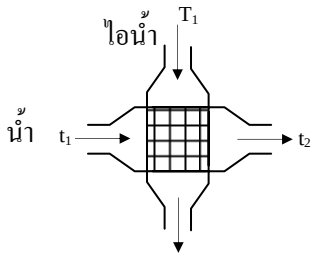
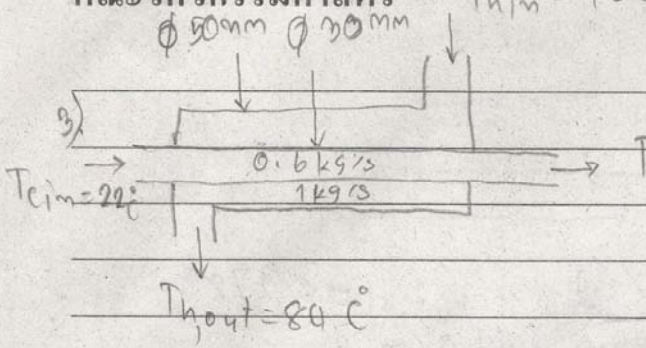
3. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อคู่ที่มีการไหลสวนทาง (counter flow-double pipe heat exchanger) ถูกนำไปใช้ในการหล่อเย็นน้ำมันหล่อลื่น(Engine oil)ที่ใช้ในเครื่องยนต์กังหันแก๊ส กำหนดให้อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ไหลผ่านด้านในของท่อชั้นใน(*ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน= 30 mm ,มีผนังบางมาก*) คือ 0.6 kg/s และกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นซึ่งไหลอยู่ในท่อชั้นนอก(ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน= 50 mm)มีอัตราการไหลเป็น1 kg/s น้ำมันเครื่องไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่อุณหภูมิ 130°C ในขณะที่น้ำไหลเข้าที่อุณหภูมิ 22 °C จงคำนวณหา
   ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)
   ข) LMTD
   ค) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อคู่ต้องมีความยาวเท่าไร ที่จะทำให้น้ำมันเครื่องที่ไหลออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อคู่ มีอุณหภูมิ 84 °C

4. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อคู่ที่มีการไหลสวนทางที่มีค่าประสิทธิผล (effectiveness)เท่ากับ 80% ถูกใช้เพื่อนำไอน้ำ (ค่าความจุความร้อนจำเพาะเท่ากับ 1.86 kJ/kgC) ซึ่งเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ 130 °C และออกไปที่ 114 °C ไปอุ่นน้ำสถานะของเหลวที่ไหลในท่อชั้นใน (ID=1.5 cm) โดยมีอัตราการไหลเท่ากับ 1.2 kg/sec ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 20°C ไปที่ 84°C หากกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่เกิดขึ้นมีค่า 640 $W/m^2.K$
   ก) จงใช้วิธี NTU-ε หาความยาวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อคู่ที่มีการไหลสวนทางดังกล่าว

หากต้องเปลี่ยนชนิดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นชนิดไหลข้ามแบบ single-pass cross-flow with both fluids unmixed ดังรูปต่อไปนี้ จงคำนวณหาพื้นที่ผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดไหล





จาก $q_c = \dot{m}_c C_{pc} (T_{c,out} - T_{c,in}) = -\dot{m}_h C_{ph} (T_{h,out} - T_{h,in})$

ที่ $T_{h,out} = 84°C$, $\bar{T}_h = \frac{84+130}{2} = 107 = 380\ K$

คุณสมบัติที่ $\bar{T}_h = 380\ K$ ดังนี้

$\rho = 836\ kg/m^3$, $C_p = 2.25\ kJ/kg.K$, $\mu = 1.41 \times 10^{-2}\ N.s/m^2$

$k = 136 \times 10^{-3}\ W/m.K$, $Pr = 233$

และที่ $\bar{T}_c = 27°C = 300\ K$

คุณสมบัติที่ $\bar{T}_c = 300\ K$ ดังนี้

$C_p = 4.179\ kJ/kg.K$, $\mu = 855 \times 10^{-6}\ N.s/m^2$, $k = 613 \times 10^{-3}\ W/mK$

$Pr = 5.83$

แทนค่าในสมการหาค่า ดังนี้

$$T_{c,out} = \left\{ \frac{-1 \times 2.25 \times 10^3 (84 - 130)}{0.6 \times 4.179 \times 10^3} \right\} + 22 = 63.27°C$$

$\therefore T_{c,out} = 63.27°C$

4) $LMTD_{counter\ flow} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}$

$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out} = 130 - 63.27 = 66.73°C$

$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in} = 84 - 22 = 62°C$

$\therefore LMTD = \frac{62 - 66.73}{\ln(62/66.73)} = 64.33°C$ #

3

ก) $U = \dfrac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$

หา $Re_D = \dfrac{4\times \dot{m}_c}{\pi D_i \mu} = \dfrac{4\times 0.6\,[kg/s]}{\pi \times 0.03[m]\times 855\times10^{-6}\,[N.s/m^2]} = 29,783.38$

$Re_D = 29,783.38 > 4000 \rightarrow$ Turbulent flow.

เลือกสมการหาค่า Nu_D

$Nu_D = 0.023\,Re_D^{4/5}\,Pr^{0.4} = 0.023(29783.38)^{0.8}(5.83)^{0.4}$

$Nu_D = 176.67$

$h_i = \dfrac{Nu_D\,k}{D_i} = \dfrac{176.67\times.673\times10^{-3}\,[W/m.K]}{0.03[m]} = 3609.95\ W/m^2K$

หรือหา $Re = \dfrac{\rho V(D_o - D_i)}{\mu}$

$V = \dfrac{\dot{m}}{\rho A} = \dfrac{\dot{m}\times 4}{\rho\times\pi\times(D_o-D_i)^2}$

$Re = \dfrac{4\times\dot{m}_h}{\pi(D_o-D_i)\times\mu} = \dfrac{4\times 1\,[kg/s]}{\pi\times(0.05-0.03)[m]\times1.41\times10^{-2}\,N.s/m^2}$

$Re = 4515.03 > 4000 \rightarrow$ Turbulent flow

เลือกสมการหาค่าในรูปนี้

$Nu_D = 0.023\,Re_D^{0.8}\,Pr^{0.3} = 0.023(4515.03)^{0.8}(233)^{0.3} = 99$

$h_o = \dfrac{Nu_D\,k}{(D_o-D_i} = \dfrac{99\times136\times10^{-3}\,[W/m.K]}{(0.05-0.03)[m]} = 673.2\ W/m^2K$

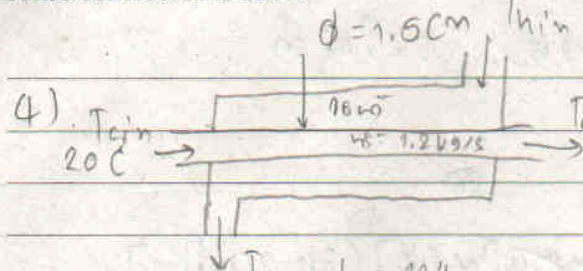
$\therefore U = \dfrac{1}{1/3609.95 + 1/673.2} = 567\ W/m^2K$ #

ข) หาก $q = UA\times LMTD = -\dot{m}_h C_{ph}(T_{h,out} - T_{h,in})$

$= -1\times2.25\times10^3(84-130) = 103.5\times10^3\ W$

$\therefore L = \dfrac{103.5\times10^3[W]}{567[W/m^2K]\times\pi\times0.03\times64.33} = 30.1\ m$ #

$\therefore$ อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนความร้อนที่ท่อคู่ต้องใช้ท่อยาว = 30.1 m #



$\varepsilon = 80\%$

$C_{p\ water} = 1.86\ kJ/kg.C$

$U = 640\ W/m^2.K$

$L = 0$

$$\varepsilon = \frac{1 - exp[-NTU(1+C)]}{1+C}$$

$\bar{T}_c = \frac{20+84}{2} = 52°C = 325\ K$ ที่ $\bar{T}_c = 325\ K$

จากตาราง $C_{p_c} = 4.182\ kJ/kg.K$,

$\therefore C_c = \dot{m} C_{pc} = 4.182 \times 10^3 \times 1.2 = 5018.4\ W/K$

จาก $C_c(T_{c,out} - T_{c,in}) = -C_h(T_{h,out} - T_{h,in})$

หา $C_h = \frac{5018.4[W/K](84-20)[K]}{-(114-130)[K]} = 20073.6\ W/K$

$\therefore C_{min}/C_{max} = \frac{5018.4}{20073.6} = 0.25$

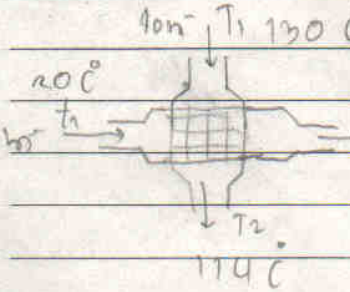
จากกราฟ หา $C_{min}/C_{max} = 0.25$ และ $\varepsilon = 80\%$

จะได้ $NTU \simeq 1.8$

จาก $NTU = \frac{UA}{C_{min}}$

ก) จะได้ $L = \frac{1.8 \times 5018.4[W/K]}{640[W/m^2.K] \times \pi \times 0.015[m]} = 299.51\ m$

ข)



$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{84-20}{130-20} = 0.58$

$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{130-114}{84-20} = 0.25$

จาก P = 0.58 และ R = 0.25 ได้ว่า

$F \simeq 0.97$

จาก $q = U \times A \times F \times LMTD$

$q = C_c (T_{c,out} - T_{c,in}) = 5018.4 [W/K] (84-20)[K]$

$\therefore q = 321.17 \text{ kW}$

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}$$

$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out} = 130 - 84 = 46 \text{ C}$

$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in} = 114 - 20 = 94 \text{ C}$

$$\therefore LMTD = \frac{94 - 46}{\ln(94/46)} = 67.16 \text{ C}$$

$$\therefore A = \frac{q}{U \times F \times LMTD}$$

$$A = \frac{321.17 \times 10^3 [W]}{640 [W/m^2 \cdot K] \times 0.97 \times 67.16 [K]} = 7.7 \text{ m}^2$$

$\therefore$ พื้นที่ผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลทวน $= 7.7 \text{ m}^2$ #