

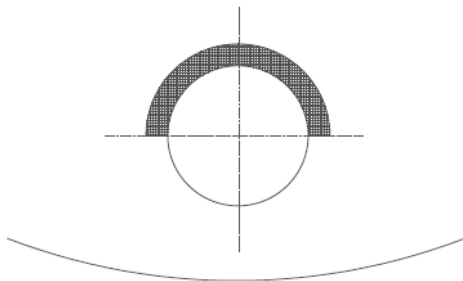
Házi feladat (9)

9.1 feladat: Hőátadás napkollektorban

Egy parabolavályús naphőerőmű napkollektora az ábrán látható elrendezésű, ahol egy hosszú, parabola keresztmetszetű vályúra beérkező napsugárzás onnan visszaverődve felmelegíti a vályú keresztmetszeti fókuszpontjára merőleges tengellyel rendelkező, abszorber felülettel ellátott csővezetékben áramló folyadékot. A hőveszteség csökkentése érdekében a csővezeték felső felületét az ábrán látható módon hőszigeteléssel látták el. Feltételezzük, hogy egy átlagos napsütéses napon a cső külső felületére jellemző felületi hőáram-sűrűség 2000 W/m^2 , mely nagyjából egyenletes felületi fűtést biztosít. Tudjuk továbbá, hogy a csővezeték belső átmérője 60 mm , a benne áramló folyadék tömegárama $0,01 \text{ kg/s}$ és a belépő folyadék hőmérséklete 20°C .

- a) Milyen hosszú csővezeték szükséges ahhoz, hogy a kilépő folyadék hőmérséklete 80°C legyen?
- b) Mekkora a kilépésnél a cső felületének hőmérséklete?

Feltételezzük továbbá, hogy a csővezeték falvastagsága nagyon kicsi (külső és belső felületének a hőmérséklete gyakorlatilag megegyezik).



További adatok az áramló folyadékra vonatkozóan:

$$\begin{aligned}c_p &= 4181 \text{ J/(kgK)} \\ \lambda &= 0,670 \text{ W/(mK)} \\ \mu &= 352 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2 \\ \text{Pr} &= 2,2\end{aligned}$$

9.2 feladat: Hőátadás kéményben

Egy szigetetlen fém kéménycsőben forró levegő áramlik, melynek tömegárama $0,05 \text{ kg/s}$, belépő hőmérséklete pedig 103°C . A kémény vízszintes fekvésű, hossza 5 m , belső átmérője pedig $0,15 \text{ m}$. Tudjuk, hogy a kéménycsővet körülvevő közeg hőmérséklete 0°C , míg a kilépésnél a levegő 77°C -ra hűl. A kéménycső külső felülete és a csövet körülvevő levegő közötti hőátadási tényező értéke $6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

- a) Számolja ki a hőveszteséget a kéménycső teljes hossza mentén!

b) Mekkora a felületi hőáram-sűrűség és a cső felületének a hőmérséklete a kilépésnél, ha a csőfal vastagsága elhanyagolhatóan kicsi? Figyelem, a hűlés miatt a felületi hőáram-sűrűség a teljes hossz mentén változik!

További adatok a csőben áramló levegőre vonatkozóan:

$$c_p = 1010 \text{ J/(kgK)}$$

$$\lambda = 0,03 \text{ W/(mK)}$$

$$\mu = 208 \cdot 10^{-7} \text{ Ns/m}^2$$

$$\text{Pr} = 0,7$$

9.3 feladat: Turbulens filmkondenzáció függőleges cső mentén

Egy 1 m hosszú és 80 mm külső átmérőjű, függőleges cső mellett környezeti nyomáson telített gőz áramlik 0,64 m/s-os sebességgel. A cső külső felületét a benne áramló hideg víz 50°C, állandó hőmérsékleten tartja. Mennyi a hőáramlás a két közeg között és mennyi a kondenzáció sebessége, vagyis a kondenzálódó telített gőz tömegárama? Számítsuk ki a folyadékréteg vastagságát a hengeres fal alján! Feltételezzük, hogy a kondenzátum rétegvastagsága a henger átmérőjéhez képest sokkal kisebb, ezért alkalmazhatóak a függőleges falon történő kondenzáció esetében használatos összefüggések.

Adatok:

Telített gőz ($p=1,0133 \text{ bar}$):

$$T_{\text{sat}}=100^\circ\text{C}$$

$$\rho=0,596 \text{ kg/m}^3$$

$$r_{fg}=2257 \text{ kJ/kg}$$

Telített víz (75°C):

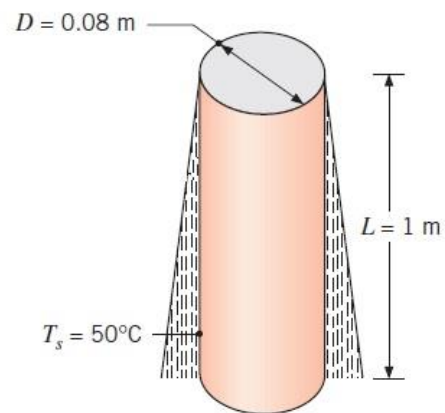
$$\rho = 975 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu=375 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

$$\lambda_f=0,668 \text{ W/(mK)}$$

$$r_{fg}=2257 \text{ kJ/kg}$$

$$c_p=4193 \text{ J/(kgK)}$$



Segítség:

A módosult fajlagos forráshő számítására vonatkozó összefüggés:

$$r'_{fg} = r_{fg} (1 + 0,68 \cdot Ja) ,$$

ahol Ja a Jakob-szám, mely definíció szerint:

$$Ja = \frac{c_{p,l}(T_{sat} - T_s)}{r_{fg}}$$

A Reynolds-szám az alábbi összefüggés alapján számítható:

$$Re_{lok} = \frac{4\rho_l w_v \delta(x)}{\mu_l},$$

ahol

$$\delta(x) = \left(\frac{4\lambda_l \mu_l (T_{sat} - T_s) x}{g\rho_l (\rho_l - \rho_v) r_{fg}} \right)^{1/4}.$$

Ebből

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{\alpha}_L (v_l^2/g)^{1/3}}{\lambda_l} = \begin{cases} 1,47\overline{Re}^{-1/3}, & \overline{Re} \leq 30 \\ \frac{1,08 \cdot \overline{Re}^{1,22} - 5,2}{\overline{Re}}, & 30 \leq \overline{Re} \leq 1800 \\ \frac{8750 + 58Pr_l^{-0,5} \cdot (\overline{Re}^{0,75} - 253)}{\overline{Re}}, & \overline{Re} > 1800; Pr_l \geq 1 \end{cases}.$$

Ha a Re-szám kiszámítása nélkül szeretnénk a Nusselt-számot meghatározni, csupán anyagi paraméterek segítségével, akkor az alábbiak szerint járhatunk el:

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{\alpha}_L (v_l^2/g)^{1/3}}{\lambda_l} = \begin{cases} 0,943P^{-1/4}, & P \leq 15,8 \\ \frac{1}{P} (0,68P + 0,89)^{0,82}, & 15,8 \leq P \leq 2530 \\ \frac{1}{P} [(0,024P - 53)Pr_l^{1/2} + 89]^{4/3}, & P > 2530; Pr_l \geq 1 \end{cases},$$

ahol P meghatározásával választunk a lamináris sima, lamináris hullámos és turbulens áramlásra vonatkozó összefüggések közül:

$$P = \frac{\lambda_l L (T_{sat} - T_s)}{\mu_l r'_{fg} (v_l^2/g)^{1/3}},$$

melyből a hőátadási tényező értéke megadható:

$$\bar{\alpha}_L = \frac{\overline{Nu}_L \lambda_l}{(v_l^2/g)^{1/3}}.$$

9.4 feladat: Hőátadás buborékos forrás során

Egy alulról elektromosan fűtött, 0,3 m átmérőjű rézedényben vizet melegítünk. Az edény alja sima felületű és 118°C-os, állandó hőmérsékletű. Becsüljük meg a víz felforralásához szükséges hőteljesítményt, az elgőzölgés tömegáramát, a kritikus hőfluxust és a DNBR-t! Stacioner állapotot vizsgálunk, feltesszük, hogy a melegített víz 1,01 bar környezeti nyomású levegővel érintkezik, továbbá elhanyagoljuk az elektromos főzőlapnak a környezetbe történő hő leadása következtében fellépő hőveszteségét.

Adatok:

Telített víz (100°C):

$$\rho_l = 957,9 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{p,l} = 4217 \text{ J/(kgK)}$$

$$\mu_l = 297 \times 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

$$Pr_l = 1,76$$

$$r_{fg} = 2257 \text{ kJ/kg (fajlagos forráshő)}$$

$$\sigma = 58,9 \times 10^{-3} \text{ N/m}$$

Telített gőz (100°C):

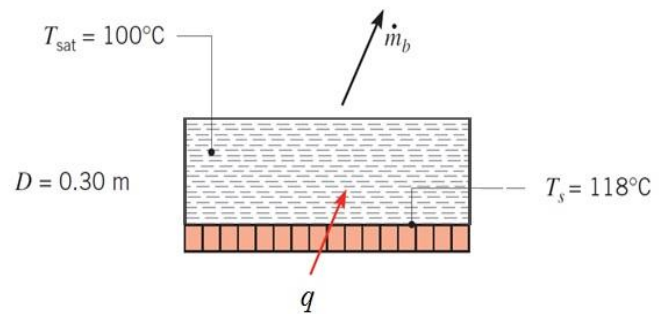
$$\rho_v = 0,5956 \text{ kg/m}^3$$

Segítség:

Térfogati (buborékos) forrás az alábbi, empirikus képlet alapján meghatározható felületi hőfluxus esetén alakul ki:

$$q_s'' = \mu_l r_{fg} \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{1/2} \left(\frac{c_{p,l} \Delta T_e}{C_{s,f} r_{fg} Pr_l^n} \right)^3,$$

ahol $C_{s,f} = 0,0128$ és $n = 1,0$ sima felületű rézedényben melegített víz esetére vonatkozó állandók, melyek értéke az alább mellékelt táblázatból kiolvasható.



| Surface–Fluid Combination | $C_{s,f}$ | n |
|---------------------------|-----------|-----|
| Water–copper | | |
| Scored | 0.0068 | 1.0 |
| Polished | 0.0128 | 1.0 |
| Water–stainless steel | | |
| Chemically etched | 0.0133 | 1.0 |
| Mechanically polished | 0.0132 | 1.0 |
| Ground and polished | 0.0080 | 1.0 |
| Water–brass | 0.0060 | 1.0 |
| Water–nickel | 0.006 | 1.0 |
| Water–platinum | 0.0130 | 1.0 |
| <i>n</i> -Pentane–copper | | |
| Polished | 0.0154 | 1.7 |
| Lapped | 0.0049 | 1.7 |
| Benzene–chromium | 0.0101 | 1.7 |
| Ethyl alcohol–chromium | 0.0027 | 1.7 |

A kritikus hőfluxus edényben történő buborékos forrás esetén az alábbi, empirikus képlettel adható meg:

$$q''_{max} = 0,149 r_{fg} \rho_v \left[\frac{\sigma g (\rho_l - \rho_v)}{\rho_v^2} \right]^{1/4} .$$