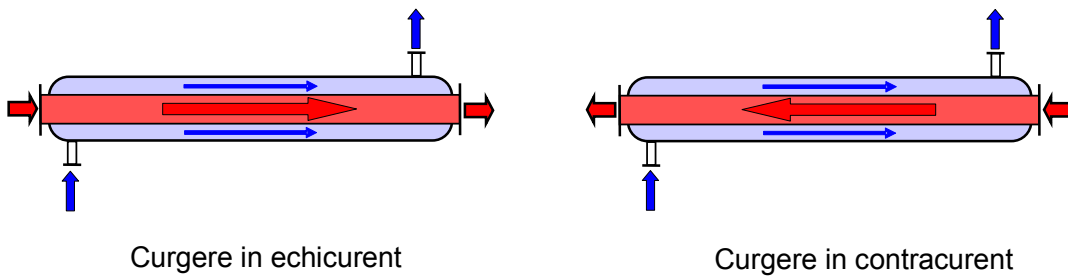


Examen la disciplina: Fenomene de transfer și operații unitare

Se consideră schimbătorul de căldură coaxial (țeavă în țeavă) din figură. Ambele țevi care compun schimbătorul sunt confecționate din oțel inoxidabil ($\lambda = 17,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$).



Țeava interioară are diametrul interior (d_i) de 50 mm și diametrul exterior (d_e) de 54 mm. Țeava exterioară are diametrul interior (D_i) de 100 mm și diametrul exterior (D_e) de 105 mm. Lungimea totală a schimbătorului este de 1,25 m. Prin țeava interioară curge un fluid F_1 care se încălzește de la T_{1i} la T_{1e} , iar printre cele două țevi circulă un fluid F_2 care se răcește de la T_{2i} la T_{2e} .

1. Să se calculeze viteza medie a lui F_1 știind că debitul volumic mediu de fluid este de $15 \text{ m}^3/\text{h}$ și să se determine regimul de curgere al fluidului F_1 , valoarea criteriilor Re și Pr {Valorile medii ale proprietăților termofizice ale fluidului F_1 sunt: densitate = $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$; viscozitate dinamică = $1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$; conductivitate termică = $0,66 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$; capacitate termică = $3190 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ } (**3 puncte**)
2. Să se calculeze diametrul echivalent, viteza de curgere și valoarea criteriului Re pentru fluidul F_2 . Debitul mediu de fluid este de $500 \text{ L}/\text{min}$, desitatea medie = $0,85 \text{ kg}/\text{L}$; viscozitatea dinamică medie = $0,015 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$. (**3 puncte**)
3. Știind că nici unul dintre fluide nu își schimbă starea de agregare, să se reprezinte grafic diagrama termică a schimbătorului și să se calculeze valoarea lui ΔT_{med} în schimbător la circulația fluidelor în:
 - a. Echicurent;
 - b. Contracurent;știind că: $T_{1i} = 20^\circ\text{C}$; $T_{1e} = 50^\circ\text{C}$; $T_{2i} = 80^\circ\text{C}$; $T_{2e} = 50^\circ\text{C}$. (**2 puncte**)
4. Să se calculeze valoarea coeficientului global de transfer de căldură între cele 2 fluide, știind că $\alpha_1 = 3500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, $\alpha_2 = 850 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, și nici unul dintre fluide nu produce depuneri pe suprafețele de transfer termic (Indicație: se va folosi relația de calcul de la transferul termic prin pereți plani). (**1 punct**)

Rezolvare

Subiectul 1.

Viteza medie a fluidului este dată de produsul dintre debitul volumic (M_V) și secțiunea de curgere.

$$M_V = v \times S \rightarrow v = \frac{M_V}{S}$$

Fluidul 1 circulă prin țeava interioară. Secțiunea de curgere este circulară, de diametru d_i :

$$S = \frac{\pi \times d_i^2}{4}$$

Rezultă:

$$v = \frac{M_V}{S} = \frac{4M_V}{\pi \times d_i^2}$$

Înlocuind valorile numerice:

$$M_V = 15 \text{ m}^3/\text{h} = \frac{15}{3600} \text{ m}^3/\text{s} \text{ și } d_i = 50 \text{ mm} = 5 \times 10^{-3} \text{ m} :$$

$$v = \frac{4 \cdot 15}{3600 \cdot \pi \cdot (0,05)^2} = 2,122 \text{ m/s} \quad \text{(1 punct)}$$

Regimul de curgere al fluidului se determină din valoarea criteriului Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times d_i}{\mu} = \frac{1000 \cdot 2,122 \cdot 0,05}{1 \times 10^{-3}} = 106103,3 \quad \text{(0,5 puncte)}$$

Deoarece $Re > 10000$, regimul este TURBULENT (1 punct)

Valoarea criteriului Prandtl:

$$Pr = \frac{c_p \times \mu}{\lambda} = \frac{3190 \cdot 0,001}{0,66} = 4,83 \quad \text{(0,5 puncte)}$$

Subiectul 2.

Fluidul 2 circulă prin spațiul dintre cele 2 țevi concentrice. Secțiunea de curgere este inelară, fiind delimitată de diametrul exterior al țevii interioare (d_e) și de diametrul interior al țevii exterioare (D_i). Ca urmare, aria secțiunii de curgere va fi dată de expresia:

$$A = \frac{\pi D_i^2}{4} - \frac{\pi d_e^2}{4} = \frac{\pi}{4} (D_i^2 - d_e^2) = \frac{\pi}{4} (D_i - d_e)(D_i + d_e)$$

Perimetrul udă va fi:

$$P_u = \pi D_i + \pi d_e = \pi (D_i + d_e)$$

Diametrul echivalent al secțiunii de curgere va fi:

$$d_{ech} = 4 \frac{A}{P_u} = \frac{(D_i - d_e)(D_i + d_e)}{(D_i + d_e)} = (D_i - d_e) = (100 - 54) \text{ mm} = 46 \text{ mm} = 0,046 \text{ m} \quad \text{(1 punct)}$$

Viteza medie a fluidului 2 se află din ecuația debitului volumic:

$$v = \frac{M_V}{S}$$

$$M_V = 500 \text{ L/min} = \frac{500 \times 10^{-3}}{60} \text{ m}^3/\text{s} = 8,33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

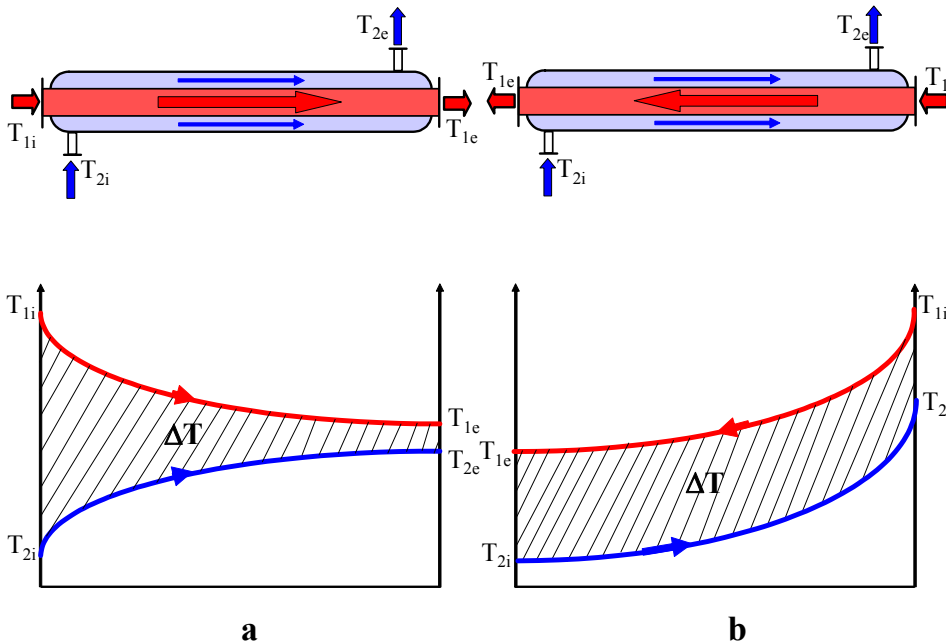
$$v = \frac{M_V}{A} = \frac{4M_V}{\pi(D_i^2 - d_e^2)} = \frac{4 \cdot 8,33 \times 10^{-3}}{\pi(0,1^2 - 0,054^2)} = 1,497 \text{ m/s} \cong 1,5 \text{ m/s} \quad (1 \text{ punct})$$

Valoarea criteriului Reynolds pentru fluidul 2:

$$\text{Re} = \frac{\rho \times v \times d_{ech}}{\mu} = \frac{850 \cdot 1,5 \cdot 0,046}{0,015} = 3904,2 \quad (\text{regim intermediar}) \quad (1 \text{ punct})$$

Subiectul 3.

Pentru calculul diferenței medii de temperatură în schimbător (ΔT_m), trebuie construită diagrama termică a schimbătorului (variația temperaturii celor 2 fluide de-a lungul schimbătorului) pentru cele 2 cazuri de curgere: în echicurent și în contracurent (**câte 0,5 puncte pentru construcția corectă a fiecărei diagrame**).



De regulă, ΔT_m se calculează ca medie logaritmică între diferențele de temperatură dintre cele 2 fluide la extremitățile schimbătorului:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Circulația în echicurent:

$$\Delta T_1 = T_{2i} - T_{1i} = 80 - 20 = 60 \text{ K};$$

$$\Delta T_2 = T_{2e} - T_{1e} = 50 - 50 = 0 \text{ K};$$

O diferență de temperatură de 0 K între cele 2 fluide înseamnă practic încetarea transferului de căldură. Această valoare se poate atinge doar la o lungime infinită a schimbătorului, irealizabilă în practică. În consecință, în condițiile problemei nu se poate realiza transferul de căldură în echicurent (**0,5 puncte**).

Circulația în contracurent:

$$\Delta T_1 = T_{2i} - T_{1e} = 80 - 50 = 30 \text{ K};$$

$$\Delta T_2 = T_{2e} - T_{1i} = 50 - 20 = 30 \text{ K};$$

Se constată că de-a lungul schimbătorului diferența de temperatură între cele două fluide este strict pozitivă. Aceasta înseamnă că transferul de căldură este posibil. Aplicând media logaritmică pentru calculul valorii ΔT_m se ajunge la o nedeterminare, întrucât

$$\Delta T_1 = \Delta T_2 \text{ și}$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{30 - 30}{\ln \frac{30}{30}} = \frac{0}{\ln 1} = \frac{0}{0} = \text{nedeterminare}$$

Ca urmare, în acest caz particular nu se poate aplica media logaritmică și se consideră că ΔT_m este egală cu diferența de temperatură de la extremități, ΔT_1 sau ΔT_2 adică 30 K **(0,5 puncte)**.

Subiectul 4.

Transferul de căldură între cele două fluide are loc prin peretele țevii interioare, perete care este în contact cu ambele fluide. Grosimea peretelui țevii (δ) este dat de relația:

$$\delta = \frac{d_e - d_i}{2} = \frac{54 - 50}{2} \text{ mm} = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$$

Conductivitatea termică a peretelui (λ) confecționat din oțel inoxidabil este de 17,5 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Coefficientul global de transfer termic se calculează cu ecuația stabilită pentru pereți plani:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3500} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{850}} = 634,28 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \text{ (1 punct)}$$