Pannon Egyetem
Mérnöki Kar

Segédlet

Műszaki hőtan feladatgyűjtemény

Műszaki hőtan
Műszaki áramlástan és hőtan II.
Műszaki áramlás- és hőtan

2020. május 10.

Tartalomjegyzék

Alapadatok

A tárgy adatai

Név:	Műszaki áramlástan és hőtan II. (Műszaki hőtan)
Kód:	VEMKGEB242H
Kreditérték:	2 (1 elmélet, 1 gyakorlat)
Követelmény típus:	vizsga
Szervezeti egység:	Gépészmérnöki Intézet
Előadás látogatása:	kötelező
Gyakorlat látogatása:	kötelező
Számonkérés:	a félév végén zárthelyi, írásbeli és szóbeli vizsga

A segédlet célja

A segédlet célja ismertetni a **Műszaki hőtan szemináriumi segédlet és példatár** (Dr. Pleva László, Zsíros László) feladatainak megoldását.

A segédlet kidolgozása még folyamatban van, ezen sorok írásakor az elsődleges célja az ötödik, hatodik és hetedik fejezetben található feladatok megoldásának ismertetése, melyekre a 2016/17-es tanév őszi féléve során nem jutott idő az előadásokon, azonban a számonkérés részét képezik.

Ajánlott szakirodalom

- Dr. Pleva László, Zsíros László: Műszaki hőtan, Pannon Egyetemi Kiadó (ebből kimarad: 59-62; 66-69; 100-104; 114-209; 237-245; 280-309 oldalak)
- M. A. Mihajev: A hőátadás számításának gyakorlati alapjai, Tankönyvkiadó, Budapest, 1990.

1. fejezet

Levegő állapotváltozásai

K1/9. feladat: Nedves vízgőz kiterjedése

$V_1 = 1{,}5\,\mathrm{m}^3$ térfogatú, $p_1 = 16\,\mathrm{bar}$ nyomású és $x_1 = 0{,}95$ fajlagos gőztartalmú vízgőz **adiabatikusan** $p_2 = 0{,}1\,\mathrm{bar}$ nyomásig terjed ki. Határozza meg a kiterjedés kezdetén és végén a gőz állapotjelzőit, a gőz m tömegét és a gőz által végzett w_t technikai munkát!

Ábrázolja a folyamatot $T - s$ diagramban!

Ismert jellemzők a kezdeti állapotban

$$p_1 = 16\,\mathrm{bar}, \quad V_1 = 1{,}5\,\mathrm{m}^3, \quad x_1 = 0{,}95, \quad h_1' = 858{,}3\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}, \quad h_1'' = 2793\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$$

$$s_1' = 2{,}344\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}, \quad s_1'' = 6{,}442\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}, \quad v_1' = 0{,}001\,16\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}, \quad v_1'' = 0{,}1238\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}$$

Ismert jellemzők a végállapotban

$$h_2' = 191{,}9\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}, \quad h_2'' = 2584\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}, \quad s_2' = 0{,}6492\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}, \quad s_2'' = 8{,}149\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}}$$

Az állapotjelzők a kezdeti állapotban

A kezdeti állapothoz tartozó h_1 hőtartalom, v_1 fajtérfogat és s_1 entrópia a szélsőértékek és az x_1 fajlagos gőztartalom felhasználásával számolható:

$$h_1 = (1 - x_1)\,h_1' + x_1 h_1'' = 2696{,}27\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} \tag{1.1}$$

$$v_1 = (1 - x_1)\,v_1' + x_1 v_1'' = 0{,}1176\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}} \tag{1.2}$$

$$s_1 = (1 - x_1)\,s_1' + x_1 s_1'' = 6{,}237\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}} \tag{1.3}$$

A kiterjedő gőz tömege az azonos állapotra vonatkozó térfogat és fajtérfogat hányadosa. A kezdeti állapotra mindkét mennyiség ismert:

$$m = \frac{V_1}{v_1} = 12{,}74\,\mathrm{kg} \tag{1.4}$$

Az állapotjelzők a végállapotban

A végállapot állapotjelzőinek számolásához szükségünk van az ismert szélsőértékek mellett az x_2 fajlagos gőztartalomra is. Az állapotváltozás adiabatikus jellegű, emiatt $s_1 \approx s_2$ (ha reverzibilisnek tekintjük az állapotváltozást, akkor $s_1 = s_2$):

$$s_2 = (1 - x_2)\, s_2' + x_2 s_2'' \quad \Rightarrow \quad x_2 = \frac{s_2 - s_2'}{s_2'' - s_2'} \approx \frac{s_1 - s_2'}{s_2'' - s_2'} = 0{,}745 \tag{1.5}$$

A hőtartalom a végállapotban:

$$h_2 = (1 - x_2)\, h_2' + x_2 h_2'' = 1974\, \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} \tag{1.6}$$

A technikai munka

Az állapotváltozás technikai munkáját az első főtétel átáramlott rendszerek

2. fejezet

Víz és vízgőz állapotváltozásai

K2/1. feladat: Gőzfejlesztés állandó nyomáson

3. fejezet

Munkát szolgáltató körfolyamatok

K1/5. feladat: Levegő Carnot-körfolyamata

4. fejezet

Hűtőgépek, hűtőkörfolyamatok

5. fejezet

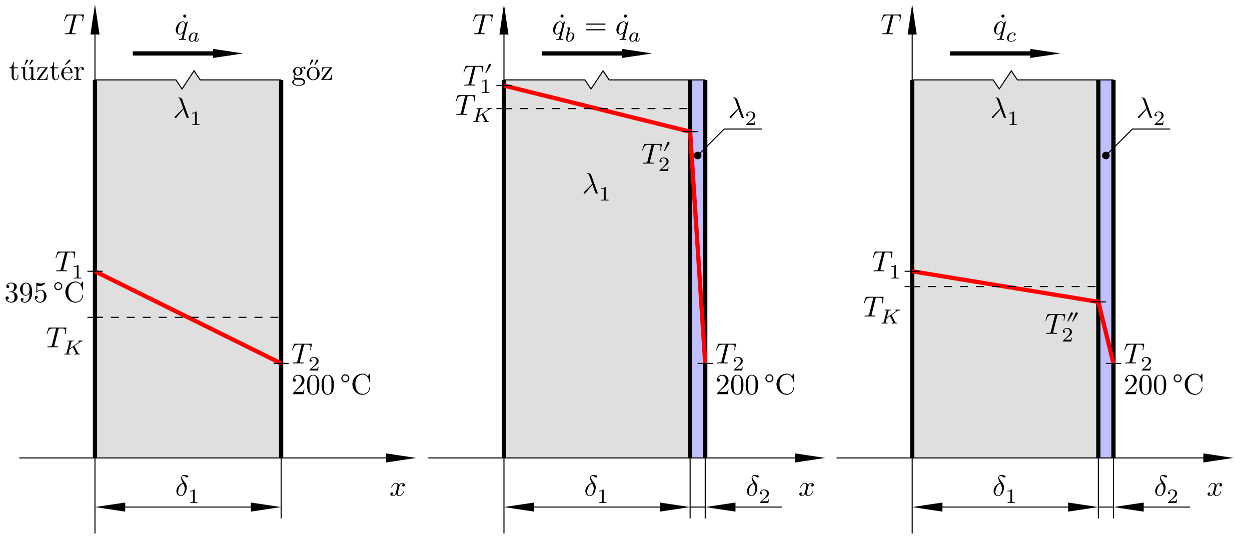
Hőterjedés álló közegben

K5/1. feladat: Hőterjedés sík kazánfalban

Név	Szalay István
Szak	
Félév	2019/2020 II. (tavaszi) félév

Egy kazánban 10 bar nyomású gőzt termelnek. A kazánfal belső felülete 200 °C, külső (tűztér felőli) felülete pedig 395 °C hőmérsékletű. A kazán fala $\delta_1 = 16\,\mathrm{mm}$ vastagságú.

A kazán falának hővezetési tényezője $\lambda_1 = 43\,\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m\,K}}$. (A kazán falát síkfalnak tekintjük.)



(a) A hőmérséklet-hely függvény az a) esetben.

(b) A hőmérséklet-hely függvény az b) esetben.

(c) A hőmérséklet-hely függvény a c) esetben.

a) Határozzuk meg a fal közepes hőmérsékletét és a falban kialakuló hőáramsűrűséget!

A fal közepes hőmérséklete a lineáris hőmérsékleteloszlás miatt a falhőmérsékletek átlaga:

$$T_K = \frac{T_1 + T_2}{2} = 297{,}5\,°\mathrm{C} \tag{5.1}$$

Nem lineáris hőmérsékleteloszlás esetén a hőmérséklet-hely függvény határozott integráljának és a falvastagságnak a hányadosa a közepes hőmérséklet.

A hőáramsűrűség a falban

$$\dot{q}_a = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(T_1 - T_2) = 524\,\frac{\mathrm{kW}}{\mathrm{m}^2} \tag{5.2}$$

Ebben a feladatban a kazánfal oldalain végbemenő hőátadást tökéletesnek tekintjük, azaz a falhőmérsékletek megegyeznek a közeghőmérsékletekkel.

b) A kazán falára $\delta_2 = 1{,}2\,\mathrm{mm}$ vastag kazánkőréteg rakódik. Változatlan gőztermelés és gőznyomás esetén számítsuk ki a kazán falának közepes hőmérsékletét!

A vízkőréteg hővezetési tényezője $\lambda_2 = 1{,}6\,\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m\,K}}$.

A "változatlan gőztermelés" kifejezés azt jelenti, hogy a gőzoldali falhőmérséklet és a hőáramsűrűség a falban nem változik. A vízkőréteg miatt a hőáramsűrűség csak úgy maradhat azonos $\dot{q}_a$-val, hogy a tűztér oldali T_1' falhőmérséklet sokkal nagyobb T_1-nél, a T_2' falhőmérséklet pedig nem azonos a gőzoldali T_2 hőmérséklettel. A vízkőréteg hővezetési tényezője sokkal kisebb a kazánlemezénél, ezért a kisebb rétegvastagság ellenére nagyobb hőmérséklet esik rajta.

A fal közepes hőmérséklete itt is a két falhőmérséklet átlaga:

$$T_K' = \frac{T_1' + T_2'}{2} \tag{5.3}$$

A T_1' és a T_2' falhőmérséklet a q_b hőáramsűrűség alapján számítható ki:

$$\dot{q}_b = \dot{q}_a = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(T_1' - T_2') = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(T_2' - T_2) \tag{5.4}$$

$$T_2' = T_2 + \frac{\delta_2}{\lambda_2}\dot{q}_a = 200\,^\circ\mathrm{C} + \frac{1{,}2\,\mathrm{mm}}{1{,}6\,\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m\,K}}} 524\,\frac{\mathrm{kW}}{\mathrm{m}^2} = 593\,^\circ\mathrm{C} \tag{5.5}$$

$$T_1' = T_2' + \frac{\delta_1}{\lambda_1}\dot{q}_a = 593\,^\circ\mathrm{C} + \frac{16\,\mathrm{mm}}{43\,\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m\,K}}} 524\,\frac{\mathrm{kW}}{\mathrm{m}^2} = 788\,^\circ\mathrm{C} \tag{5.6}$$

c) Ha szilárdsági okok miatt a fal hőmérséklete nem emelkedhet, de a gőznyomás változatlan, mekkora lesz a hőáramsűrűség?

Ha gőznyomás nem változik, akkor a gőz hőmérséklete sem változik, mivel a kazánban a nedves gőzmezőbe eső állapotú a víz, és ott T–s diagram szerint az izotermák és az izobár vonalak egybeesnek. Tehát a gőzoldali hőmérséklet T_2. Ha szilárdsági okok miatt a fal hőmérséklete nem emelkedhet, akkor a tűztér oldali hőmérséklet az eredeti T_1.

A $\dot{q}_c$ hőáramsűrűség azonos a kazánfalban és a vízkőrétegben:

$$\dot{q}_c = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(T_1 - T_2'') = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(T_2'' - T_2) \tag{5.7}$$

Kifejezve a két hőmérsékletkülönbséget, és összeadva a két egyenletet:

$$\left.\begin{aligned} \dot{q}_c\frac{\delta_1}{\lambda_1} &= (T_1 - T_2'') \\ \dot{q}_c\frac{\delta_2}{\lambda_2} &= (T_2'' - T_2) \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad \dot{q}_c\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}\right) = (T_1 - T_2) \quad \Rightarrow \quad \dot{q}_c = 173{,}78\,\frac{\mathrm{kW}}{\mathrm{m}^2} \tag{5.8}$$

A fenti két egyenletet kétismeretlenes egyenletrendszernek is tekinthetjük, ahol a hőáramsűrűség mellett a másik ismeretlen a T_2'' falhőmérséklet. A hőáramsűrűséget visszahelyettesítve megkaphatjuk az értékét:

$$T_2'' = T_1 - \dot{q}_c\frac{\delta_1}{\lambda_1} = 330{,}34\,^\circ\mathrm{C} \tag{5.9}$$

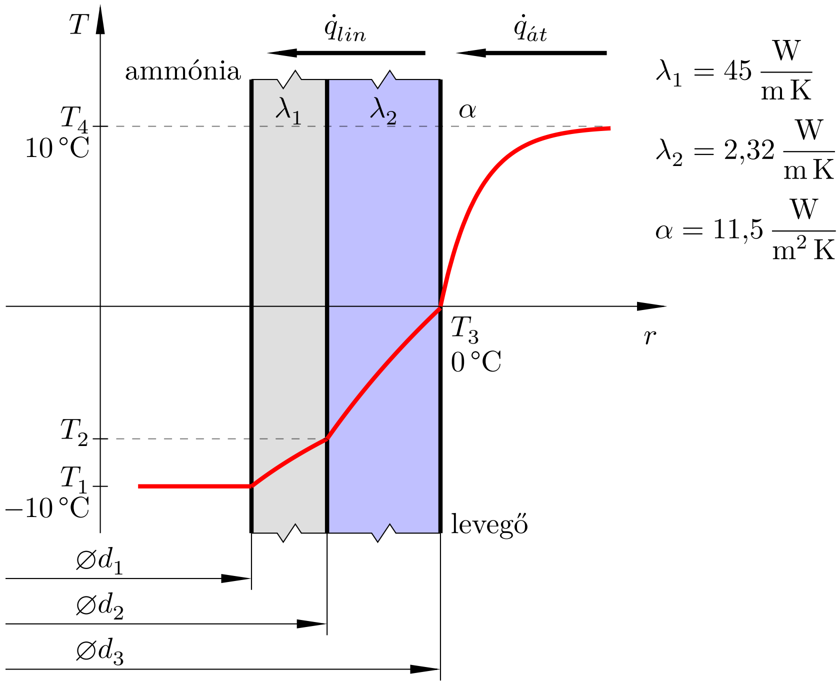
K5/2. feladat: Szénacél csőre kifagyó jégréteg

Név	Szalay István
Szak	
Félév	2019/2020 II. (tavaszi) félév

Egy NÁ125-ös szénacél csőben (a külső átmérő $d_2 = 133\,\text{mm}$, a belső átmérő $d_1 = 125\,\text{mm}$, a falvastagság $s = 4\,\text{mm}$) ammóniát szállítanak, amelynek nyomása $p = 2{,}9\,\text{bar}$, hőmérséklete $T_1 = -10\,°\text{C}$.

A környezet levegője ($T_4 = 10\,°\text{C}$) melegíti a csövet, ammónia forrásban van a cső belsejében, így belülről hőelvonás van, és a cső hideg külső felületére kifagy a levegő nedvességtartalma. A kifagyott jégréteg szigetelőként működik, beáll az egyensúlyi állapot.

Meghatározandó a csőre fagyott jégréteg külső d_3 átmérője! A jégréteg felületének hőmérséklete $T_3 = 0\,°\text{C}$ (olvadó jég), a csőfal belső hőmérséklete pedig a forrásban lévő ammónia jó hőátadási tényezője miatt $T_1 = -10\,°\text{C}$-nak vehető (a hőátadás termikus ellenállása elhanyagolható).



5.2. ábra. A hőmérséklet-hely függvény **nem méretarányos** vázlata.

Vizsgálat többrétegű hengeres falként

A csőfal és a rárakódó jégréteg hengeres alakú, ezért lineáris a hőáramsűrűségeket tudjuk felírni. A csőfalban és a jégrétegben állandósult a hőmérsékleteloszlás és csak hővezetés történik. A hengeres falakra a $\dot{q}_{lin}$ **vezetéses** lineáris hőáramsűrűség vonatkozik.

$$\dot{q}_{lin} = \frac{T_3 - T_1}{\frac{\ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi\lambda_1} + \frac{\ln \frac{d_3}{d_2}}{2\pi\lambda_2}} \tag{5.10}$$

A levegőből a jégrétegbe **átadódó** $\dot{q}_{át}$ lineáris hőáramsűrűség:

$$\dot{q}_{át} = \alpha d_3 \pi (T_4 - T_3) \tag{5.11}$$

A két lineáris hőáramsűrűséget az ábrán úgy vettük fel, hogy a hőmérsékletcsökkenés irányába pozitívak, ezért a felírásuknál a nagyobb hőmérsékletből vonjuk ki a kisebbet.

Az energiamegmaradás miatt a két lineáris hőáramsűrűség egyenlő:

$$\dot{q}_{lin} = \dot{q}_{át} = \dot{q} \tag{5.12}$$

A fentiekből az alábbi kétismeretlenes egyenletrendszert kapjuk, amiben a jégréteg d_3 átmérője a a $\dot{q}$ lineáris hőáramsűrűség az ismeretlenek. Az egyenletrendszer nem lineáris, átrendezéssel nem oldható meg (transzcendens), csak numerikus közelítő megoldása lehetséges:

$$\left.\begin{aligned} \dot{q} &= \frac{T_3 - T_1}{\dfrac{\ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi\lambda_1} + \dfrac{\ln \frac{d_3}{d_2}}{2\pi\lambda_2}} \\ \dot{q} &= \alpha d_3 \pi (T_4 - T_3) \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad \left\{\begin{aligned} &\dot{q} \approx 137{,}873\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}} \\ &d_3 \approx 381{,}6\,\mathrm{mm} \end{aligned}\right. \tag{5.13}$$

Innen a jégréteg vastagsága $\dfrac{1}{2}(d_3 - d_2) = 124{,}3\,\mathrm{mm}$.

A méretarányos ábra és a hőmérséklet hely függvény

A lineáris hőáramsűrűség és a jég külső átmérőjének numerikus közelítő megoldását felhasználva megrajzolható méretarányosan a $T(r)$ hőmérséklet-hely függvény. A hőmérséklet a d_1 átmérőn belül állandó T_1 érték. A csőfalban és a jégrétegben $T(r) = T_0 + \dfrac{\dot{q}}{2\pi\lambda} \ln \dfrac{r}{r_0}$ alakban írható fel, ahol a T_0 a belső r_0 sugárhoz tartozó hőmérséklet.

A csőfal esetén $T_0 = T_1$ és $r_0 = \dfrac{d_1}{2}$:

$$T(r) = T_1 + \frac{\dot{q}}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{2r}{d_1} \tag{5.14}$$

Innen megkaphatjuk a csőfal és a jégréteg határfelületének hőmértékletét, T_2-t:

$$T_2 = T\left(\frac{d_2}{2}\right) = T_1 + \frac{\dot{q}}{2\pi\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} = -9{,}96\,{}^\circ\mathrm{C} \tag{5.15}$$

A jégréteg esetén $T_0 = T_2$ és $r_0 = \dfrac{d_2}{2}$:

$$T(r) = T_2 + \frac{\dot{q}}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{2r}{d_2} \tag{5.16}$$

Vizsgálat többrétegű síkfalként

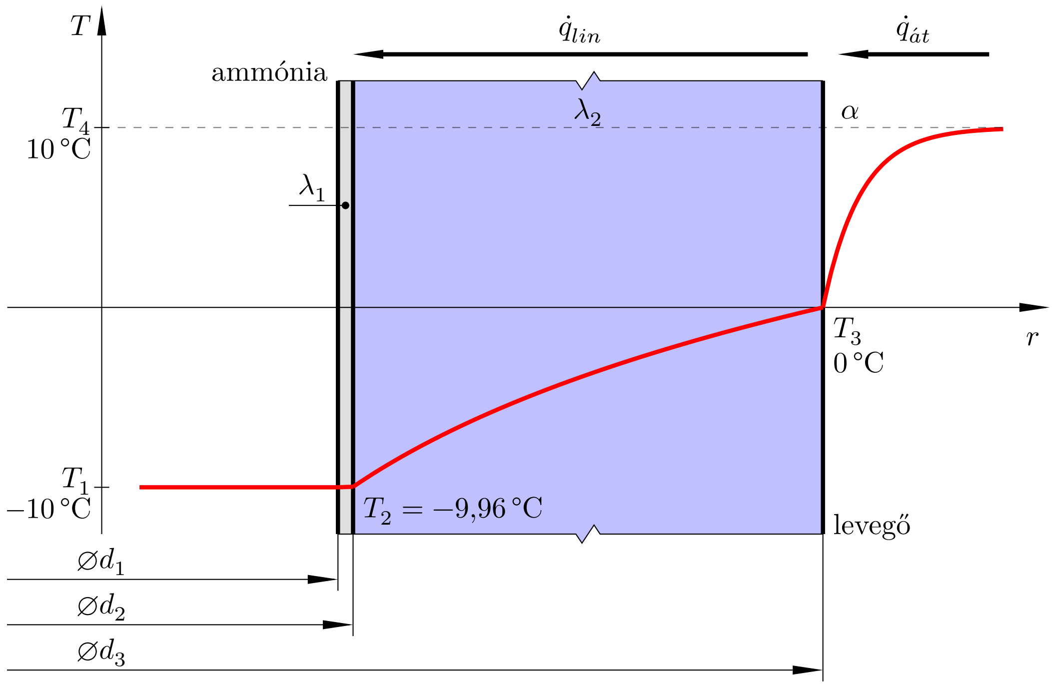
A hengeres falon keresztül történő hőterjedés mindig közelíthető a hengeres fal kiterítésével kapott síkfalon át történő hőterjedéssel. A közelítés hibája a a hengeres fal vastagságától függ, minél vékonyabb, annál kisebb a síkfallal történő közelítés hibája.

A többrétegű hengeres falat többrétegű síkfallal közelíthetjük. A közelítő síkfal vastagsága és hossza megegyezik a hengeres réteg vastagságával és hosszával, a szélessége a hengeres réteg közepes átmérőjéhez tartozó kerülettel közelíthető:

$$\left.\begin{aligned} \dot{q}_{lin} &= \frac{\lambda_1}{\frac{d_2 - d_1}{2}} \frac{d_1 + d_2}{2} \pi (T_2 - T_1) \\ \dot{q}_{lin} &= \frac{\lambda_2}{\frac{d_3 - d_2}{2}} \frac{d_2 + d_3}{2} \pi (T_3 - T_2) \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad \dot{q}_{lin} = \frac{T_3 - T_1}{\dfrac{d_2 - d_1}{\lambda_1 (d_1 + d_2)\pi} + \dfrac{d_3 - d_2}{\lambda_2 (d_2 + d_3)\pi}} \tag{5.17}$$

A falbeli lineáris hőáram és a hőátadást jellemző lineáris hőáram most is egyenlő.

$$\dot{q}_{lin} = \frac{T_3 - T_1}{\dfrac{d_2 - d_1}{\lambda_1 (d_1 + d_2)\cancel{\pi}} + \dfrac{d_3 - d_2}{\lambda_2 (d_2 + d_3)\cancel{\pi}}} = \alpha d_3 \cancel{\pi} (T_4 - T_3) = \dot{q}_{át} \tag{5.18}$$



5.3. ábra. A hőmérséklet-hely függvény méretarányosan ábrázolva.

Egyszerűsítve, és kifejezve a hőmérsékletkülönbségek hányadosát:

$$\underbrace{\frac{T_3 - T_1}{T_4 - T_3}}_{\substack{T\\ \text{állandó}}} = \underbrace{\frac{(d_2 - d_1)\,\alpha}{\lambda_1\,(d_1 + d_2)}}_{\substack{C\\ \text{állandó}}} d_3 + \frac{(d_3 - d_2)\,\alpha d_3}{\lambda_2\,(d_2 + d_3)} \tag{5.19}$$

Vezessük be a T és C állandókat, hogy gyorsabb és átláthatóbb legyen az egyenlet átrendezése:

$$T = C d_3 + \frac{(d_3 - d_2)\,\alpha d_3}{\lambda_2\,(d_2 + d_3)} \tag{5.20}$$

Megszüntetve a törtet d_3-ra másodfokú egyenletet kapunk:

$$T\lambda_2\,(d_2 + d_3) = C d_3 \lambda_2\,(d_2 + d_3) + (d_3 - d_2)\,\alpha d_3 \tag{5.21}$$

$$0\,\mathrm{W} = (C\lambda_2 + \alpha)\,d_3^2 + (C\lambda_2 d_2 - d_2\alpha - T\lambda_2)\,d_3 - T\lambda_2 d_2 \tag{5.22}$$

Innen a d_3 közelítő értéke:

$$d_{3,1} = 0{,}4008\,\mathrm{m}, \qquad \underbrace{\left(d_{3,2} = -0{,}0668\,\mathrm{m}\right)}_{\substack{\text{a másodfokú egyenletnek megoldása,}\\ \text{de a fizikai problémának nem}}} \tag{5.23}$$

A d_3 közelítő megoldással nyert értéke tehát 400,8 mm. A nemlineáris egyenlet közelítő numerikus megoldásától ez 5 %-kal tér el.

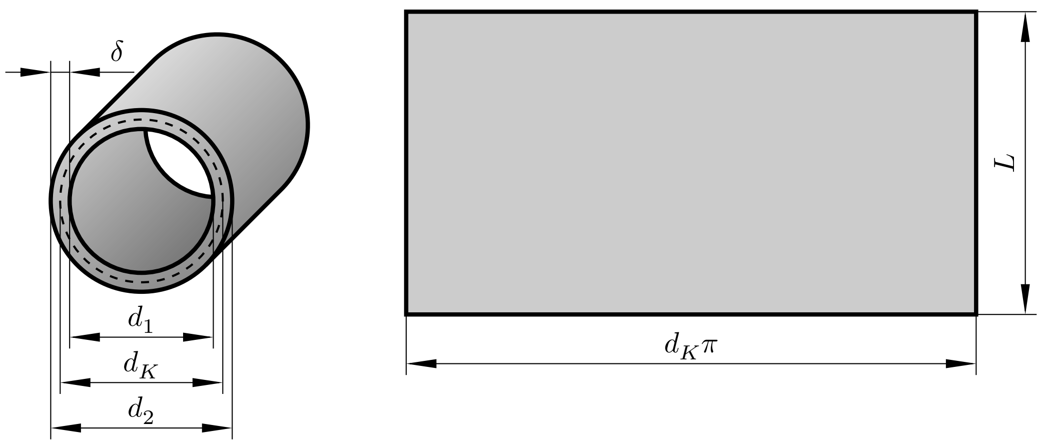
K5/4. feladat: Hengeres fal közelítése síkfallal

Név	Szalay István
Szak	
Félév	2019/2020 II. (tavaszi) félév

Gyakorlati számítások során szokás a hengeres falon vezetéssel átjutó hőáramot közelítő módon síkfalra vonatkozó összefüggésekkel számolni. Határozza meg egy hengeres fal külső d_2 és belső d_1 átmérőjének hányadosa függvényében, hogy a lineáris hőáramsűrűség számításakor hány %-os hibát vétünk az alábbi közelítő összefüggéseket használva:

$$\dot{q}_{lin} = \frac{\lambda}{\delta} d_K \pi \left(T_1 - T_2\right), \quad \delta = \frac{d_2 - d_1}{2}, \quad \text{és} \quad d_K = \frac{d_1 + d_2}{2} \tag{5.24}$$

ahol δ a falvastagság és d_K a közepes átmérő.



5.4. ábra. Hengeres fal kiterítése és közelítése síkfallal.

A hőáramra vonatkozó valós és a közelítő összefüggés:

$$\dot{Q}_{valós} = \frac{2\pi\lambda L}{\ln\frac{d_2}{d_1}} \left(T_1 - T_2\right) \quad \text{és} \quad \dot{Q}_{közelítő} = \frac{2\lambda}{d_2 - d_1} \frac{d_1 + d_2}{2} \pi L \left(T_1 - T_2\right) \tag{5.25}$$

A vizsgálatot a $\varphi = \dfrac{d_2}{d_1} \in [1, 3]$ intervallumban, 0,5-es lépésekben végezzük el. A vizsgálat az ε relatív hiba értékének kiszámítását jelenti a φ átmérőhányados különböző értékei mellett. A relatív hiba, behelyettesítve a hőáramokat:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{valós} - \dot{Q}_{közelítő}}{\dot{Q}_{valós}} = 1 - \frac{\dot{Q}_{közelítő}}{\dot{Q}_{valós}} = 1 - \frac{\dfrac{\cancel{2}\cancel{\lambda}}{d_2 - d_1} \dfrac{d_1 + d_2}{2} \cancel{\pi} \cancel{L} \cancel{\left(T_1 - T_2\right)}}{\dfrac{\cancel{2}\cancel{\pi}\cancel{\lambda}\cancel{L}}{\ln\frac{d_2}{d_1}} \cancel{\left(T_1 - T_2\right)}} \tag{5.26}$$

Kifejezve d_2-t φd_1 alakban:

$$\varepsilon = 1 - \frac{d_1 + d_2}{d_2 - d_1} \frac{1}{2} \ln\frac{d_2}{d_1} = 1 - \frac{d_1 + \varphi d_1}{\varphi d_1 - d_1} \frac{1}{2} \ln\varphi = 1 - \frac{1 + \varphi}{\varphi - 1} \frac{1}{2} \ln\varphi \tag{5.27}$$

A relatív hiba értékei a vizsgált intervallumban:

φ	1	1,5	2	2,5	3
$\varepsilon(\varphi)$	$\lim\limits_{\varphi \to 1+} \varepsilon(\varphi) = 0$	0,0134	0,0382	0,0645	0,0897

6. fejezet

Hőterjedés áramló közegben

K6/1. feladat: Ellenáramú hőcserélő számítása

Név	Szalay István
Szak	
Félév	2019/2020 II. (tavaszi) félév

Egy ellenáramú hőcserélőnél veszteségmentes hőcserét feltételezve a következő adatokat ismerjük: a közegek kezdeti hőmérsékletei $T_{1k} = 140\,°\mathrm{C}$ és $T_{2k} = 15\,°\mathrm{C}$, a két közeg konvektív vízértéke egyenlő $\dot{w} = \dot{w}_1 = \dot{w}_2 = 58\,000\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{K}}$, a hőátszármaztatási tényező $\kappa = 220\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\,K}}$, a teljes hőátadó felület $A_{\ddot{O}} = 100\,\mathrm{m}^2$.

a) A véghőmérsékletek meghatározása

A hőcserélőben történő hőterjedést a következő hőáramokkal jellemezhetjük:

- Az ①-es közeg belépő hőszállításos hőárama $\dot{w}_1 T_{1k}$, a kilépő hőszállításos hőáram $\dot{w}_1 T_{1v}$, a kettő különbsége az ①-es közeg által **leadott** $\Delta\dot{Q}_1 = \dot{w}_1\left(T_{1v} - T_{1k}\right)$; negatív, mert az ①-es közeg hőmérséklete csökken.
- Az átszármaztatott hőáram $\Delta\dot{Q}_{átsz} = \kappa A_{\ddot{O}} \Delta T_{köz,ln}$, értéke pozitív, a számításánál figyelembe kell venni, hogy a $\dot{w}_1 = \dot{w}_2$ egyenlőség miatt a két közeg közötti hőmérsékletkülönbség állandó $\Delta T = \Delta T_N = \Delta T_K$, és ezzel egyenlő a logaritmikus közepes hőmérsékletkülönbség is.

$$\dot{w}_1 = \dot{w}_2 \quad \Rightarrow \quad \Delta T_{köz,ln} = \lim_{\Delta T_N \to \Delta T_K} \frac{\Delta T_N - \Delta T_K}{\ln \frac{\Delta T_N}{\Delta T_K}} = \Delta T_N = \Delta T_K = \Delta T \tag{6.1}$$

  A ΔT hőmérsékletkülönbség felírható a megfelelő vég- és kezdeti hőmérsékletek különbségeként, például $\Delta T = T_{1v} - T_{2k}$.

- A ②-es közeg belépő hőszállításos hőárama $\dot{w}_2 T_{2k}$, a kilépő hőszállításos hőáram $\dot{w}_2 T_{2v}$, a kettő különbsége a ②-es közeg által **felvett** $\Delta\dot{Q}_2 = \dot{w}_2\left(T_{2v} - T_{2k}\right)$; pozitív, mert a ②-es közeg hőmérséklete növekszik.

A három hőáram az energiamegmaradás miatt egyenlő, ez alapján a két ismeretlen véghőmérsékletre egy kétismeretlenes egyenletrendszert tudunk felírni (behelyettesítve ΔT-t és a közös $\dot{w}$-t):

$$-\Delta\dot{Q}_1 = \Delta\dot{Q}_{átsz} = \Delta\dot{Q}_2 \quad \Rightarrow \quad \left.\begin{array}{l} I. \; -\dot{w}\left(T_{1v} - T_{1k}\right) = \kappa A_{\ddot{O}}\left(T_{1v} - T_{2k}\right) \\ \\ II. \; -\dot{w}\left(T_{1v} - T_{1k}\right) = \dot{w}\left(T_{2v} - T_{2k}\right) \end{array}\right\} \tag{6.2}$$

Az egyenletrendszer lineáris, a véghőmérsékletek átrendezéssel kifejezhetők:

$$T_{1v} = \frac{\kappa A_{\ddot{O}} T_{2k} + \dot{w} T_{1k}}{\kappa A_{\ddot{O}} + \dot{w}} = 105{,}625\,°\mathrm{C} \tag{6.3}$$

$$\boxed{T_{2v}} = T_{2k} + T_{1k} - T_{1v} = 49{,}375\,°\mathrm{C} \tag{6.4}$$

b) Mekkora kellene legyen a hőátszármaztatási tényező, hogy a két véghőmérséklet egyenlő legyen?

A feltétel egyenlet alakban $T_{1v} = T_{2v}$. Mivel a konvektív vízértékek továbbra is egyenlők, a $T\,(A)$ hőmérséklet-hely függvények lineárisak és azonos meredekségűek, ezért a két véghőmérséklet úgy lehet egyenlő, ha a kezdeti hőmérsékletek átlagával is egyenlők:

$$T_{1v} = T_{2v} = \frac{T_{1k} + T_{2k}}{2} = 77{,}5\,°\mathrm{C} \tag{6.5}$$

A módosított κ^* hőátszármaztatási tényező az átszármaztatott és az egyik szállításos hőáram egyenlőségéből kifejezhető:

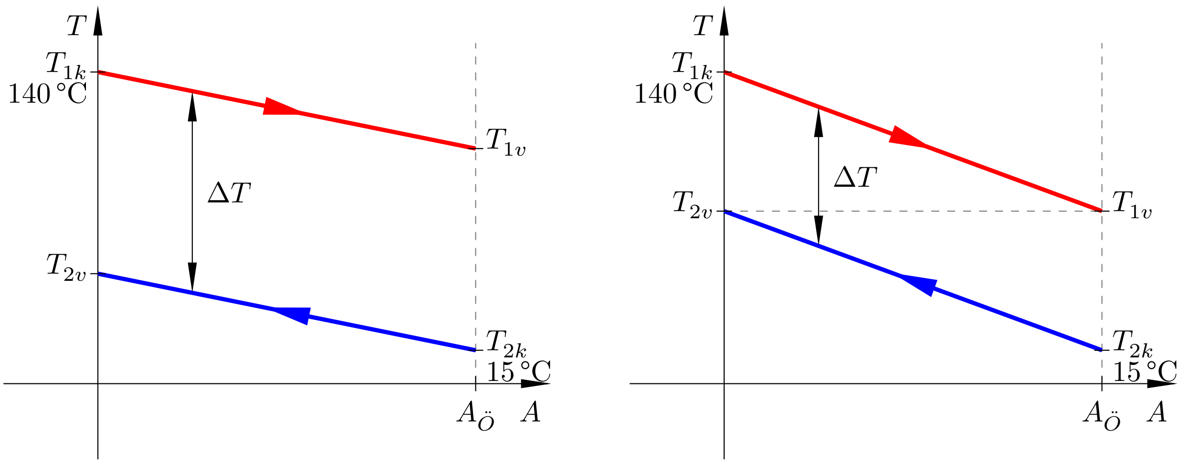
$$-\Delta\dot{Q}_1 = \Delta\dot{Q}_{átsz} \quad \Rightarrow \quad -\dot{w}\,(T_{1v} - T_{1k}) = \boxed{\kappa^*} A_{Ö}\,(T_{1v} - T_{2k}) \tag{6.6}$$

Kifejezve a hőátszármaztatási tényező:

$$\boxed{\kappa^*} = \frac{\dot{w}\,(T_{1k} - T_{1v})}{A_{Ö}\,(T_{1v} - T_{2k})} = \frac{\dot{w}\Delta T}{A_{Ö}\Delta T} = \frac{\dot{w}}{A_{Ö}} = 580\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2\,K}} \tag{6.7}$$

c) A léptékhelyes hőmérséklet-hely függvények

Hőcserélőknél a hőmérséklet-hely függvény a $T(A)$ függvény, amit közegenként különböző, és a helyet az A érintett hőátadó felület jelenti. Az a) és b) részben a konvektív vízértékek egyenlők, ezért lineárisak a $T(A)$ függvények.



(a) A hőmérséklet-hely függvények az a) esetben. (b) A hőmérséklet-hely függvények a b) esetben.

A kézzel történő feladatmegoldást gyakran lehet az ábrák közelítő felrajzolásával kezdeni, azonban az görbék jelleghelyes rajzolása általában csak a számítások elvégzése után lehetséges.

[11pt, a4paper]report
[utf8]inputenc [magyar]babel
fontspec
[left=2cm, right=2cm, top=2cm, bottom=2cm]geometry
amsmath amssymb
yfonts
booktabs tabto tabu
[framemethod=tikz]mdframed
float xifthen
icomma
[toc,titletoc,page]appendix
commath
[math-style=TeX]unicode-math
siunitx
[makeroom]cancel
[justification=centering]caption subcaption
[colorlinks=false]hyperref
nameref
pifont
xcolor
accents
pdflscape
setspace
enumitem
csquotes [backend=biber, url=false, citestyle=numeric,bibstyle=numeric,giveninits=true, clearlang=true, bibencoding=auto, sorting=none]biblatex
tr tr
tg tgsgnsgnarctg$arctg$arctg2$arctg2$

K6/3. feladat: Hőátadási tényező számítása

Szerző	Hadabás Márk István TV3AA4
Szak	Vegyészmérnöki
Félév	2019/2020 II. (tavaszi) félév

15 °C-os víz áramlik a d=0,015m átmérőjű, L=0,5 m hosszú csőben. A közepes áramlási sebesség w=0,1 m/s. A cső belső falának hőmérséklete t_w =50 °C. Számítsa ki a hőátadási tényező értéket!

Hausensen képlet:

$$Nu = \left[3,65 + \frac{0,19\left(Re \cdot Pr \cdot \frac{d}{L}\right)^{0,8}}{1 + 0,117\left(Re \cdot Pr \cdot \frac{d}{L}\right)^{0,467}}\right] \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_w}\right)^{0,11}$$

Érvényes, ha $Re < 2320$ és 0,1 $< Re \cdot Pr \cdot \frac{d}{L}$; (di=belső átmérő) folyadékra.

Ismert jellemzők a kezdeti állapotban

$$T = 15\,°\mathrm{C}, \quad d = 0{,}015\,\mathrm{m}, \quad L = 0{,}5\,\mathrm{m}, \quad w = 0{,}1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}, \quad t_w = 50\,°\mathrm{C},$$

$$\lambda = 0{,}595\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m\,K}}, \quad \nu = 1{,}1510\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}, \quad Pr_{15} = 8,11, \quad Pr_{50} = 3,54,$$

Dimenzió mentes számok számítása

A Re és a Nu szám számítása a megadott adatok alapján.

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{0{,}1\,\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot 0{,}015\,\mathrm{m}}{1{,}1510\,\dfrac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}} = 1304,35 \tag{6.8}$$

$$Nu = \left[3,65 + \frac{0,19 \cdot \left(1304,35 \cdot 8,11 \cdot \frac{0{,}015}{0{,}5}\right)^{0{,}8}}{1 + 0,0117 \left(1304,35 \cdot 8,11 \cdot \frac{0{,}015}{0{,}5}\right)^{0{,}467}} \right] \cdot \left(\frac{8,11}{3,54}\right)^{0{,}11} = 11,66 \tag{6.9}$$

Hőátadási tényező számítása

$$\alpha = Nu \cdot \frac{\lambda}{d} = 11,66 \cdot \frac{0{,}595\,\dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m\,K}}}{0{,}015\,\mathrm{m}} = 462{,}51\,\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2\,\mathrm{K}} \tag{6.10}$$