

Vegyipari műveletek I. – Számítási gyakorlatok

B.: Hőtan

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

Angyalné Dr. Koczka Katalin Zsuzsanna

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	19
2.6. Hőtan	19

1. Feladatok

1.6. Hőtan

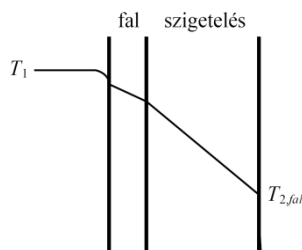
6.1. feladat

Egy lemezes hőcserélő külső falának vastagsága 5 mm, amin 2 cm vastag szigetelés van. A hőcserélő melegebb oldalán 80 °C van, a hőátadási tényező 2100 W/m²K. A hőcserélő falának hővezetési tényezője 58 W/mK, a szigetelésé 0,1 W/mK, a szigetelés relatív emissziós tényezője 0,7. A levegőben a hőátadási tényező értéke 7 W/m²K. Mekkora a hővesztés a 20 °C-os környezet felé a szekrény falának 1 négyzetméterén?

Megoldás

Megoldás menete

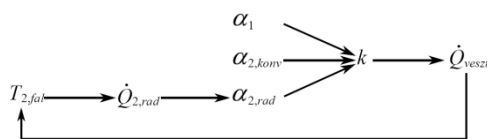
A hőmérsékletprofil az alábbi ábrán látható:



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 hővesztéséget, 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

Fal hőmérséklet 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.

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

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

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

Sugárzás

Sugárzási hővesztés

$$Q_{rad} = \epsilon_{szig} C_0 A \frac{T_{2,fal}^4 - T_2^4}{100}$$

$$Q_{rad} = 0,7 \cdot 5,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot \frac{318 \text{ K}^4 - 293 \text{ K}^4}{100} = 113,36 \text{ W}$$

Sugárzási hőátadási tényező

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

Hőátbocsátási tényező

$$k = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{s_{fal}}{fal} + \frac{s_{szig}}{szig} + \frac{1}{2} + \epsilon_{2,rad}}$$

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

Hővesztés

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

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.

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

$$Q_{veszt} = k^* A (T_1 - T'_{2,fal})$$

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

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

Új sugárzási hőveszteség

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

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

Új sugárzási hőátadási tényező

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

Új hőátbocsátási tényező

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{s_{fal}}{fal} + \frac{s_{szig}}{szig} + \frac{1}{2 + \epsilon'_{2,rad}}}$$

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

Új hőveszteség

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

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 csövében (34/30 mm) óránként 2,7 m³ glicerin-oldatot ($\eta = 1,8$ mPas, $c_p = 3,39$ kJ/kgK, $\rho = 1120$ kg/m³, $\lambda = 0,285$ W/mK) akarunk 80 °C-ról 50 °C-ra lehűteni A hőcserélő külső csövében (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

$$Q = m_1 c_{p,1} (T_{1,be} - T_{1,ki}) = V_1 \rho c_{p,1} (T_{1,be} - T_{1,ki})$$

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

Hűtővíz minimális árama

$$Q = m_2 c_{p,2} (T_{2,ki} - T_{2,be})$$

$$m_2 = \frac{Q}{c_{p,2} (T_{2,ki} - T_{2,be})} = \frac{85,43 \text{ kW}}{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (45^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C})} = 0,66 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 2373,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Folyadéksebesség

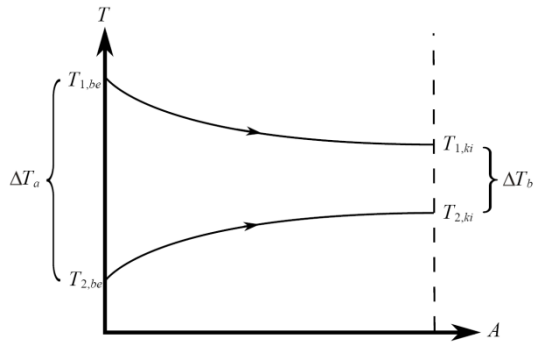
$$v_2 = \frac{V_2}{A_2} = \frac{m_2}{\rho \frac{D_{belső}^2}{4} - \frac{d_{külső}^2}{4}}$$

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

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

$$T_a = T_{1,be} \quad T_{2,be} = 80^\circ\text{C} \quad 14^\circ\text{C} = 66^\circ\text{C}, \quad T_b = T_{1,ki} \quad T_{2,ki} = 50^\circ\text{C} \quad 45^\circ\text{C} = 5^\circ\text{C}$$

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

Hőátadó felület

$$Q = k A T_{\text{átl}}$$

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

Hőcserélő hossza

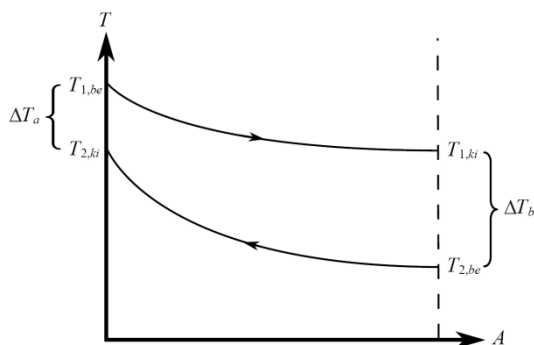
A hőcserélő felületének számításakor a cső átlagos átmérőjével számolunk.

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

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

Ellenáram

Logaritmikus hőmérsékletkülönbség



6.4. ábra Magyarázó ábra az átlagos hajtóerő számításához ellenáram esetén

(A rajz helytelen, mert a 6.2. példa esetében a hőfokprofil fordítva görbül.)

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

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

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

Hőátadó felület

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

Hőcserélő hossza

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

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

$$V_1 = A_1 v_1$$

$$v_1 = \frac{V_1}{A_1} = \frac{V_1}{\frac{d_{\text{belső}}^2}{4}} = \frac{2,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\frac{(0,03 \text{ m})^2}{4} \pi \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} = 1,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Prandtl-szám

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

Reynolds-szám

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

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

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

Nusselt-szám

$$Y = Nu \quad \frac{-s}{b} \quad Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_1 = Y_1 \frac{s}{b} \quad Pr_1^{\frac{1}{3}} = 62,97 \cdot 1^{0,14} \cdot 21,41^{\frac{1}{3}} = 174,9$$

Meleg oldali hőátadási tényező

$$Nu = \frac{D}{\dots}$$

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

Hideg oldali hőátadási tényező

Hideg áram sebessége

$$V_2 = A_2 \cdot v_2$$

$$v_2 = \frac{V_2}{A_2} = \frac{V_2}{\frac{D_{belső}^2}{4} - \frac{d_{külső}^2}{4}}$$

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

Egyenérték csőátmérő

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

Prandtl-szám

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

Reynolds-szám

$$Re_2 = \frac{d_{belső}}{2} v_2 = \frac{0,014 m \cdot 0,74 \frac{m}{s} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}}{8 \cdot 10^4 \text{ Pas}} = 12950$$

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

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

Nusselt-szám

$$Nu_2 = Y_2 \frac{s}{b} \quad Pr_2^{\frac{1}{3}} = 44,83 \cdot 1^{0,14} \cdot 5,43^{\frac{1}{3}} = 78,8$$

Hideg oldali hőátadási tényező

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

Hőátbocsátási tényező

Csőfal vastagsága

$$s = \frac{d_{\text{külső}} - d_{\text{belső}}}{2} = \frac{3,4 \cdot 10^{-2} \text{m} - 3 \cdot 10^{-2} \text{m}}{2} = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{m}$$

Hőátbocsátási tényező

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1661 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} + \frac{0,2 \cdot 10^{-2} \text{m}}{38 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{1}{3467 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}} = 1026 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Hűtővíz kilépő hőmérséklete

$$Q = m_2 c_{p,2} (T_{2,ki} - T_{2,be}) = V_2 \rho_2 c_{p,2} (T_{2,ki} - T_{2,be})$$

$$T_{2,ki} = \frac{Q}{V_2 \rho_2 c_{p,2}} + T_{2,be} = \frac{85,43 \text{kW} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{2,4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} + 14^\circ\text{C} = 44,66^\circ\text{C}$$

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.

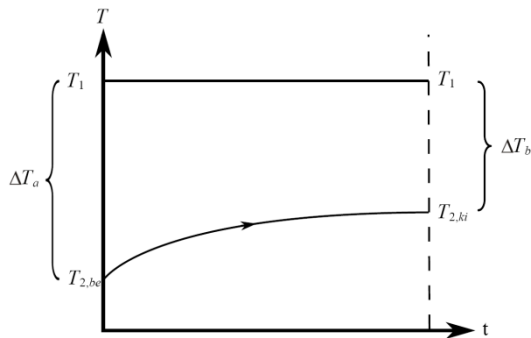
Megoldás

Felmelegítéshez szükséges hőmennyiség

$$Q = m_2 c_{p,2} (T_{2,ki} - T_{2,be}) = 5000 \text{kg} \cdot 3,35 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 1,005 \cdot 10^9 \text{J} = 1,005 \text{GJ}$$

Logaritmikusan hőmérsékletkülönbség

Habár egy szakaszos folyamatról van szó, a logaritmikusan 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.

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

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

Logaritmikus hőmérsékletkülönbség

$$T_{\text{átl}} = \frac{T_a \cdot T_b}{\ln \frac{T_a}{T_b}} = \frac{80^\circ\text{C} \cdot 20^\circ\text{C}}{\ln \frac{80^\circ\text{C}}{20^\circ\text{C}}} = 43,28^\circ\text{C}$$

Átment hőáram

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

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 hőcsereelőbe 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 hőcsereelőt

- egyenáramban,
- ellenáramban használjuk?

Megoldás

Hőkapacitás-áramok

$$q_{w,1} = m_1 \cdot c_{p,1} = \frac{2500 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \cdot 3350 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 2326,4 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

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

Véghőfokszámítás

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

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

Egyenáram

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

$$\frac{k A}{q_{w,1}} = \frac{1163 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} 5 \text{m}^2}{2326,4 \frac{\text{W}}{\text{K}}} = 2,5 \quad \Psi_P = 0,4$$

$$p = 1,5$$

Ψ_P meghatározása számítással.

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

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

Megjegyzés

$$kPA = \frac{k A}{q_{w,1}} \frac{p+1}{p}, \text{ és mivel a kifejezés jobb oldalát az ábra használatához kiszámoljuk, } \Psi_P$$

értékének számításánál is célszerű ezeket használni:

$$\Psi_P = \frac{1}{1+p} \left(1 - e^{-\frac{k A}{q_{w,1}} \frac{p+1}{p}} \right) = \frac{1}{1+1,5} \left(1 - e^{-2,5 \frac{1,5+1}{1,5}} \right) = 0,394$$

Kimenő hőmérsékletek:

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

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

Ellenáram

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

$$\frac{k A}{q_{w,1}} = \frac{1163 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \cdot 5 \text{m}^2}{2326,4 \frac{\text{W}}{\text{K}}} = 2,5 \quad \Psi_C = 0,54$$

$$p = 1,5$$

Ψ_C meghatározása számítással.

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

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

Megjegyzés

$kCA = \frac{k A}{q_{w,1}} \frac{p}{p}$, és mivel a kifejezés jobb oldalát az ábra használatához kiszámoljuk, Ψ_C

értékének számításánál is célszerű ezeket használni:

$$\Psi_C = \frac{1}{p} \frac{e^{\frac{k A}{q_{w1}} \frac{p}{p}}}{e^{\frac{k A}{q_{w1}} \frac{p}{p}}} = \frac{1}{1,5} \frac{e^{2,5 \frac{1,5}{1,5}}}{e^{2,5 \frac{1,5}{1,5}}} = 0,531$$

Kimenő hőmérsékletek:

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

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

6.5. feladat

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

a) Hány fokos víz keletkezik, ha összekeverjük 300 kg/h 80 °C-os vízárammal?

a) 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. $\lambda = 17,4$ 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 hőveszteség 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

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

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.14. feladat (1/157. oldal/25. feladat módosítva)

Egy cső a csőben hőcserélő belső csövének belső átmérője 30 mm. A csőben 50%-os vizes glicerinoldat 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 m³ NaOH-oldatot melegítünk 40 °C-ról 120 °C-ra 140 °C-os telített vízgőz segítségével. A duplikátor átmérője 1,2 m, a keverő átmérője 300 mm, fordulatszáma 120 1/min. A duplikátor hőátadó felülete 7,2 m², belső falának vastagsága 10 mm, hővezetési tényezője 58 W/mK. A gőzoldali hőátadási tényező 6500 W/m²K. A közepes hőmérsékleten a NaOH-oldat sűrűsége 1,43 g/cm³, viszkozitása 0,65 mPas, hővezetési tényezője 0,588 W/mK, fajhője 3137 J/kgK.

Mennyi idő szükséges az oldat felmelegítéséhez?

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.16. feladat

250 m³/h izo-propanolt kell lehűtenünk 82,5 °C-ról 50 °C-ra. Ehhez legfeljebb 600 m³/h 20 °C-os hűtővizet tudunk felhasználni. Rendelkezésünkre áll egy 91 db 25/30 mm-es csövet tartalmazó egyjáratú csököteges hőcserélő. A csövek hővezetési tényezője 58 W/mK, köpeny belső átmérője 45 cm, a hőcserélő hossza 1,4 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
ρ [kg/m ³]	770	994
η [mPas]	0,85	0,656
c_p [J/kgK]	3054	4180
λ [W/mK]	0,156	0,627

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.17. feladat (1/162. oldal/44. feladat módosítva)

Csököteges kondenzátorban 0,4 kg víz/kg gőz elegy gőzminőségű 80 °C-os nedves gőzt kell kondenzálni. 6 t/h mennyiségben. A kondenzátor 37 db 30/40 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 W/m²K? 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 W/m²K. A duplikátort kívülről 50 mm vastag üvegyapottal szigeteljük, melynek hővezetési tényezője 0,07 W/mK. A szigetelés külső felülete 0,4 relatív emissziós tényezőjű alumíniumfestékkel van mázolja. A 20 °C-os levegőben a hőátadási tényező 5 W/m²K.

Mennyi a hőveszteség a szigetelés 25 m² 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 csőkiágyon keresztül 20 °C-os hűtővízzel ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\eta = 0,75 \text{ mPas}$, $c_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$, $\lambda = 0,62 \text{ W/mK}$) hűtjük. A hűtővíz 20 °C-ot melegszik. A tartály belső átmérője 1200 mm, a keverő átmérője 300 mm, fordulatszámja 160 1/min. A csőkiágyó 30/35 mm átmérőjű saválló vascsőből készült ($\lambda_{cső} = 14 \text{ W/mK}$), közepes kanyarátmérője 900 mm. Milyen hosszú csőből kell készíteni a csőkiágyót?

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.20. feladat

50 db 16/20 mm (belső/külső) átmérőjű csövet tartalmazó csököteges kondenzátorban 5100 kg/h szerves párárt 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: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $c_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$; $\eta = 10^{-3} \text{ Pas}$; $\lambda = 0,65 \text{ W/mK}$.

A számításokhoz használhatók a sík falra érvényes összefüggések.

6.21. feladat

Egy reaktorba betáplálandó reakcióelegyet 20 °C-ról 95 °C-ra melegítünk egy csököteges hőcserélőben, 1,7 bar túlnyomású gőzzel. A csököteges 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 csököteges 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 (I/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 melegedhet. 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 csököteges 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 csöveiben áramlik az oldószer. A köpenyterben 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 köpenyterében vízgőz kondenzál. (A vízgőz csak a kondenzációs hőjét adja le.) A hőcserélő csöveiben áramló oldószer hőátadási tényezője azonosnak vehető az a) feladatban meghatározottal. A gőzoldali

hőátadási tényező értéke $6800 \text{ W/m}^2\text{K}$. Milyen hőmérsékletű vízgőzzel kell fűtenünk, ha az oldószert $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -ról $80 \text{ }^\circ\text{C}$ -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

$6 \text{ m}^3/\text{h}$ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -os salétromsav-oldatot kell felmelegítenünk. Ehhez $3 \text{ m}^3/\text{h}$ $100 \text{ }^\circ\text{C}$ -os vizet tudunk felhasználni. Rendelkezésünkre áll egy 15 m hosszú cső a csőben hőcserélő, melynek belső csőve $25/30 \text{ mm}$ -es, külső csőve $45/50 \text{ mm}$ -es, a belső cső hővezetési tényezője 58 W/mK . a nagyobb áramú salétromsav-oldatot áramoltatjuk a köpenytérben. A hőátbocsátási tényező $2563 \text{ W/m}^2\text{K}$.

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 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ -on lép be, mennyisége 2000 kg/h , fajhője $3,14 \text{ kJ/kgK}$. A hidegebb közeg belépési hőmérséklete $15 \text{ }^\circ\text{C}$, mennyisége 3750 kg/h , fajhője $4,18 \text{ kJ/kgK}$. A hőátbocsátási együttható $872 \text{ W/m}^2\text{K}$. A hőcserélő felülete 2 m^2 .

- 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 m^2 -re, illetve
- 6 m^2 -re növeljük?

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

$2,5 \text{ t/h}$ $120 \text{ }^\circ\text{C}$ -os folyadékot ($c_p = 3,35 \text{ kJ/kgK}$) $10 \text{ }^\circ\text{C}$ -os hűtővízzel hűtünk egy

- $2,8 \text{ m}^2$ felületű ellenáramú,
- 4 m^2 felületű egyenáramú

hőcserélőben. A hűtővíz mennyisége $3 \text{ m}^3/\text{h}$. A hőátbocsátási tényező $837 \text{ W/m}^2\text{K}$. Mi a kilépő folyadékok véghőmérséklete, és mennyi az átadott hőmennyiség?

6.29. feladat

Egy hőcserélő hőátadó felülete 35 m^2 , a hőátbocsátási tényező értéke $1500 \text{ W/m}^2\text{K}$. A hőcserélőbe belépő áramok adatai az alábbi táblázatban találhatóak.

	meleg áram	hideg áram
$V \text{ [m}^3\text{/h]}$	50	25
$T_{be} \text{ [}^\circ\text{C]}$	95	17
$\rho \text{ [kg/m}^3\text{]}$	850	1000
$c_p \text{ [kJ/kgK]}$	3,1	4,18
$\eta \text{ [mPas]}$	0,8	1,1
$\lambda \text{ [W/mK]}$	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 hányszorosa az egyenáraménak?

2. Eredmények

2.6. Hőtan

6.5. feladat

l) $i'_{20^\circ\text{C}} = 83,903 \text{ kJ/kg}$; $i'_{80^\circ\text{C}} = 334,944 \text{ kJ/kg}$; $i'_{ki} = 272,2 \text{ kJ/kg}$; $T_{ki} = 65^\circ\text{C}$

d) $T_G = 117^\circ\text{C}$; $i'_G = 490,986 \text{ kJ/kg}$; $i''_G = 2702,161 \text{ kJ/kg}$; $i'_{70^\circ\text{C}} = 292,992 \text{ kJ/kg}$;
 $m_G = 8,92 \text{ kg/h}$

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

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

6.8. feladat

m) $\frac{Q}{A} = 10^6 \text{ W/m}^2$

e) $\frac{Q}{A} = 3 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2$

f) $T = 494,6^\circ\text{C}$;

g) $R_{\text{vaslemez}} = 3,45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{K/W}$; $R_{\text{kazánkő}} = 8,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2\text{K/W}$; 3,4-szeresére nő a hőellenállás.

6.9. feladat

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

6.10. feladat

n) $d_2 = 150 \text{ mm}$; $d_3 = 200 \text{ mm}$; $Q = 110,5 \text{ W}$

h) $T = 98,1^\circ\text{C}$

6.11. feladat

o) $T_{\text{fal,külső}} = 103,9^\circ\text{C}$; $Q_{\text{veszt}} = 1,4 \text{ kW}$

i) $T_{\text{fal,külső}} = 48,3^\circ\text{C}$

6.12. feladat

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

6.13. feladat

p) $m_1 = 0,31 \text{ kg/s}$; $Q = 33,7 \text{ kW}$; $T_{2,ki} = 36,1^\circ\text{C}$

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

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

6.14. feladat

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

6.15. feladat

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

6.16. feladat

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

6.17. feladat

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

6.18. feladat

$T_{2,fal} = 43,1 \text{ }^\circ\text{C}$; $Q_{\text{rad}} = 1484 \text{ W}$; $\alpha_{\text{rad}} = 2,57 \text{ W/m}^2\text{K}$; $k = 1,18 \text{ W/m}^2\text{K}$; $Q_{\text{veszt}} = 4428 \text{ W}$

6.19. feladat

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

6.20. feladat

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

l) $Q = 567 \text{ kW}$; $m_2 = 10 \text{ kg/s}$; $T_{2,ki} = 30,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta T_{\text{átl}} = 55,9 \text{ }^\circ\text{C}$; $A = 5,4 \text{ m}^2$

6.21. feladat

r) $Q = 8125 \text{ kW}$; $m_1 = 14,16 \text{ t/h}$

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

6.22. feladat

s) $Q = 522,5 \text{ kW}$; $m_{\text{GK}} = 900 \text{ kg/h}$

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

6.23. feladat

$$v_1 = 2,52 \text{ m/s}; \quad \alpha_1 = 2477 \text{ W/m}^2\text{K}; \quad Q = 2213 \text{ kW}; \quad v_2 = 1,00 \text{ m/s}; \quad D_{e,2} = 5,31 \cdot 10^{-2} \text{ m}; \\ \alpha_2 = 2958 \text{ W/m}^2\text{K}; \quad k = 1288 \text{ W/m}^2\text{K}$$

6.24. feladat

$$v_1 = 2 \text{ m/s}; \quad \alpha_1 = 2295 \text{ W/m}^2\text{K}; \quad Q = 2,67 \text{ kW}; \quad v_2 = 0,4 \text{ m/s}; \quad D_{e,2} = 16 \text{ mm}; \quad \alpha_2 = 2057 \text{ W/m}^2\text{K}; \\ k = 1046 \text{ W/m}^2\text{K}; \quad \Delta T_{\text{át}} = 14,4 \text{ }^\circ\text{C}; \quad A = 1,77 \text{ m}^2; \quad L = 25,6 \text{ m}$$

6.25. feladat

a) $v_1 = 0,50 \text{ m/s}; \quad D_{e,1} = 3,04 \cdot 10^{-2} \text{ m}; \quad \alpha_1 = 2570 \text{ W/m}^2\text{K}; \quad v_2 = 0,44 \text{ m/s}; \quad \alpha_2 = 1788 \text{ W/m}^2\text{K}; \\ k = 990 \text{ W/m}^2\text{K}$

b) $q_{w,1} = 41800 \text{ W/K}; \quad q_{w,2} = 10556 \text{ W/K}; \quad p = 0,2525; \quad C = -7,08 \cdot 10^{-5} \text{ K/W}; \quad \Psi_C = 0,596; \\ T_{1,ki} = 87,96 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_{2,ki} = 67,68 \text{ }^\circ\text{C}; \quad \Delta T_{\text{át}} = 45,96 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_{\text{fűtőgőz}} = 102,3 \text{ }^\circ\text{C}$

6.26. feladat

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

a) $P = 4,63 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}; \quad \Psi_P = 0,281; \quad T_{1,ki} = 59,54 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_{2,ki} = 42,48 \text{ }^\circ\text{C}; \quad Q = 136 \text{ kW}$

b) $C = 1,32 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}; \quad \Psi_C = 0,308; \quad T_{1,ki} = 55,65 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_{2,ki} = 44,64 \text{ }^\circ\text{C}; \quad Q = 149 \text{ kW}$

6.27. feladat

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

a) $P = 8 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}; \quad \Psi_P = 0,215; \quad T_{1,ki,egyen} = 45 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_{2,ki,egyen} = 29 \text{ }^\circ\text{C}; \quad Q_{\text{egyen}} = 61 \text{ kW};$

$$C = 3,44 \cdot 10^{-4} \text{ K/W}; \quad \Psi_C = 0,231; \quad T_{1,ki,ellen} = 42,5 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_{2,ki,ellen} = 30 \text{ }^\circ\text{C}; \quad Q_{\text{ellen}} = 65,5 \text{ kW}$$

b) $\Psi_P = 0,268; \quad T_{1,ki,egyen} = 36,45 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_{2,ki,egyen} = 32,4 \text{ }^\circ\text{C}; \quad Q_{\text{egyen}} = 76 \text{ kW}; \quad 24,7\text{-kal nőtt meg.}$

$$\Psi_C = 0,318; \quad T_{1,ki,ellen} = 28,3 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_{2,ki,ellen} = 35,7 \text{ }^\circ\text{C}; \quad Q_{\text{ellen}} = 90 \text{ kW}; \quad 37,6\text{-kal nőtt meg.}$$

c) $\Psi_P = 0,281; \quad T_{1,ki,egyen} = 34,3 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_{2,ki,egyen} = 35,7 \text{ }^\circ\text{C}; \quad Q_{\text{egyen}} = 79,7 \text{ kW}; \quad 30,8\text{-kal nőtt meg.}$

$$\Psi_C = 0,358; \quad T_{1,ki,ellen} = 21,8 \text{ }^\circ\text{C}; \quad T_{2,ki,ellen} = 38,3 \text{ }^\circ\text{C}; \quad Q_{\text{ellen}} = 101 \text{ kW}; \quad 54,2\text{-kal nőtt meg.}$$