

VEGYIPARI MŰVELETEK I. – SZÁMÍTÁSI GYAKORLATOK

B.: HŐTAN

**A Vegyipari műveleti számítások I.
(Műegyetemi Kiadó, 2003, 60861) egyetemi jegyzet
alapján írta**

Angyalné Dr. Koczka Katalin

Dr. Cséfalvay Edit

Dr. Deák András

Dr. Farkas Tivadar

Lakné Dr. Komka Kinga

Dr. Mika László Tamás

Dr. Székely Edit

Tartalomjegyzék

1. Feladatok	2
1.6. Hőtan.....	2
2. Eredmények.....	18
2.6. Hőtan.....	18

1. Feladatok

1.6. Hőtan

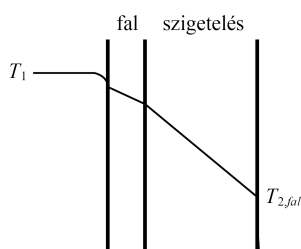
6.1. feladat

Egy lemezes hőcserélő külső falának vastagsága 5 mm, amin 2 cm vastag szigetelés van. A hőcserélő melegebb oldalán $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ van, a hőátadási tényező $2100\text{ W/m}^2\text{K}$. A hőcserélő falának hővezetési tényezője 58 W/mK , a szigetelésé $0,1\text{ W/mK}$, a szigetelés relatív emissziós tényezője $0,7$. A levegőben a hőátadási tényező értéke $7\text{ W/m}^2\text{K}$. Mekkora a hővesztés a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os környezet felé a szekrény falának 1 négyzetméterén?

Megoldás

Megoldás menete

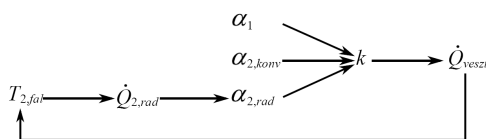
A hőmérsékletprofil az alábbi ábrán látható:



6.1. ábra Hőmérsékletprofil a 6.1. feladatban

Mivel a külső, levegő rétegben a fluidum nincs áramoltatva, így a hőszugárzás mértéke nem hanyagolható el a hőátadás mellett. A hőszugárzás számításához viszont szükségünk van a felületi hőmérsékletre.

Kezdetben a felületi hőmérsékletet csak becsülni tudjuk. Miután a becsült értékkel kiszámoltuk a hővesztést, vissza kell ellenőriznünk, hogy a becslés mennyire volt pontos. Ha a becsült és a számított érték között túl nagy az eltérés, akkor iterálnunk kell.



6.2. ábra Megoldás menete a 6.1. feladatban

Falhőmérséklet kezdeti becslése

A szigetelés külső felületi hőmérsékletét az alapján becsüljük meg, hogy az egyes rétegekben a hőmérsékleteseések aránya megegyezik a hőellenállások arányával. A legkülső, levegő rétegben a hőszugárzásról még semmit sem tudunk, így azt kihagyjuk a becslésből.

$$\frac{T_1 - T_{2,fal}}{T_1 - T_2} = \frac{R_1 + R_{fal} + R_{szigetelés}}{R_1 + R_{fal} + R_{szigetelés} + R_2} = \frac{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_{fal}}{\lambda_{fal}} + \frac{s_{szig}}{\lambda_{szig}}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_{fal}}{\lambda_{fal}} + \frac{s_{szig}}{\lambda_{szig}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$T_{2,fal} = T_1 - (T_1 - T_2) \cdot \frac{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_{fal}}{\lambda_{fal}} + \frac{s_{szig}}{\lambda_{szig}}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_{fal}}{\lambda_{fal}} + \frac{s_{szig}}{\lambda_{szig}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$T_{2,fal} = 80^\circ\text{C} - (80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \cdot \frac{\frac{1}{2100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} + \frac{0,005 \text{ m}}{58 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}}{\frac{1}{2100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} + \frac{0,005 \text{ m}}{58 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{1}{7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}} = 45^\circ\text{C}$$

Sugárzás

Sugárzási hőveszteség

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon_{szig} \cdot C_0 \cdot A \cdot \left[\left(\frac{T_{2,fal}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

$$\dot{Q}_{rad} = 0,7 \cdot 5,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 1 \text{ m}^2 \left[\left(\frac{318 \text{ K}}{100} \right)^4 - \left(\frac{293 \text{ K}}{100} \right)^4 \right] = 113,36 \text{ W}$$

Sugárzási hőátadási tényező

$$\alpha_{2,rad} = \frac{\dot{Q}_{rad}}{A \cdot (T_{2,fal} - T_2)} = \frac{113,36 \text{ W}}{1 \text{ m}^2 \cdot (45^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})} = 4,53 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Hőátbocsátási tényező

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_{fal}}{\lambda_{fal}} + \frac{s_{szig}}{\lambda_{szig}} + \frac{1}{\alpha_2 + \alpha_{2,rad}}}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{2100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} + \frac{0,005 \text{ m}}{58 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{1}{7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} + 4,53 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}} = 3,48 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Hőveszteség

$$\dot{Q}_{veszt} = k \cdot A \cdot (T_1 - T_2) = 3,48 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot (80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 208,7 \text{ W}$$

Fal külső hőmérsékletének ellenőrzése

Ugyanakkora a hőáram, de csak a csőfal külső felületéig számítjuk. Az ehhez a számításhoz szükséges hőátbocsátási együttható nem tartalmazza a sugárzás és a levegőbeli konvekció termikus ellenállásait.

$$k^* = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_{fal}}{\lambda_{fal}} + \frac{s_{szig}}{\lambda_{szig}}} = \frac{1}{\frac{1}{2100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} + \frac{0,005 \text{ m}}{58 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}} = 4,99 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\dot{Q}_{veszt} = k^* \cdot A \cdot (T_1 - T'_{2,fal})$$

$$T'_{2,fal} = T_1 - \frac{\dot{Q}_{veszt}}{k^* \cdot A} = 80^\circ\text{C} - \frac{208,7 \text{ W}}{4,99 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 1 \text{ m}^2} = 38,2^\circ\text{C}$$

Ez eléggé eltér a 45 °C-os becsléstől, így folytatjuk az iterálást.

Új sugárzási hőveszteség

$$\dot{Q}'_{rad} = \varepsilon_{szig} \cdot C_0 \cdot A \cdot \left[\left(\frac{T'_{2,fal}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

$$\dot{Q}'_{rad} = 0,7 \cdot 5,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 1 \text{ m}^2 \left[\left(\frac{311,2 \text{ K}}{100} \right)^4 - \left(\frac{293 \text{ K}}{100} \right)^4 \right] = 79,74 \text{ W}$$

Új sugárzási hőátadási tényező

$$\alpha'_{2,rad} = \frac{\dot{Q}'_{rad}}{A \cdot (T'_{2,fal} - T_2)} = \frac{79,74 \text{ W}}{1 \text{ m}^2 \cdot (38,2^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})} = 4,38 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Új hőátbocsátási tényező

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_{fal}}{\lambda_{fal}} + \frac{s_{szig}}{\lambda_{szig}} + \frac{1}{\alpha_2 + \alpha'_{2,rad}}}$$

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{2100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} + \frac{0,005 \text{ m}}{58 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,02 \text{ m}}{0,1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{1}{7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} + 4,38 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}} = 3,47 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Új hőveszteség

$$\dot{Q}_{veszt} = k \cdot A \cdot (T_1 - T_2) = 3,47 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot (80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 208 \text{ W}$$

Látható, hogy az új hőveszteség értéke lényegében megegyezik a korábban számolt hőveszteséggel, így befejezhetjük az iterálást.

Megjegyzés: A felületi hőmérséklet becslésénél több fokos hibát vétettünk, mégis látható, hogy ez a különbség nem okozott nagy eltérést a további értékekben (sugárzási hőátadási tényező, hőátbocsátási tényező, hőveszteség).

6.2. feladat

Egy cső a csőben hőcserélő belső csővében (34/30 mm) óránként 2,7 m³ glicerín-oldatot ($\eta = 1,8 \text{ mPas}$, $c_p = 3,39 \text{ kJ/kgK}$, $\rho = 1120 \text{ kg/m}^3$, $\lambda = 0,285 \text{ W/mK}$) akarunk 80 °C-ról 50 °C-ra lehűteni A hőcserélő külső csővében (52/48 mm) 14 °C belépő hőmérsékletű hűtővíz áramlik

($\eta = 0,8$ mPas, $c_p = 4,18$ kJ/kgK, $\rho = 1000$ kg/m³, $\lambda = 0,616$ W/mK). A hűtővíz kilépő hőmérséklete nem lehet 45 °C-nál magasabb.

- Adja meg a minimális hűtővízigényt! Mekkora ekkor a hűtővíz áramlási sebessége a csőben?
- Milyen hosszú hőcserélőre van szükség, ha a hőátbocsátási tényezőt jó közelítéssel 1000 W/m²K-nek tekintjük? Határozza meg egyen- és ellenáramú esetre is!
- Határozza meg a hőátbocsátási tényezőt, ha óránként 2,4 m³ hűtővizet használunk fel! A csőfal hővezetési tényezője 38 W/m²K. Mekkora ekkor a hűtővíz kilépő hőmérséklete?

Megoldás

- Adja meg a minimális hűtővízigényt! Mekkora ekkor a hűtővíz áramlási sebessége a csőben?

Átmenő hőáram

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 \cdot c_{p,1} \cdot (T_{1,be} - T_{1,ki}) = \dot{V}_1 \cdot \rho_1 \cdot c_{p,1} \cdot (T_{1,be} - T_{1,ki})$$

$$\dot{Q} = \frac{2,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3390 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (80^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C})}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} = 85,43 \text{ kW}$$

Hűtővíz minimális árama

$$\dot{Q} = \dot{m}_2 \cdot c_{p,2} \cdot (T_{2,ki} - T_{2,be})$$

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{Q}}{c_{p,2} \cdot (T_{2,ki} - T_{2,be})} = \frac{85,43 \text{ kW}}{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (45^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C})} = 0,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 2373,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Folyadéksebesség

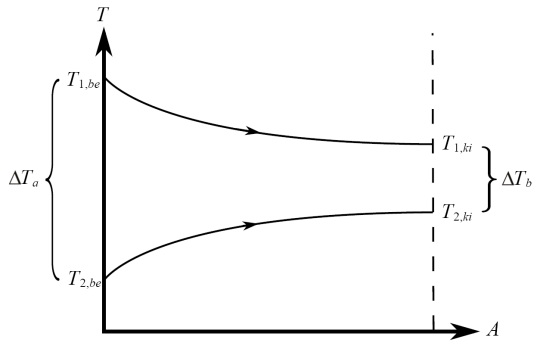
$$v_2 = \frac{\dot{V}_2}{A_2} = \frac{\dot{m}_2}{\rho_2 \cdot \left(\frac{D_{belső}^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d_{külső}^2 \cdot \pi}{4} \right)}$$

$$v_2 = \frac{0,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\frac{(4,8 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 \cdot \pi}{4} - \frac{(3,4 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 \cdot \pi}{4} \right)} = 0,73 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Milyen hosszú hőcserélőre van szükség, ha a hőátbocsátási tényezőt jó közelítéssel 1000 W/m²K-nek tekintjük? Határozza meg egyen- és ellenáramú esetre is!

Egyenáram

Logaritmikus hőmérsékletkülönbség



6.3. ábra Hőmérsékletprofil a 6.2. feladatban egyenáram esetén

$$\Delta T_a = T_{1,be} - T_{2,be} = 80^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C} = 66^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_b = T_{1,ki} - T_{2,ki} = 50^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C} = 5^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{átl}} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}} = \frac{66^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}}{\ln \frac{66^\circ\text{C}}{5^\circ\text{C}}} = 23,64^\circ\text{C}$$

Hőátadó felület

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_{\text{átl}}$$

$$A = \frac{\dot{Q}}{k \cdot \Delta T_{\text{átl}}} = \frac{85,43 \text{ kW} \cdot 1000 \frac{\text{W}}{\text{kW}}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 23,64^\circ\text{C}} = 3,61 \text{ m}^2$$

Hőcserélő hossza

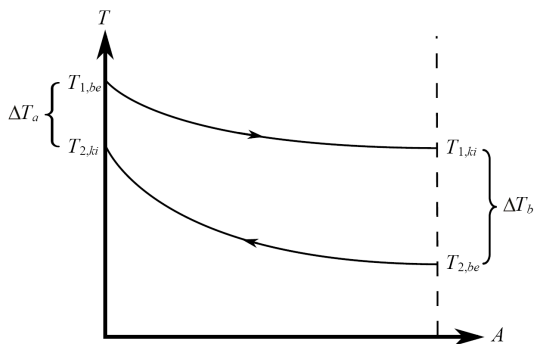
A hőcserélő felületének számításakor a cső átlagos átmérőjével számolunk.

$$A = \bar{d} \cdot \pi \cdot L = \frac{d_{\text{belső}} + d_{\text{külső}}}{2} \cdot \pi \cdot L$$

$$L = \frac{A}{\frac{d_{\text{belső}} + d_{\text{külső}}}{2} \cdot \pi} = \frac{3,61 \text{ m}^2}{\frac{0,03 \text{ m} + 0,034 \text{ m}}{2} \cdot \pi} = 35,95 \text{ m}$$

Ellenáram

Logaritmikus hőmérsékletkülönbség



A 6.2. példában a hőfokprofil fordítva görbül.

6.4. ábra Magyarázó ábra az átlagos hajtóerő számításához ellenáram esetén

$$\Delta T_a = T_{1,be} - T_{2,ki} = 80^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C} = 35^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_b = T_{1,ki} - T_{2,be} = 50^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C} = 36^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{átl}} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}} = \frac{35^\circ\text{C} - 36^\circ\text{C}}{\ln \frac{35^\circ\text{C}}{36^\circ\text{C}}} = 35,5^\circ\text{C}$$

Hőátadó felület

$$A = \frac{\dot{Q}}{k \cdot \Delta T_{\text{átl}}} = \frac{85,43 \text{ kW} \cdot 1000 \frac{\text{W}}{\text{kW}}}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 35,5^\circ\text{C}} = 2,41 \text{ m}^2$$

Hőcserélő hossza

$$L = \frac{A}{\frac{d_{\text{belső}} + d_{\text{külső}}}{2} \cdot \pi} = \frac{2,41 \text{ m}^2}{\frac{0,03 \text{ m} + 0,034 \text{ m}}{2} \cdot \pi} = 23,94 \text{ m}$$

Határozza meg a hőátbocsátási tényezőt, ha óránként $2,4 \text{ m}^3$ hűtővizet használunk fel! A csőfal hővezetési tényezője $38 \text{ W/m}^2\text{K}$. Mekkora ekkor a hűtővíz kilépő hőmérséklete?

Meleg oldali hőátadási tényező

Meleg áram sebessége

$$\dot{V}_1 = A_1 \cdot v_1$$

$$v_1 = \frac{\dot{V}_1}{A_1} = \frac{\dot{V}_1}{\frac{d_{\text{belső}}^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{2,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\frac{(0,03 \text{ m})^2 \cdot \pi}{4} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} = 1,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Prandtl-szám

$$Pr_1 = \frac{c_{p,1} \cdot \eta_1}{\lambda_1} = \frac{3390 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}}{0,285 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 21,41$$

Reynolds-szám

$$Re_1 = \frac{d_{\text{belső}} \cdot v_1 \cdot \rho_1}{\eta_1} = \frac{0,03 \text{ m} \cdot 1,06 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}} = 1,98 \cdot 10^4$$

A Csőben áramló fluidum hőátadása diagram (9.7. ábra) alapján $Re_1 = 1,98 \cdot 10^4$ a turbulens tartományban van.

$$Y_1 = 0,023 \cdot Re_1^{0,8} = 0,023 \cdot (1,98 \cdot 10^4)^{0,8} = 62,97$$

Nusselt-szám

$$Y = Nu \cdot \left(\frac{\eta_s}{\eta_b} \right)^{0,14} \cdot Pr^{-\frac{1}{3}}$$

$$Nu_1 = Y_1 \cdot \left(\frac{\eta_s}{\eta_b} \right)^{-0,14} \cdot Pr_1^{\frac{1}{3}} = 62,97 \cdot 1^{-0,14} \cdot 21,41^{\frac{1}{3}} = 174,9$$

Meleg oldali hőátadási tényező

$$Nu = \frac{\alpha \cdot D}{\lambda}$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{belső}} = \frac{174,9 \cdot 0,285 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{0,03 \text{ m}} = 1661 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Hideg oldali hőátadási tényező

Hideg áram sebessége

$$\dot{V}_2 = A_2 \cdot v_2$$

$$v_2 = \frac{\dot{V}_2}{A_2} = \frac{\dot{V}_2}{\frac{D_{belső}^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d_{külső}^2 \cdot \pi}{4}}$$

$$v_2 = \frac{2,4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\left(\frac{(4,8 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 \cdot \pi}{4} - \frac{(3,4 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} = 0,74 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Egyenérték csőátmérő

$$D_{e,2} = 4 \cdot \frac{A_2}{K_2} = 4 \cdot \frac{\frac{D_{belső}^2 \cdot \pi}{4} - \frac{d_{külső}^2 \cdot \pi}{4}}{D_{belső} \cdot \pi + d_{külső} \cdot \pi} = D_{belső} - d_{külső} = 0,048 \text{ m} - 0,034 \text{ m} = 0,014 \text{ m}$$

Prandtl-szám

$$Pr_2 = \frac{c_{p,2} \cdot \eta_2}{\lambda_2} = \frac{4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 8 \cdot 10^{-4} \text{ Pas}}{0,616 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 5,43$$

Reynolds-szám

$$Re_2 = \frac{d_{belső} \cdot v_2 \cdot \rho_2}{\eta_2} = \frac{0,014 \text{ m} \cdot 0,74 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{8 \cdot 10^{-4} \text{ Pas}} = 12950$$

A Csőben áramló fluidum hőátadása diagram (9.7. ábra) alapján $Re_2 = 12950$ a turbulens tartományban van.

$$Y_2 = 0,023 \cdot Re_2^{0,8} = 0,023 \cdot (12950)^{0,8} = 44,83$$

Nusselt-szám

$$Nu_2 = Y_2 \cdot \left(\frac{\eta_s}{\eta_b} \right)^{-0,14} \cdot Pr_2^{\frac{1}{3}} = 44,83 \cdot 1^{-0,14} \cdot 5,43^{\frac{1}{3}} = 78,8$$

Hideg oldali hőátadási tényező

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{D_{e,2}} = \frac{78,8 \cdot 0,616 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{0,014 \text{ m}} = 3467 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Hőátbocsátási tényező

Csőfal vastagsága

$$s = \frac{d_{\text{külső}} - d_{\text{belső}}}{2} = \frac{3,4 \cdot 10^{-2} \text{ m} - 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{2} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Hőátbocsátási tényező

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda_{\text{fal}}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1661 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} + \frac{3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{38 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{1}{3467 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}} = 1026 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Hűtővíz kilépő hőmérséklete

$$\dot{Q} = \dot{m}_2 \cdot c_{p,2} \cdot (T_{2,ki} - T_{2,be}) = \dot{V}_2 \cdot \rho_2 \cdot c_{p,2} \cdot (T_{2,ki} - T_{2,be})$$

$$T_{2,ki} = \frac{\dot{Q}}{\dot{V}_2 \cdot \rho_2 \cdot c_{p,2}} + T_{2,be} = \frac{85,43 \text{ kW} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{2,4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} + 14^\circ \text{C} = 44,66^\circ \text{C}$$

6.3. feladat (1/150. oldal/14 feladat)

Egy keverős duplikátorban 100 °C-os telített gőzzel 5 tonna 3,35 kJ/kgK fajhőjű folyadékot kell 20 °C-ról 80 °C-ra melegíteni. A duplikátor fűtőfelülete 10 m², a hőátbocsátási tényező 1163 W/m²K.

Mennyi idő szükséges a felmelegítéshez?

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

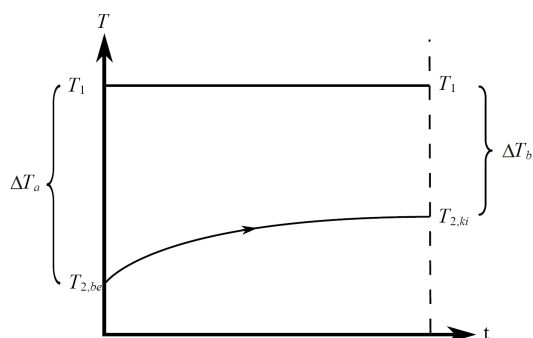
Megoldás

Felmelegítéshez szükséges hőmennyiség

$$Q = m_2 \cdot c_{p,2} \cdot (T_{2,ki} - T_{2,be}) = 5000 \text{ kg} \cdot 3350 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (80^\circ \text{C} - 20^\circ \text{C}) = 1,005 \cdot 10^9 \text{ J} = 1,005 \text{ GJ}$$

Logaritmikus hőmérsékletkülönbség

Habár egy szakaszos folyamatról van szó, a logaritmikus hőmérsékletkülönbség használható, csak a hőmérsékletprofil felírásakor nem a felület, illetve a hossz, hanem az idő függvényében ábrázolunk.



6.5. ábra Hőmérsékletprofil a 6.3. feladatban

Hőmérsékletkülönbségek a hőcsere kezdetén és végén.

$$\Delta T_a = T_1 - T_{2,be} = 100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 80^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_b = T_1 - T_{2,ki} = 100^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$$

Logaritmikus hőmérsékletkülönbség

$$\Delta T_{\text{atl}} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}} = \frac{80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{\ln \frac{80^\circ\text{C}}{20^\circ\text{C}}} = 43,28^\circ\text{C}$$

Átment hőáram

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_{\text{atl}} = 1163 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 10 \text{m}^2 \cdot 43,28^\circ\text{C} = 5,03 \cdot 10^5 \text{ W}$$

Felmelegítéshez szükséges idő

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}} = \frac{1,005 \cdot 10^9 \text{ J}}{5,03 \cdot 10^5 \text{ W}} = 1996 \text{ s} = 33,3 \text{ min}$$

6.4. feladat

Egy 5 m^2 hőátadó felületű hőcserélőbe belépő melegebb oldat hőmérséklete 110°C , mennyisége $2,5 \text{ t/h}$, fajhője $3,35 \text{ kJ/kgK}$. A 20°C -on belépő hidegebb oldat mennyisége $3,16 \text{ t/h}$, fajhője $3,98 \text{ kJ/kgK}$. A hőátbocsátási tényező $1163 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Mennyi a két áram kilépő hőmérséklete, ha a hőcserélőt

- egyenáramban,
- ellenáramban használjuk?

Megoldás

Hőkapacitás-áramok

$$\dot{q}_{w,1} = \dot{m}_1 \cdot c_{p,1} = \frac{2500 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \cdot 3350 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 2326,4 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$q_{w,2} = m_2 \cdot c_{p,2} = \frac{3160 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \cdot 3980 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 3493,6 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

Végőhőfokszámítás

$$p = \frac{q_{w,2}}{q_{w,1}} = \frac{3493,6 \frac{\text{W}}{\text{K}}}{2326,4 \frac{\text{W}}{\text{K}}} = 1,5$$

$$\Delta_0 = T_{1,be} - T_{2,be} = 110^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 90^\circ\text{C}$$

Egyenáram

Ψ_P meghatározása az *Egyenáramú hőcsere Ψ_P függvénye diagram* (9.9. ábra) segítségével.

$$\left. \begin{aligned} \frac{k \cdot A}{q_{w,1}} &= \frac{1163 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 5 \text{m}^2}{2326,4 \frac{\text{W}}{\text{K}}} = 2,5 \\ p &= 1,5 \end{aligned} \right\} \rightarrow \Psi_P = 0,4$$

Ψ_P meghatározása számítással.

$$P = \frac{1}{q_{w,1}} + \frac{1}{q_{w,2}} = \frac{1}{2326,4 \frac{\text{W}}{\text{K}}} + \frac{1}{3493,6 \frac{\text{W}}{\text{K}}} = 7,16 \cdot 10^{-4}$$

$$\Psi_P = \frac{1}{1+p} \cdot (1 - e^{-k \cdot P \cdot A}) = \frac{1}{1+1,5} \cdot \left(1 - e^{-1163 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 7,16 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \text{m}^2} \right) = 0,394$$

Kimenő hőmérsékletek:

$$T_{1,ki} = T_{1,be} - p \cdot \Delta_0 \cdot \Psi_P = 110^\circ\text{C} - 1,5 \cdot 90^\circ\text{C} \cdot 0,394 = 56,81^\circ\text{C}$$

$$T_{2,ki} = T_{2,be} + \Delta_0 \cdot \Psi_P = 20^\circ\text{C} + 90^\circ\text{C} \cdot 0,394 = 55,46^\circ\text{C}$$

Ellenáram

Ψ_C meghatározása az *Ellenáramú hőcsere Ψ_C függvénye diagram* (9.10. ábra) segítségével.

$$\left. \begin{aligned} \frac{k \cdot A}{q_{w,1}} &= \frac{1163 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 5 \text{m}^2}{2326,4 \frac{\text{W}}{\text{K}}} = 2,5 \\ p &= 1,5 \end{aligned} \right\} \rightarrow \Psi_C = 0,54$$

Ψ_C meghatározása számítással.

$$C = \frac{1}{q_{w,1}} - \frac{1}{q_{w,2}} = \frac{1}{2326,4 \frac{\text{W}}{\text{K}}} - \frac{1}{3493,6 \frac{\text{W}}{\text{K}}} = 1,44 \cdot 10^{-4}$$

$$\Psi_C = \frac{1 - e^{-k \cdot C \cdot A}}{p - e^{-k \cdot C \cdot A}} = \frac{1 - e^{-\frac{1163 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 1,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}}}{1,5 - e^{-\frac{1163 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 1,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}}} = 0,531$$

Kimenő hőmérsékletek:

$$T_{1,ki} = T_{1,be} - p \cdot \Delta_0 \cdot \Psi_C = 110^\circ\text{C} - 1,5 \cdot 90^\circ\text{C} \cdot 0,531 = 38,31^\circ\text{C}$$

$$T_{2,ki} = T_{2,be} + \Delta_0 \cdot \Psi_C = 20^\circ\text{C} + 90^\circ\text{C} \cdot 0,531 = 67,79^\circ\text{C}$$

6.5. feladat

100 kg/h 20°C-os vízáramot melegítünk.

- Hány fokos víz keletkezik, ha összekeverjük 300 kg/h 80 °C-os vízárammal?
- Mennyi 1,8 bar nyomású, 3 % nedvességet tartalmazó fűtőgőzzel kell összekevernünk egy keverőkondenzátorban, ha 70 °C-os vizet akarunk előállítani?

6.6. feladat (I/152. oldal/1. feladat)

10⁶ Pa nyomású 300 °C-os túlhevített gőzt állandó nyomáson víz bepermetezéssel nedves gőzzé akarunk alakítani, amelynek gőztartalma $x = 0,9$. Mennyi 50 °C-os vizet kell 1 kg gőzbe permetezni?

$$10^6 \text{ Pa } 300^\circ\text{C-os gőz} \quad i_1 = 3052,2 \text{ kJ/kg}$$

$$10^6 \text{ Pa telített gőz} \quad i_2'' = 2778,1 \text{ kJ/kg} \quad r_2 = 2105,6 \text{ kJ/kg}$$

6.7. feladat

100 kg/h 20 °C-os és 300 kg/h 40 °C-os vízből 120 °C-os telített gőzzel 60 °C-os meleg vizet akarunk előállítani. Mennyi 120 °C-os telített vízgőzre van szükség?

6.8. feladat (I/152. oldal/5. feladat bővítve)

20 mm-es vas kazánlemez belső oldalán 1 mm-es kazánköréteg alakul ki. A hőmérséklet a vaslemez külső felületén 600 °C, a kazánkő belső oldalán 240 °C. A vas hővezetési tényezője 58 W/mK, a kazánkőé 1,2 W/mK.

- Mennyi a hőáramsűrűség, ha nem tételezünk fel kazánkövet?
- Mennyi a hőáramsűrűség, ha feltételezünk kazánkövet?
- Mekkora a hőmérséklet a vaslemez és a kazánkő érintkezési felületén?
- Számítsa ki, hányszorosára nő a kazán falának termikus ellenállása, ha lerakódik rá a kazánköréteg!

6.9. feladat (I/153. oldal/10. feladat bővítve)

Egy acélcső (30/20 mm átmérő) belsejében 600 °C, kívül 450 °C a hőmérséklet. $\lambda = 17,4 \text{ W/mK}$.

Mennyi a csőfalon áthaladó hőáram 1 m hosszúságú csövön számítva?

6.10. feladat (I/154. oldal/12. feladat bővítve)

Egy gőzvezetéken, melynek külső átmérője 100 mm, két szigetelőréteget helyeznek el. Mindegyik réteg 25 mm vastag. Az első réteg hővezetőképessége 0,070 W/mK, a másiké 0,087 W/mK. A csőfal kívül 200 °C-os, a falhőmérséklet 40 °C-os.

- Mennyi a hővesztés 1 m csőhosszra?
- Mennyi a két szigetelőréteg közötti közbülső falhőmérséklet?

6.11. feladat

Egy szigetelés nélküli szárítószekrényben 105 °C-on szárítunk. A szekrény fala 2 mm vastag, hővezetési tényezője 58 W/mK, relatív emissziós tényezője 0,9. A szekrényen belül a hőátadási tényező 1300 W/m²K, a szekrényen kívül 9 W/m²K.

- Mekkora a hőveszteség a 20°C-os környezet felé a szekrény falának 1 négyzetméterén?
- Balesetvédelmi okokból a szekrényre 1 cm vastagságú szigetelést teszünk, melynek hővezetési tényezője 0,07 W/mK, relatív emissziós tényezője 0,75. Mekkora lesz a felületi hőmérséklet?

6.12. feladat

Egy cső a csőben hőcserélőben, amelynek belső csőve 30/36 mm-es, külső csőve 48/54 mm-es, 3 m³/h glicerint melegítünk 100 °C-os telített vízgőzzel. A glicerint a belső csőben áramlik, átlagos hőmérséklete 75 °C, sűrűsége 1,12 g/cm³, hővezetési tényezője 0,244 W/mK, fajhője 2410 J/kgK. A gőzoldali hőátadási tényező 6000 W/m²K, a csőfal hővezetési tényezője 58 W/mK.

A 65 °C–100 °C tartományban a glicerint dinamikai viszkozitása a következő képlettel közelíthető:

$$\eta_{\text{glicerint}} = 2 \cdot 10^6 \text{ Pas} \cdot e^{-0,05 \frac{1}{\text{K}} T}$$

Számítsa ki az 1 m hosszon átmenő hőáramot!

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.13. feladat

70 °C-os 1,2 m³/h etanolt kívánunk lehűteni 40 °C-ra cső a csőben hőcserélőben 1800 kg/h 20 °C-os hűtővízzel. A hőcserélő belső csőve 16/20 mm-es, külső csőve 30/35 mm-es, a cső hővezetési tényezője 58 W/mK. Az etanol belső csőben áramlik, a hűtővízzel ellenáramban.

Az etanol és a hűtővíz adatai a közepes hőmérsékleten:

	etanol	víz
ρ [kg/m ³]	920	994
η [mPas]	1,4	0,656
c_p [kJ/kgK]	3,66	4,18
λ [W/mK]	0,387	0,627

- Mekkora a hűtővíz kimenő hőmérséklete?
- Mennyi az átlagos hőmérsékletkülönbség?
- Milyen hosszú hőcserélőre van szükségünk?

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.14. feladat (I/157. oldal/25. feladat módosítva)

Egy cső a csőben hőcserélő belső csővének belső átmérője 30 mm. A csőben 50%-os vizes glicerinolddal áramlik 1,07 m/s sebességgel, és 80 °C-ról 60 °C-ra hűl le. Az átlaghőmérsékleten az oldat adatai: $\eta = 1,8 \cdot 10^{-3}$ Pas, $\lambda = 0,285$ W/mK, $c_p = 3,39$ kJ/kgK, $\rho = 1120$ kg/m³. A belső cső falvastagsága 2 mm, hővezetési tényezője $\lambda = 62,8$ W/mK.

A két cső között 0,8 m/s sebességgel kezdetben 20 °C-os hűtővíz áramlik. Az átlaghőmérsékleten a víz adatai: $\eta = 10^{-3}$ Pas, $\lambda = 0,628$ W/mK, $c_p = 4,18$ kJ/kgK, $\rho = 1000$ kg/m³. a külső cső belső átmérője 48,8 mm.

Milyen hosszú hőcserélőre van szükség ha a hűtővíz egyenáramban, illetve ha ellenáramban áramlik?

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.15. feladat

Keverős duplikátorban $1,8 \text{ m}^3$ NaOH-oldatot melegítünk 40°C -ról 120°C -ra 140°C -os telített vízgőz segítségével. A duplikátor átmérője $1,2 \text{ m}$, a keverő átmérője 300 mm , fordulatszáma 120 l/min . A duplikátor hőátadó felülete $7,2 \text{ m}^2$, belső falának vastagsága 10 mm , hővezetési tényezője 58 W/mK . A gőzoldali hőátadási tényező $6500 \text{ W/m}^2\text{K}$. A közepes hőmérsékleten a NaOH-oldat sűrűsége $1,43 \text{ g/cm}^3$, viszkozitása $0,65 \text{ mPas}$, hővezetési tényezője $0,588 \text{ W/mK}$, fajhője 3137 J/kgK .

Mennyi idő szükséges az oldat felmelegítéséhez?

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.16. feladat

$250 \text{ m}^3/\text{h}$ izo-propanolt kell lehűtenünk $82,5^\circ\text{C}$ -ról 50°C -ra. Ehhez legfeljebb $600 \text{ m}^3/\text{h}$ 20°C -os hűtővizet tudunk felhasználni. Rendelkezésünkre áll egy 91 db $25/30 \text{ mm}$ -es csövet tartalmazó egyjáratú csököteges hőcserélő. A csövek hővezetési tényezője 58 W/mK , köpeny belső átmérője 45 cm , a hőcserélő hossza $1,4 \text{ m}$. A hőcserélőt egyenáramban kívánjuk használni, és a köpenyben a hűtővizet akarjuk áramoltatni.

Alkalmas-e a hőcserélő a feladat elvégzésére?

Az izo-propanol és a hűtővíz adatai a közepes hőmérsékleten:

	izo-propanol	víz
$\rho [\text{kg/m}^3]$	770	994
$\eta [\text{mPas}]$	0,85	0,656
$c_p [\text{J/kgK}]$	3054	4180
$\lambda [\text{W/mK}]$	0,156	0,627

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.17. feladat (I/162. oldal/44. feladat módosítva)

Csőköteges kondenzátorban $0,4 \text{ kg}$ víz/kg gőz elegy gőzminőségű 80°C -os nedves gőzt kell kondenzálni. 6 t/h mennyiségben. A kondenzátor 37 db $30/40 \text{ mm}$ -es csőből áll.

Milyen hosszúak legyenek a csövek, ha a hűtővíz a kondenzátorban 20°C -ról 30°C -ra melegszik, és a hőátadási együttható a gőzoldalon $5815 \text{ W/m}^2\text{K}$? A csőfal termikus ellenállása elhanyagolható. A víz a csövekben áramlik.

6.18. feladat

Egy nagy átmérőjű duplikátorban 170°C -os telített vízgőzzel fűtünk. A köpeny fala 1 cm vastag, hővezetési tényezője 38 W/mK . A gőzoldali hőátadási tényező $6000 \text{ W/m}^2\text{K}$. A duplikátort kívülről 50 mm vastag üveggyapottal szigeteljük, melynek hővezetési tényezője $0,07 \text{ W/mK}$. A szigetelés külső felülete $0,4$ relatív emissziós tényezőjű alumíniumfestéssel van mázolva. A 20°C -os levegőben a hőátadási tényező $5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Mennyi a hőveszteség a szigetelés 25 m^2 felületén?

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.19. feladat

Keverős tartályban 60°C -on kell tartani a reakcióelegyet ($\rho = 980 \text{ kg/m}^3$, $\eta = 0,7 \text{ mPas}$, $c_p = 3,9 \text{ kJ/kgK}$, $\lambda = 0,48 \text{ W/mK}$), miközben a kémiai reakció miatt felszabaduló hőáram 220 MJ/h . A reaktort a kevert folyadékba merített csőhígyón keresztül 20°C -os hűtővízzel ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$,

$\eta = 0,75$ mPas, $c_p = 4,18$ kJ/kgK, $\lambda = 0,62$ W/mK) hűtjük. A hűtővíz 20 °C-ot melegszik. A tartály belső átmérője 1200 mm, a keverő átmérője 300 mm, fordulatszáma 160 1/min. A csőkígyó 30/35 mm átmérőjű saválló vascsőből készült ($\lambda_{cső} = 14$ W/mK), közepes kanyarátmérője 900 mm. Milyen hosszú csőből kell készíteni a csőkígyót?

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.20. feladat

50 db 16/20 mm (belső/külső) átmérőjű csövet tartalmazó csőköteges kondenzátorban 5100 kg/h szerves párat kell lekondenzáltatnunk 80 °C-on. A szerves anyag párolgáshője 400 kJ/kg. A hűtővíz térfogatárama 36 m³/h, belépő hőmérséklete 17 °C.

- Mekkora a hőátbocsátási tényező a kondenzátorban, ha a kondenzátor köpenyterében a kondenzációs hőátadási tényező 6000 W/m²K, és a csőfal hővezetési tényezője 17,4 W/mK?
- Mekkora felületű kondenzátorra van szükség a szerves pára lekondenzáltatásához?

A víz anyagi jellemzői: $\rho = 1000$ kg/m³; $c_p = 4,18$ kJ/kgK; $\eta = 10^{-3}$ Pas; $\lambda = 0,65$ W/mK.

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.21. feladat

Egy reaktorba betáplálandó reakcióelegyet 20 °C-ról 95 °C-ra melegítünk egy csőköteges hőcserélőben, 1,7 bar túlnyomású gőzzel. A csőköteges hőcserélő 60 db 20/25 mm-es csöveiben 100 t/h reakcióelegy áramlik. A reakcióelegy sűrűsége 885 kg/m³, fajhője 3,9 kJ/kgK, dinamikai viszkozitása 0,85 mPas, hővezetési tényezője 0,235 W/mK. A csőfal hővezetési tényezője 58 W/mK. A hőcserélő köpenyterében kondenzálódó fűtőgőz hőátadási tényezője 9000 W/m²K.

- Mennyi a kondenzvíz mennyisége, ha a fűtőgőz 5% nedvességet tartalmaz?
- Mekkora hőátadó felület szükséges a reakcióelegy felmelegítéséhez?

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.22. feladat

2 bar nyomású vízgőzt hűtővízzel kondenzáltatunk. A hűtővíz 20 °C-ról 35 °C-ra melegszik. A csőköteges kondenzátorban 20 db 20/25 mm-es cső van, amelyekben 30 t/h hűtővíz áramlik. A hűtővíz sűrűsége 1000 kg/m³, fajhője 4,18 kJ/kgK, dinamikai viszkozitása 1 mPas, hővezetési tényezője 0,628 W/mK. A csőfal hővezetési tényezője 58 W/mK. A hőcserélő köpenyterében kondenzálódó gőz hőátadási tényezője 9000 W/m²K.

- Mennyi a kondenzvíz mennyisége, ha a vízgőz eleve 5% nedvességet tartalmaz?
- Milyen hosszú hőcserélőre van szükség a gőz kondenzáltatásához?

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.23. feladat (I/131. oldal/5. feladat bővítve)

Csőköteges hőcserélőben 114 m³/h széntetrakloridot hűtünk 75 °C-ról 25 °C-ra. A hűtővíz 15 °C-os, és 10 °C-ot melegszik a kilépésig. A hőcserélő 300 mm belső átmérőjű köpenyében 40 db 20/24 mm-es cső helyezkedik el. A hűtővíz a köpenyben, a széntetraklorid a csövekben áramlik ellenáramban.

Számítsa ki a hőátbocsátási tényezőt! Anyagi jellemzők:

	ρ [kg/m ³]	η [mPas]	λ [W/mK]	c_p [kJ/kgK]
CCl ₄	1590	0,66	0,104	0,879
víz	1000	1	0,59	4,18
csőfal	–	–	58	–

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.24. feladat (1/136. oldal/9. feladat)

Cső a csőben hőcserélő 24/20 mm-es, illetve 46/40 mm-es koncentrikusan elhelyezett csőből áll. A kisebb átmérőjű csőben benzol, a csövek között víz áramlik. A benzol 60 °C-on lép be, és 30 °C-ra kell hűteni. A hűtővíz hőmérséklete 20 °C, és 40 °C-ra melegekedhet. A benzol mennyisége 1920 kg/h. A készüléket ellenáramban használjuk.

Számítsa ki a hőcserélő hosszát!

Anyagi jellemzők:

	ρ [kg/m ³]	η [mPas]	λ [W/mK]	c_p [kJ/kgK]
benzol	850	0,5	0,155	1,67
víz	1000	0,8	0,628	4,18
csőfal	–	–	58	–

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.25. feladat

Egy csőköteges hőcserélőben 25 db 25/20 mm átmérőjű 6 m hosszú cső van. A köpeny belső átmérője 202 mm. Ebben a hőcserélőben kell előmelegítenünk 12,5 m³/h 20 °C-os oldószeráramot. Erre az alábbi két lehetőség kínálkozik:

- A hőcserélő csőveiben áramlik az oldószer. A köpenytérben vele ellenáramban 36 m³/h víz áramlik, melynek belépő hőmérséklete 100 °C. Milyen hőmérsékleten lép ki az oldószer és a víz a hőcserélőből?
- Az oldószeráram előmelegítése történhet gőzfűtéssel is, amikor a fenti hőcserélő köpenytérében vízgőz kondenzál. (A vízgőz csak a kondenzációs hőjét adja le.) A hőcserélő csőveiben áramló oldószer hőátadási tényezője azonosnak vehető az a) feladatban meghatározottal. A gőzoldali hőátadási tényező értéke 6800 W/m²K. Milyen hőmérsékletű vízgőzzel kell fűtenünk, ha az oldószert 20 °C-ról 80 °C-ra kívánjuk felmelegíteni?

Anyagi jellemzők:

	ρ [kg/m ³]	η [mPas]	λ [W/mK]	c_p [kJ/kgK]
víz	1000	0,6	0,65	4,18
oldószer	800	0,4	0,4	3,80
csőfal	–	–	40	–

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.26. feladat

6 m³/h 20 °C-os salétromsav-oldatot kell felmelegítenünk. Ehhez 3 m³/h 100 °C-os vizet tudunk felhasználni. Rendelkezésünkre áll egy 15 m hosszú cső a csőben hőcserélő, melynek belső csőve 25/30 mm-es, külső csőve 45/50 mm-es, a belső cső hővezetési tényezője 58 W/mK. a nagyobb áramú salétromsav-oldatot áramoltatjuk a köpenytérben. A hőátbocsátási tényező 2563 W/m²K.

A salétromsav-oldat és a víz adatai a közepes hőmérsékleten:

	HNO₃-oldat	víz
ρ [kg/m ³]	1355	965
η [mPas]	2,2	0,316
c_p [J/kgK]	2677	4180
λ [W/mK]	0,5	0,585

Mennyi lesz az áramok kilépő hőmérséklete és az átadott hőáram, ha a hőcserélőt

- egyenáramban,
- ellenáramban használjuk?

6.27. feladat (I/163. oldal/47. feladat)

Hőcserélőnkbe a melegebb közeg 80 °C-on lép be, mennyisége 2000 kg/h, fajhője 3,14 kJ/kgK. A hidegebb közeg belépési hőmérséklete 15 °C, mennyisége 3750 kg/h, fajhője 4,18 kJ/kgK. A hőátbocsátási együttható 872 W/m²K. A hőcserélő felülete 2 m².

- Számítsa ki egyen- és ellenáram esetén a két közeg kilépő hőmérsékletét és az átadott hőmennyiséget!
- Hány százalékkal növekszik az átadott hőmennyiség egyen- és ellenáram esetén, ha a felületet 4 m²-re, illetve
- 6 m²-re növeljük?

6.28. feladat (I/150. oldal/15. feladat)

2,5 t/h 120 °C-os folyadékot ($c_p = 3,35$ kJ/kgK) 10 °C-os hűtővízzel hűtünk egy

- 2,8 m² felületű ellenáramú,
- 4 m² felületű egyenáramú

hőcserélőben. A hűtővíz mennyisége 3 m³/h. A hőátbocsátási tényező 837 W/m²K. Mi a kilépő folyadékok véghőmérséklete, és mennyi az átadott hőmennyiség?

6.29. feladat

Egy hőcserélő hőátadó felülete 35 m², a hőátbocsátási tényező értéke 1500 W/m²K. A hőcserélőbe belépő áramok adatai az alábbi táblázatban találhatók.

	meleg áram	hideg áram
$\dot{V}$ [m ³ /h]	50	25
T_{be} [°C]	95	17
ρ [kg/m ³]	850	1000
c_p [kJ/kgK]	3,1	4,18
η [mPas]	0,8	1,1
λ [W/mK]	0,230	0,625

- Mekkora a kilépő hőmérséklete a két folyadékáramnak egyenáramú üzemeltetés esetén?
- Mekkora a kilépő hőmérséklete a két folyadékáramnak ellenáramú üzemeltetés esetén?
- Mekkora az ellenáramban kicserélt hőáram értéke, és ez hány-szorosa az egyenáraménak?

2. Eredmények

2.6. Hőtan

6.5. feladat

- a) $i'_{20^\circ\text{C}} = 83,903 \text{ kJ/kg}$; $i'_{80^\circ\text{C}} = 334,944 \text{ kJ/kg}$; $i'_{ki} = 272,2 \text{ kJ/kg}$; $T_{ki} = 65^\circ\text{C}$
b) $T_G = 117^\circ\text{C}$; $i'_G = 490,986 \text{ kJ/kg}$; $i''_G = 2702,161 \text{ kJ/kg}$; $i'_{70^\circ\text{C}} = 292,992 \text{ kJ/kg}$;
 $\dot{m}_G = 8,92 \text{ kg/h}$

6.6. feladat

$$i'_{50^\circ\text{C}} = 209,298 \text{ kJ/kg}; m_{50^\circ\text{C}} = 0,21 \text{ kg}$$

6.7. feladat

$$i'_{20^\circ\text{C}} = 83,903 \text{ kJ/kg}; i'_{40^\circ\text{C}} = 167,514 \text{ kJ/kg}; i'_{60^\circ\text{C}} = 251,124 \text{ kJ/kg}; i''_{120^\circ\text{C}} = 2706,348 \text{ kJ/kg};$$
$$\dot{m}_{120^\circ\text{C}} = 17 \text{ kg/h}$$

6.8. feladat

- a) $\frac{\dot{Q}}{A} = 10^6 \text{ W/m}^2$
b) $\frac{\dot{Q}}{A} = 3 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2$
c) $T = 494,6^\circ\text{C}$;
d) $R_{\text{vaslemez}} = 3,45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{K/W}$; $R_{\text{kazánkő}} = 8,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{K/W}$; 3,4-szeresére nő a hőellenállás.

6.9. feladat

$$\dot{Q} = 40,44 \text{ kW}$$

6.10. feladat

- a) $d_2 = 150 \text{ mm}$; $d_3 = 200 \text{ mm}$; $\dot{Q} = 110,5 \text{ W}$
b) $T = 98,1^\circ\text{C}$

6.11. feladat

- a) $T_{fal,külső} = 103,9^\circ\text{C}$; $\dot{Q}_{veszt} = 1,4 \text{ kW}$
b) $T_{fal,külső} = 48,3^\circ\text{C}$

6.12. feladat

$$v_2 = 1,18 \text{ m/s}; Re_2 = 714,4; Nu_2 = 50,4; \alpha_2 = 410 \text{ W/m}^2\text{K}; k = 376 \text{ W/m}^2\text{K}; \dot{Q} = 975 \text{ W}$$

6.13. feladat

- a) $\dot{m}_1 = 0,31 \text{ kg/s}$; $\dot{Q} = 33,7 \text{ kW}$; $T_{2,ki} = 36,1^\circ\text{C}$

b) $\Delta T_{\text{átlag}} = 26,34 \text{ }^{\circ}\text{C}$

c) $v_1 = 1,66 \text{ m/s}$; $Re_1 = 1,74 \cdot 10^4$; $Nu_1 = 134,5$; $\alpha_1 = 3254 \text{ W/m}^2\text{K}$; $v_2 = 1,28 \text{ m/s}$; $D_{e,2} = 0,01 \text{ m}$;
 $Re_2 = 1,94 \cdot 10^4$; $Nu_2 = 101,3$; $\alpha_2 = 6352 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k = 2000 \text{ W/m}^2\text{K}$; $A = 0,64 \text{ m}^2$; $L = 11,3 \text{ m}$

6.14. feladat

$Re_1 = 2 \cdot 10^4$; $Nu_1 = 176$; $\alpha_1 = 1672 \text{ W/m}^2\text{K}$; $D_{e,2} = 14,8 \text{ mm}$; $Re_2 = 1,18 \cdot 10^4$; $Nu_2 = 78,5$;
 $\alpha_2 = 3331 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k = 1075 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\dot{Q} = 57,4 \text{ kW}$; $T_{2,ki} = 37,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\Delta T_{\text{átlag, egyen}} = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
 $A_{\text{egyen}} = 1,41 \text{ m}^2$; $L_{\text{egyen}} = 14 \text{ m}$; $\Delta T_{\text{átlag, ellen}} = 41,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $A_{\text{ellen}} = 1,3 \text{ m}^2$; $L_{\text{ellen}} = 12,9 \text{ m}$

6.15. feladat

$Re_2 = 3,96 \cdot 10^5$; $Nu_2 = 3020$; $\alpha_2 = 1480 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k = 1000 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\Delta T_{\text{átlag}} = 49,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\dot{Q} = 357 \text{ kW}$;
 $Q = 646 \text{ MJ}$; $t = 1810 \text{ s}$

6.16. feladat

$v_1 = 1,55 \text{ m/s}$; $Re_1 = 3,52 \cdot 10^4$; $Nu_1 = 255$; $\alpha_1 = 1590 \text{ W/m}^2\text{K}$; $D_{e,2} = 38 \text{ mm}$; $v_2 = 1,76 \text{ m/s}$;
 $Re_2 = 10^5$; $Nu_2 = 380$; $\alpha_2 = 6270 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k = 1200 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\dot{Q} = 5,31 \cdot 10^6 \text{ W}$; $T_{2,ki} = 27,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
 $\Delta T_{\text{átlag}} = 39 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $A_{\text{szükséges}} = 113 \text{ m}^2$; $A_{\text{hőcserélő}} = 11 \text{ m}^2$; Nem alkalmas.

6.17. feladat

$\dot{m}_{\text{gőz, tisztta}} = 1 \text{ kg/s}$; $r_{\text{gőz}} = 2308,183 \text{ kJ/kg}$; $\dot{Q} = 2308 \text{ kW}$; $v_2 = 2,11 \text{ m/s}$; $Re_2 = 6,33 \cdot 10^4$; $Nu_2 = 300$;
 $\alpha_2 = 6280 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k = 3020 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\Delta T_{\text{átlag}} = 54,85 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $A = 13,94 \text{ m}^2$; $L = 3,4 \text{ m}$

6.18. feladat

$T_{2,fal} = 49,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\dot{Q}_{\text{rad}} = 2970 \text{ W}$; $\alpha_{\text{rad}} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k = 1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\dot{Q} = 4226 \text{ W}$

6.19. feladat

$Re_{1,k} = 3,36 \cdot 10^5$; $\alpha_1 = 1970 \text{ W/m}^2\text{K}$; $v_2 = 1 \text{ m/s}$; $\alpha_{2,\text{egyen}} = 4026 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\alpha_{2,\text{csőki}} = 4496 \text{ W/m}^2\text{K}$;
 $k = 1100 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\Delta T_{\text{átl}} = 28,85 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $L = 18,84 \text{ m}$

6.20. feladat

a) $v_2 = 1 \text{ m/s}$; $\alpha_2 = 4011 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k = 1884 \text{ W/m}^2\text{K}$

b) $\dot{Q} = 567 \text{ kW}$; $\dot{m}_2 = 10 \text{ kg/s}$; $T_{2,ki} = 30,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\Delta T_{\text{átl}} = 55,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $A = 5,4 \text{ m}^2$

6.21. feladat

a) $\dot{Q} = 8125 \text{ kW}$; $\dot{m}_1 = 14,16 \text{ t/h}$

b) $v_2 = 1,67 \text{ m/s}$; $\alpha_2 = 2800 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k = 1955 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\Delta T_{\text{átl}} = 65,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $A = 63,45 \text{ m}^2$

6.22. feladat

a) $\dot{Q} = 522,5 \text{ kW}$; $\dot{m}_{\text{GK}} = 900 \text{ kg/h}$

b) $v_2 = 1,33 \text{ m/s}$; $\alpha_2 = 4700 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k = 2725 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\Delta T_{\text{átl}} = 92,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $L = 1,47 \text{ m}$

6.23. feladat

$$v_1 = 2,52 \text{ m/s}; \alpha_1 = 2478 \text{ W/m}^2\text{K}; \dot{Q} = 2213 \text{ kW}; v_2 = 1 \text{ m/s}; D_{e,2} = 5,31 \cdot 10^{-2} \text{ m}; \alpha_2 = 2958 \text{ W/m}^2\text{K}; k = 1288 \text{ W/m}^2\text{K}$$

6.24. feladat

$$v_1 = 2 \text{ m/s}; \alpha_1 = 2295 \text{ W/m}^2\text{K}; \dot{Q} = 2,67 \text{ kW}; v_2 = 0,4 \text{ m/s}; D_{e,2} = 16 \text{ mm}; \alpha_2 = 2090 \text{ W/m}^2\text{K}; k = 1040 \text{ W/m}^2\text{K}; \Delta T_{\text{átl}} = 14,4 \text{ }^\circ\text{C}; A = 1,78 \text{ m}^2; L = 25,7 \text{ m}$$

6.25. feladat

a) $v_1 = 0,51 \text{ m/s}; D_{e,1} = 3,01 \cdot 10^{-2} \text{ m}; \alpha_1 = 2600 \text{ W/m}^2\text{K}; v_2 = 0,44 \text{ m/s}; \alpha_2 = 1790 \text{ W/m}^2\text{K}; k = 994 \text{ W/m}^2\text{K}$

b) $q_{w,1} = 41800 \text{ W/K}; q_{w,2} = 10556 \text{ W/K}; p = 0,253; C = -7,08 \cdot 10^{-5} \text{ K/W}; \Psi_C = 0,597; T_{1,ki} = 87,9 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki} = 67,8 \text{ }^\circ\text{C}; \Delta T_{\text{átl}} = 45,96 \text{ }^\circ\text{C}; T_1 = 102,3 \text{ }^\circ\text{C}$

6.26. feladat

$$A = 13 \text{ m}^2; q_{w,1} = 3361 \text{ W/K}; q_{w,2} = 6046 \text{ W/K}; p = 1,8$$

a) $P = 4,63 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}; \Psi_P = 0,281; T_{1,ki} = 59,5 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki} = 42,5 \text{ }^\circ\text{C}; \dot{Q} = 136 \text{ kW}$

b) $C = 1,32 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}; \Psi_C = 0,308; T_{1,ki} = 55,65 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki} = 44,6 \text{ }^\circ\text{C}; \dot{Q} = 149 \text{ kW}$

6.27. feladat

$$q_{w,1} = 1744 \text{ W/K}; q_{w,2} = 4354 \text{ W/K}; p = 2,5$$

a) $P = 8 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}; \Psi_P = 0,215; T_{1,ki,egyen} = 45 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki,egyen} = 29 \text{ }^\circ\text{C}; \dot{Q}_{egyen} = 61 \text{ kW}; C = 3,44 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}; \Psi_C = 0,231; T_{1,ki,ellen} = 42,5 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki,ellen} = 30 \text{ }^\circ\text{C}; \dot{Q}_{ellen} = 65,5 \text{ kW}$

b) $\Psi_P = 0,268; T_{1,ki,egyen} = 36,45 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki,egyen} = 32,4 \text{ }^\circ\text{C}; \dot{Q}_{egyen} = 76 \text{ kW}; 24,7\%-kal \text{ nőtt meg. } \Psi_C = 0,318; T_{1,ki,ellen} = 28,3 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki,ellen} = 35,7 \text{ }^\circ\text{C}; \dot{Q}_{ellen} = 90 \text{ kW}; 37,6\%-kal \text{ nőtt meg.}$

c) $\Psi_P = 0,281; T_{1,ki,egyen} = 34,3 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki,egyen} = 35,7 \text{ }^\circ\text{C}; \dot{Q}_{egyen} = 79,7 \text{ kW}; 30,8\%-kal \text{ nőtt meg. } \Psi_C = 0,358; T_{1,ki,ellen} = 21,8 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki,ellen} = 38,3 \text{ }^\circ\text{C}; \dot{Q}_{ellen} = 101 \text{ kW}; 54,2\%-kal \text{ nőtt meg.}$

6.28. feladat

$$q_{w,1} = 2326 \text{ W/K}; q_{w,2} = 3483 \text{ W/K}; p = 1,5$$

a) $P = 7,17 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}; \Psi_P = 0,325; T_{1,ki} = 66,3 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki} = 45,75 \text{ }^\circ\text{C}$

b) $C = 1,43 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}; \Psi_C = 0,432; T_{1,ki} = 48,7 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki} = 57,5 \text{ }^\circ\text{C}$

6.29. feladat

a) $q_{w,1} = 36600 \text{ W/K}; q_{w,2} = 29030 \text{ W/K}; p = 0,793; P = 6,18 \cdot 10^{-5} \text{ K/W}; \Psi_P = 0,536; T_{1,ki} = 61,85 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki} = 58,81 \text{ }^\circ\text{C}$

b) $C = -7,12 \cdot 10^{-6} \text{ K/W}; \Psi_C = 0,686; T_{1,ki} = 52,57 \text{ }^\circ\text{C}; T_{2,ki} = 70,51 \text{ }^\circ\text{C}$

- c) $\dot{Q}_{ellen} = 1553 \text{ kW}$; $\dot{Q}_{egyen} = 1213 \text{ kW}$; Az ellenáramban átadott hőáram 1,28-szorosa az egyenáramban átadott hőáramnak.