\theta \frac{2N_\varphi l_\varphi}{d_i}\frac{G_\theta^2}{2\rho_\theta} \Longrightarrow$$
$\boldsymbol{(\Delta P)_\theta = 18.330\ Pa = 0.181\ atm}$</td></tr>
</table>

Άσκηση 3

Βενζίνη πυκνότητας 57 API και με μαζική παροχή 4500 kg/hr ψύχεται από 67 °C σε 54 °C θερμαίνοντας κυροζίνη πυκνότητας 42 API από 21 °C σε 38 °C. Η πτώση πίεσης για κάθε ρεύμα δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 70 kPa. Ο συντελεστής ρύπανσης είναι $\mathbf{0.0007}\frac{m^2K}{W}$.

(α) Πόσες φουρκέτες τύπου $\left(2\frac{1}{2}\ in\right)x\ \left(1\frac{1}{4}\ in\right)$ IPS και μήκους 20 ft χρειάζονται?

(β) Ποιος είναι ο τελικός συντελεστής ρύπανσης?

Λύση

(α) Πόσες φουρκέτες τύπου $\left(2\frac{1}{2}\ in\right)x\ \left(1\frac{1}{4}\ in\right)$ IPS και μήκους 20 ft χρειάζονται?

Θα χρησιμοποιήσουμε αντιρροή για μεγαλύτερη αποδοτικότητα.

Ψυχρό ρευστό : Κυροζίνη

Θερμό ρευστό: Βενζίνη

1. ***Υπολογισμός μέσων θερμοκρασιών ρευστών και ιδιοτήτων***

$$\left.\begin{matrix} T_{\theta 1} = 67°\text{C} \\ T_{\theta 2} = 54\ °\text{C} \end{matrix}\right\} \Rightarrow T_{\theta,\mu} = \frac{1}{2}\left(T_{\theta 1} + T_{\theta 2}\right) \Rightarrow T_{\theta,\mu} = 60.5\ °\text{C} = 140.9°\text{F}$$

$$\left.\begin{matrix} T_{\psi 1} = 21\ °\text{C} \\ T_{\psi 2} = 38\ °\text{C} \end{matrix}\right\} \Rightarrow T_{\psi,\mu} = \frac{1}{2}\left(T_{\psi 1} + T_{\psi 2}\right) \Rightarrow T_{\psi,\mu} = 29.5\ °\text{C} = 85.1°\text{F}$$

Σε αυτές τις θερμοκρασίες θα υπολογίσουμε τις ιδιότητες των ρευστών.

Ψυχρό Ρεύμα **(Κυροζίνη $T_{\psi,\mu} = 85.1\ °\text{F}, 42^o API$)**	**Θερμό Ρεύμα** **(Βενζίνη $T_{\theta,\mu} = 140.9\ °\text{F}, 57^o API$)**
$Cp_\psi = 0.480\frac{Btu}{lb°\text{F}} = 2009.6\frac{J}{kg\ K}$ Από Σχήμα Π.4	$Cp_\theta = 0.535\frac{Btu}{lb°\text{F}} = 2240\frac{J}{kg\ K}$
$k_\psi = 0.0815\frac{Btu}{hrft°\text{F}} = 0.1411\ W/mK$ Από Σχήμα Π.1	$k_\theta = 0.087\frac{Btu}{hrft°\text{F}} = 0.1506\ W/mK$
$\mu_\psi = 1.65\ cp = 1.65 * 10^{-3} Pa\ s$ Από πίνακα Π.2 και Σχήμα Π.7	$\mu_\theta = 0.41\ cp = 0.41 * 10^{-3} Pa\ s$
$s_\psi = 0.816 = \frac{\rho_\psi}{\rho_{H2O}} \Rightarrow \rho_\psi = 816\frac{kg}{m^3}$ $(\rho_{H2O} = 1000\frac{kg}{m^3})$ Από Σχήμα Π.6	$s_\theta = 0.751 = \frac{\rho_\theta}{\rho_{H2O}} \Rightarrow \rho_\theta = 751\frac{kg}{m^3}$ $(\rho_{H2O} = 1000\frac{kg}{m^3})$

Ακόμη, $m_\theta = 4500\frac{kg}{hr} \Rightarrow m_\theta = 1.25\ kg/s$

2. ***Υπολογισμός του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας***

Αγνοούμε τις θερμικές απώλειες και θεωρούμε σταθερές ιδιότητες των ρευστών μέσα στον εναλλάκτη.

$$Q = m_\theta Cp_\theta (T_{\theta 1} - T_{\theta 2}) = m_\psi Cp_\psi (T_{\psi 1} - T_{\psi 2}) \Longrightarrow$$

$$Q = m_\theta Cp_\theta (T_{\theta 1} - T_{\theta 2}) \Longrightarrow Q = 36.4\ kW$$

$$m_\psi = \frac{m_\theta Cp_\theta (T_{\theta 1} - T_{\theta 2})}{Cp_\psi (T_{\psi 1} - T_{\psi 2})} \Longrightarrow m_\psi = 1.065\ kg/s$$

3. ***Υπολογισμός της μέσης λογαριθμικής διαφοράς θερμοκρασίας***

$$(\Delta T)_{lm} = \frac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2}) - (T_{\theta 1} - T_{\psi 1})}{\ln(\frac{(T_{\theta 2} - T_{\psi 2})}{(T_{\theta 1} - T_{\psi 1})})} \Longrightarrow (\Delta T)_{lm} = 31\ K$$

4. ***Υπολογισμός του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας***

Τύπος φουρκετών: $\left(\boldsymbol{2\frac{1}{2}\ in}\right) \boldsymbol{x} \left(\boldsymbol{1\frac{1}{4}\ in}\right)$

$$\mathrm{D_{out}} = 2\frac{1}{2}\ in\ (ονομαστική) \Longrightarrow D_2 = 2.469\ in = 0.0627\ m$$

$$\mathrm{D}_{in} = 1\frac{1}{4}\ in\ (ονομαστική) \Longrightarrow \begin{cases} D_o = 1.380\ in = 0.0351\ m \\ D_i = 1.66\ in = 0.042\ m \end{cases}$$

Η επιφάνεια ροής για τον εσωτερικό σωλήνα είναι:

$$S_{in} = \frac{\pi D_o^2}{4} \Longrightarrow S_{in} = 9.67 * 10^{-4}\ m^3$$

Η επιφάνεια ροής για τον εξωτερικό σωλήνα είναι:

$$S_{out} = \frac{\pi (D_2^2 - D_1^2)}{4} \Longrightarrow S_{out} = 16.88 * 10^{-4}\ m^2$$

Παρατηρώ ότι $S_{in} < S_{out}$. Για να έχουμε πιο ισοζυγισμένη πτώση πίεσης θα βάλουμε την μεγαλύτερη παροχή στην μεγαλύτερη επιφάνεια ροής, επομένως:

Εσωτερικός Αγωγός: Ψυχρό Ρευστό (Κυροζίνη)

Δακτυλιοειδής Αγωγός: Θερμό Ρευστό (Βενζίνη)

Θερμό Ρευστό **Δακτυλιοειδής Αγωγός**	**Ψυχρό Ρευστό** **Εσωτερικός Αγωγός**
Επιφάνεια για ροή	
$S_\theta = S_{out} = 16.88 * 10^{-4} m^2$ $D_e = \frac{D_2^2 - D_1^2}{D_1} = 0.0516\ m$	$S_\psi = S_{in} = 9.67 * 10^{-4}\ m^2$
Μαζική Ταχύτητα	
$G_\theta = \frac{m_\theta}{S_\theta} = 740.52\ kg/m^2 s$	$G_\psi = \frac{m_\psi}{S_\psi} = 1101.9\ kg/m^2 s$
Αριθμός Reynolds	

$Re_\theta = (Re_b)_\theta = \frac{D_e G_\theta}{\mu_\theta} = 9.32 * 10^4$ (Τυρβώδης ροή)	$Re_\theta = (Re_b)_\psi = \frac{D_o G_\psi}{\mu_\psi} = 2.34 * 10^4$ (Τυρβώδης ροή)
Συντελεστής j_H του Colburn	
$j_{H,\theta} = 0.026\,(Re_b)_\theta^{0.8} = 245.75$	$j_{H,\psi} = 0.026\,(Re_b)_\psi^{0.8} = 81.46$
Αριθμός Prandtl	
$Pr_\theta = \frac{Cp_\theta \mu_\theta}{k_\theta} = 6.098$	$Pr_\psi = \frac{Cp_\psi \mu_\psi}{k_\psi} = 23.5$
Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	
Από την εξίσωση Sieder and Tate: $h_o = j_{H,\theta} \frac{k_\theta}{D_e} Pr_\theta^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} \Longrightarrow$ $(\lambda\varepsilon\pi\tau\acute{o}\rho\varepsilon\upsilon\sigma\tau o\ \rho\varepsilon\upsilon\sigma\tau\acute{o}\ \acute{\alpha}\rho\alpha\ \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} = 1) \Longrightarrow$ $h_o = 3130.4\ W/m^2K$	Από την εξίσωση Sieder and Tate: $h_i = j_{H,\psi} \frac{k_\psi}{D_o} Pr_\psi^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} \Longrightarrow$ $(\lambda\varepsilon\pi\tau\acute{o}\rho\varepsilon\upsilon\sigma\tau o\ \rho\varepsilon\upsilon\sigma\tau\acute{o}\ \acute{\alpha}\rho\alpha\ \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14} = 1) \Longrightarrow$ $h_i = 937.96\ W/m^2K$ Διόρθωση για τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας της εξωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού σωλήνα. $h_{i,o} = h_i \frac{D_o}{D_1} \Longrightarrow h_{i,o} = 783.87\ W/m^2K$

5. ***Υπολογισμός του Ολικού συντελεστή μεταφοράς Θερμότητας***

Αγνοώντας την θερμική αγωγιμότητα του τοιχώματος έχουμε:

$$U_o = \left\{\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{i,o}}\right\}^{-1} \Longrightarrow U_o = 626.93\ W/m^2K$$

6. ***Υπολογισμός του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για τον σχεδιασμό***

$$U_{\sigma\chi,o} = \frac{U_o}{1 + R_{\rho,min}} \Longrightarrow U_{\sigma\chi,o} = 435.72\ W/m^2K$$

7. ***Υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας***

$$Q = U_{o,\sigma\chi} A_o (\Delta T)_{lm} \Longrightarrow A_o = \frac{Q}{U_{o,\sigma\chi}(\Delta T)_{lm}} \Longrightarrow A_{\varepsilon\xi} = 2.96\ m^2$$

8. ***Απαιτούμενος Αριθμός Φουρκετών***

Η εξωτερική επιφάνεια του εσωτερικού σωλήνα ανά φουρκέτα είναι:

$$A_\varphi = 2\pi D_1 l_\varphi \Longrightarrow A_\varphi = 1.6089\ m^2$$

$$\frac{A_{\varepsilon\xi}}{A_\varphi} = 1.67 \Longrightarrow \boldsymbol{N_\varphi = 2}$$

(b) Ποιος είναι ο τελικός συντελεστής ρύπανσης?

Για $N_\varphi = 2$

$$A'_o = 2 * A_\varphi = 3.2172\ m^2$$

$$Q = A'_o U'_{\varepsilon\xi,o} (\Delta T)_{lm} \Longrightarrow U'_{\varepsilon\xi,o} = 364.97\ W/m^2K$$

$$R'_\rho = \frac{1}{U'_{o,\sigma\chi}} - \frac{1}{U_o} \Longrightarrow R'_\rho = 0.001145\ m^2K/W$$

Παρατηρώ ότι $R'_\rho > R_{\rho,min}$, άρα όσον αφορά τον ολικό συντελεστή ρύπανσης, ο εναλλάκτης είναι καλός.

9. **Υπολογισμός της πτώσης πίεσης**

- Εσωτερικός σωλήνας

$$\mathrm{Re}_\psi = 2.344 * 10^4$$

Για λείο αγωγό $\left(\frac{e}{D_1} \cong 10^{-6}\right)$, από το διάγραμμα Moody $f_\theta = 0.024$

Αμελώντας τις ελάσσονες απώλειες:

$$\Delta P_\psi = f_\psi \frac{6 l_\varphi}{D_o} \frac{G_\psi^2}{2\rho_\psi} \Longrightarrow \Delta P_\psi = 18.606\ kPa < 70\ kPa$$

- Δακτυλιοειδής σωλήνας

$$D_\upsilon = D_2 - D_1 = 0.0207\ m$$

$$\mathrm{Re}_\theta = \frac{D_\upsilon G_\theta}{\mu_\theta} = 3.72 * 10^4$$

Για λείο αγωγό $\left(\frac{e}{D_1} \cong 10^{-6}\right)$, από το διάγραμμα Moody $f_\theta = 0.021$

Αμελώντας τις ελάσσονες απώλειες:

$$\Delta P_\theta = f_\theta \frac{6 l_\varphi}{D_o} \frac{G_\theta^2}{2\rho_\theta} \Longrightarrow \Delta P_\theta = 13{,}547\ kPa < 70\ kPa$$

Η πτώση πίεση και στους δύο αγωγούς είναι αρκετά μικρότερη από την επιτρεπτή. Έχουμε περιθώριο για τις ελάσσονες απώλειες που αγνοήσαμε αλλά και για μικρή αύξηση της τραχύτητας λόγο ρύπανσης των επιφανειών.