

Primer 1: Toplotne izgube s prevajanjem in konvekcijo:

Stena hiše je sestavljena iz debelega opečnega zidu 0.3 m in 0.1 m izolacije.

- Ocenite toplotno prehodnost med zunanjim in notranjim zrakom, ki kroži v prostoru
- Oceni toplotne izgube na m² hiše če je zunanja temperatura -20°C in notranja 20°C.
- Kolikšna je potrebna moč peči za centralno kurjavo, ki mora vzdrževati 20°C v hiši, če je zunanja temp. -20. Vse zidne površine hiše merijo 300 m², izgube preko oken pa znašajo 20% izgub preko zidov.
- Izračunaj porazdelitev temperature v sestavljeni steni.

Podatki: λ_1 (opeke) = 0.6 W/m²K, λ_2 (izolacije) = 0.2 W/m²K, $h_z = h_n = 20$ W/m²K

$$q = \frac{(T_{\text{top}} - T_{\text{hlad.}}) \cdot A}{\left(\frac{1}{h_{\text{top}}} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_{\text{hlad.}}} \right)}$$

1. Toplotna prehodnost:
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_n} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_z}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{20} + \frac{0.3}{0.6} + \frac{0.1}{0.2} + \frac{1}{20} = 1.1 \quad U = 1/1.1 = 0.909 \text{ W/m}^2\text{K}$$

2. Toplotne izgube:

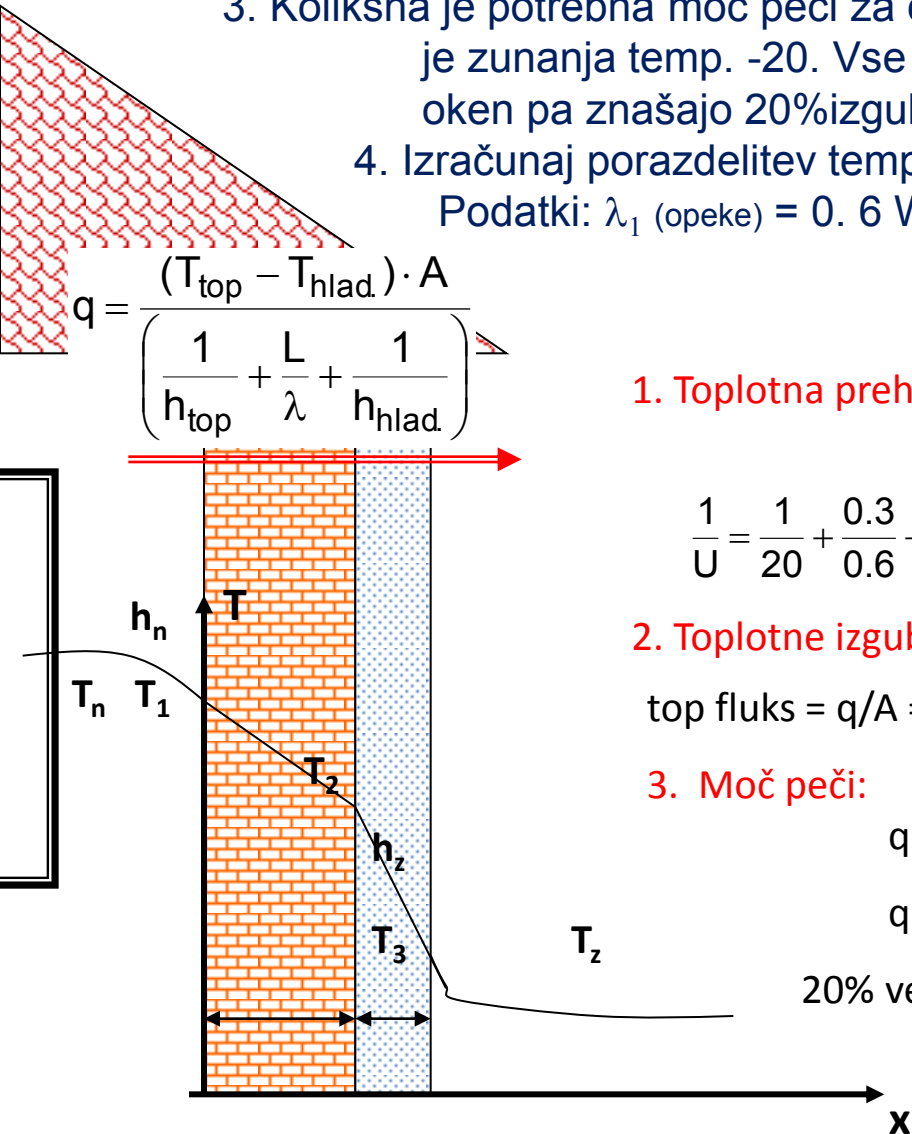
$$\text{top fluks} = q/A = U \cdot (T_z - T_n) = 0.909 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot (20 - (-20)) = 36.36 \text{ W/m}^2$$

3. Moč peči:

$$q = U \cdot A (T_{\text{top.}} - T_{\text{hlad.}})$$

$$q = 0.909 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 300 \text{ m}^2 \cdot (20 - (-20))\text{K} = 10908 \text{ W}$$

$$20\% \text{ več izgub zaradi oken: } 10908 \text{ W} \cdot 1.2 = 13089.6 \text{ W}$$

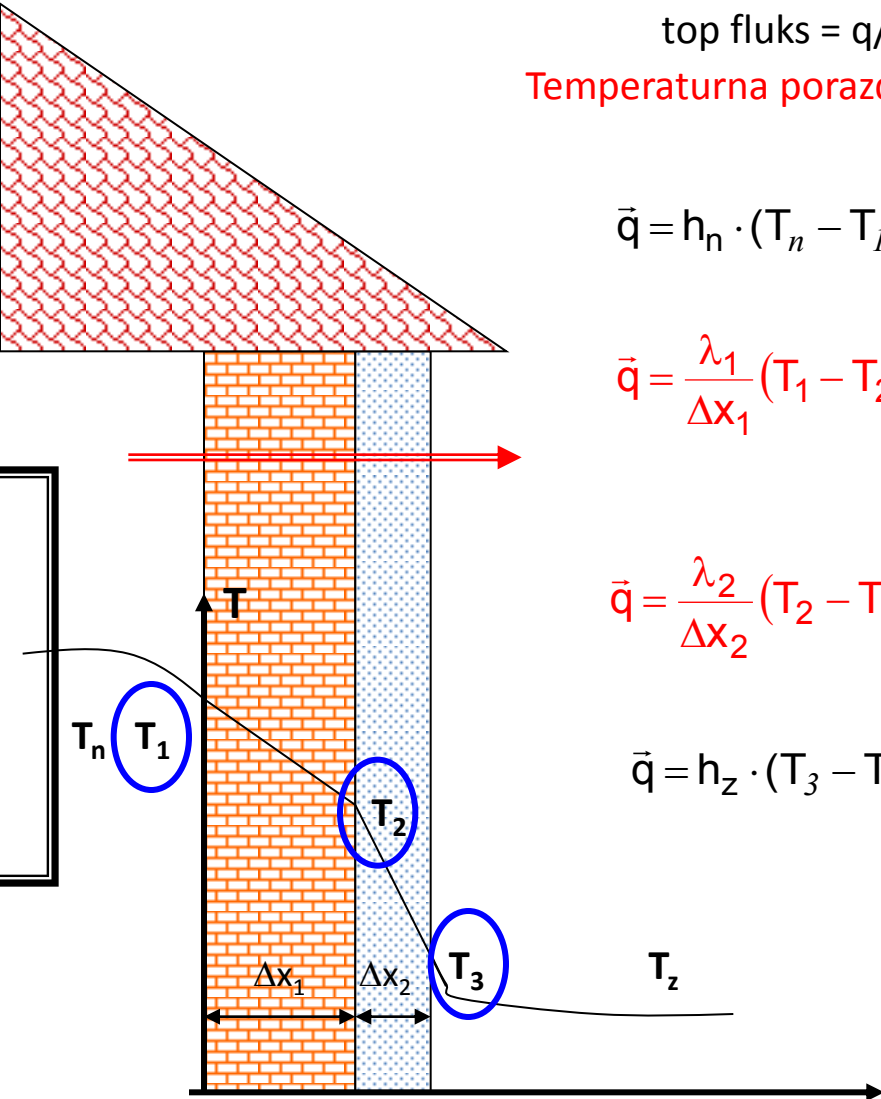


Primer 1: Toplotne izgube s prevajanjem in konvekcijo:

$$\lambda_1 \text{ (opeke)} = 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}, \lambda_2 \text{ (izolacije)} = 0.2 \text{ W/m}^2\text{K} \quad h_z = h_n = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{top fluks} = q/A = 36.36 \text{ W/m}^2$$

Temperaturna porazdelitev v steni:



$$\bar{q} = h_n \cdot (T_n - T_1)$$

$$T_1 = T_n - \frac{\bar{q}}{h_n} = 20 - \frac{36.36}{20} = 18.18^\circ \text{C}$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} (T_1 - T_2)$$

$$T_2 = T_1 - \frac{\bar{q} \cdot \Delta x_1}{\lambda_{\text{OPEK}}} = 18.18 - \frac{36.36 \cdot 0.3}{0.6} = 0^\circ \text{C}$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} (T_2 - T_3)$$

$$T_3 = T_2 - \frac{\bar{q} \cdot \Delta x_2}{\lambda_{\text{IZOL}}} = 0 - \frac{36.36 \cdot 0.1}{0.2} = -18.18^\circ \text{C}$$

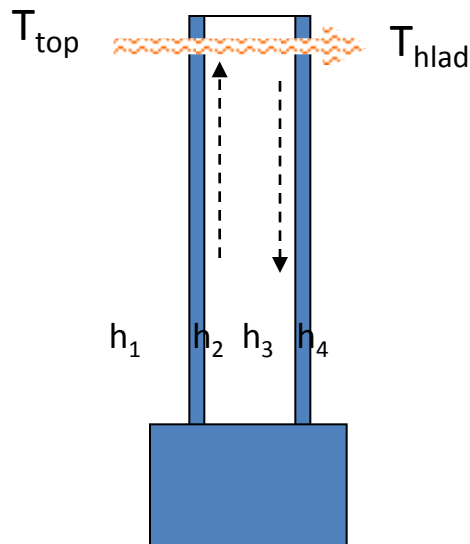
$$\bar{q} = h_z \cdot (T_3 - T_z)$$

$$T_3 = \frac{\bar{q}}{h_z} + T_z = \frac{36.36}{20} + (-20) = -18.18^\circ \text{C}$$

Primer 2: Približne izgube na dvojnem oknu

Oceni toplotne izgube preko standardnega okna z dvojno zasteklitvijo ob 2.5 mm debelih steklih.

Podatki iz tabel: $\lambda(\text{zrak}): 0.03 \text{ W/mK}$; $\lambda(\text{steklo}): 0.9 \text{ W/mK}$; $h_1=h_4 = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$; $h_2=h_3= 10 \text{ W/m}^2\text{K}$



$$q = \frac{(T_{\text{top}} - T_{\text{hlad}}) \cdot A}{\left(\frac{1}{h_1} + \frac{L_1}{\lambda_s} + \frac{1}{h_2} + \frac{L_2}{\lambda_z} + \frac{1}{h_3} + \frac{L_3}{\lambda_s} + \frac{1}{h_4} \right)}$$

Toplotni prestopnosti med stekloma sta manjši – manjša cirkulacija zraka zaradi konvekcije. Ker zrak ne miruje med stekloma, je konvekcija prevladujoč način prenosa toplote; $\lambda(\text{zrak}): 0.03 \text{ W/mK}$ bi upoštevali če bi zrak miroval.

Toplotne izgube izrazimo s toplotno prehodnostjo

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_1} + \frac{L_1}{\lambda_s} + \frac{1}{h_2} + \frac{L_2}{\lambda_z} + \frac{1}{h_3} + \frac{L_3}{\lambda_s} + \frac{1}{h_4} \right)}$$

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{20} + \frac{2.5 \cdot 10^{-3}}{0.9} + \frac{1}{10} + \frac{L_2}{\lambda_z} + \frac{1}{10} + \frac{2.5 \cdot 10^{-3}}{0.9} + \frac{1}{20} \right)} = 3.3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

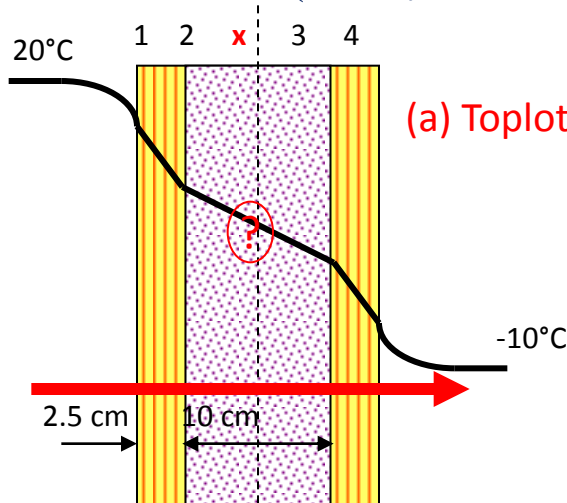
Če bi zrak miroval, bi bile toplotne izgube mnogo manjše:

$$\frac{1}{U} \approx \frac{\Delta x}{\lambda_s} \approx \frac{0.05}{0.03} \Rightarrow U = 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Primer 3: debelina izolacije

Stena montažnega skladišča je sestavljena iz dveh 2.5 cm debelih slojev opaža, vmes je 10 cm stiropora. Izračunaj toplotni fluks, če je T_n 20°C in T_z -10 °C. Določi temperaturo v sredini izolacije in debelino izolacije, da se toplotni fluks zmanjša na polovico.

Podatki iz tabel: $\lambda_{(\text{stiropor})}$: 0.05 W/mK; $\lambda_{(\text{les})}$: 0.2 W/mK; $h_n=5$ W/m²K; $h_z=20$ W/m²K



(a) Toplotni fluks in temperatura v sredini izolacije:

$$\bar{q} = \frac{(T_{\text{top}} - T_{\text{hlad}})}{\left(\frac{1}{h_n} + 2 \cdot \frac{L_l}{\lambda_l} + \frac{L_s}{\lambda_s} + \frac{1}{h_z} \right)}$$

$$\bar{q} = \frac{(20 + 10)}{\left(\frac{1}{5} + 2 \cdot \frac{0.025}{0.2} + \frac{0.1}{0.05} + \frac{1}{20} \right)} = \frac{30}{2.5} = 12 \text{ W/m}^2$$

$$\bar{q} = h_n \cdot (T_n - T_l)$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda_l}{L_l} (T_1 - T_2)$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda_s}{L_s} (T_2 - T_3)$$

$$\bar{q} = \frac{\lambda_l}{\Delta L_l} (T_3 - T_4)$$

$$\bar{q} = h_z \cdot (T_4 - T_z)$$

$$\bar{q} = \frac{(T_{\text{top}} - T_x)}{\left(\frac{1}{h_n} + \frac{L_l}{\lambda_l} + \frac{1}{2} \cdot \frac{L_s}{\lambda_s} \right)}$$

$$T_x = T_n - \bar{q} \cdot \left(\frac{1}{h_n} + \frac{L_l}{\lambda_l} + \frac{1}{2} \cdot \frac{L_s}{\lambda_s} \right)$$

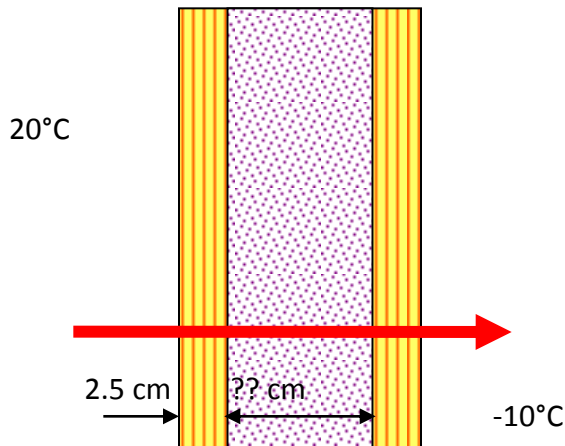
$$T_x = 20 - 12 \cdot \left(\frac{1}{5} + \frac{0.025}{0.2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{0.1}{0.05} \right) = 20 - 15.9 = 4.1^\circ\text{C}$$

Primer 3: debelina izolacije

(b) Potrebna debelina izolacije, da se fluks zmanjša na polovico:

Podatki iz tabel: λ (stiropor): 0.05 W/mK; λ (les): 0.2 W/mK; $h_n=5$ W/m²K; $h_z=20$ W/m²K

$$\bar{q}' = \frac{1}{2} \cdot \bar{q} = 6 \text{ W/m}^2$$



$$\bar{q}' = 6 = \frac{(T_{\text{top}} - T_{\text{hlad}})}{\left(\frac{1}{h_n} + 2 \cdot \frac{L_l}{\lambda_l} + \frac{(L_s)_x}{\lambda_s} + \frac{1}{h_z} \right)}$$

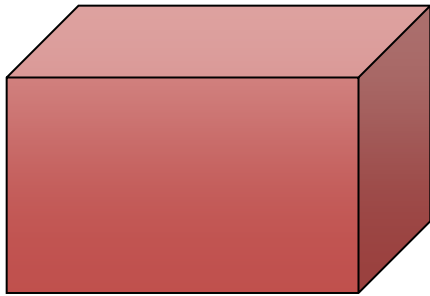
$$\frac{(L_s)_x}{\lambda_s} = \frac{(T_{\text{top}} - T_{\text{hlad}})}{\bar{q}'} - \left(\frac{1}{h_n} + 2 \cdot \frac{L_l}{\lambda_l} + \frac{1}{h_z} \right) = 4.5 \text{ K m}^2 / \text{W}$$

$$(L_s)_x = 4.5 \text{ K m}^2 / \text{W} \cdot 0.05 \text{ W/mK} = 0.225 \text{ m}$$

Primer 4: potrebna moč elektromotorja

Hladilna skrinja dimenzij: $0.7 \times 0.8 \times 1.5 \text{ m}^3$ je izolirana s 5 cm debelim slojem izolacije. Izračunaj potrebno moč elektromotorja, če je temperatura okolice 20°C , temperatura v skrinji -20°C in motor obratuje s 60% zmogljivostjo.

Podatki iz tabel: $\lambda(\text{izolacije}): 0.05 \text{ W/mK}$; $h_n = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$; $h_z = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$



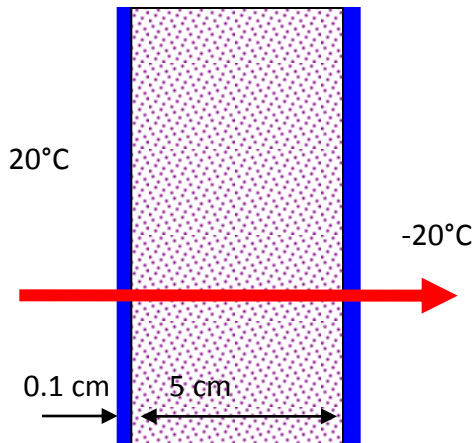
$$q = \frac{(T_{\text{top}} - T_{\text{hlad}}) \cdot A}{\left(\frac{1}{h_n} + 2 \cdot \frac{L_{\text{žel}}}{\lambda_{\text{žel}}} + \frac{L_{\text{iz}}}{\lambda_{\text{iz}}} + \frac{1}{h_z} \right)}$$

$$q = \frac{(20 + 20) \cdot 5.62}{\left(\frac{1}{20} + 2 \cdot \frac{L_{\text{žel}}}{\lambda_{\text{žel}}} + \frac{0.05}{0.05} + \frac{1}{10} \right)} = \frac{224.8}{1.15} = 195.5 \text{ W}$$

Potrebna moč:

$$q/0.6 = 326 \text{ W}$$

$$A = 2 \times 1.5 \times 0.7 + 2 \times 0.7 \times 0.8 + 2 \times 1.5 \times 0.8 = 5.62 \text{ m}^2$$



$$q' = \frac{(T_{\text{top}} - T_{\text{hlad}}) \cdot A}{\left(\frac{L_{\text{iz}}}{\lambda_{\text{iz}}} \right)} = \frac{40 \cdot 5.62}{1} = 224.8 \text{ W}$$

$$q'/0.6 = 375 \text{ W}$$

Primer 5: Izgube toplote ob horizontalni izolirani cevi

Cev notranjega premera $D_1 = 0.04$ m in zunanjega $D_2 = 0.05$ m je izolirana s 5 cm debelim slojem poliuretanske pene; Izračunaj toplotne izgube na dolžinskem metru cevi, če je temperatura tekočine (vode) v cevi 100°C in je temperatura zraka 20°C . Koliko znaša temperatura na površini izolacije? Oцени toplotne izgube na ne-izolirani cevi.

Toplotno prestopnost s cevi na zrak lahko približno ocenimo z enačbo: $h = 1.65 \cdot \Delta T^{0.25}$, pri čemer je ΔT razlika temperatur med površino cevi ali površino izolacije in zrakom. Približni oceni toplotnih prestopnostista: $h_z = 2.5$ W/m²K za izolirano in $h_z = 5$ W/m²K za neizolirano cev.

Toplotna prestopnost iz vode na jekleno cev $h_v = 1000$ W/m²K

Podatki iz tabel: λ (jekla) = 60 W/mK; λ (izol.) = 0.05 W/mK

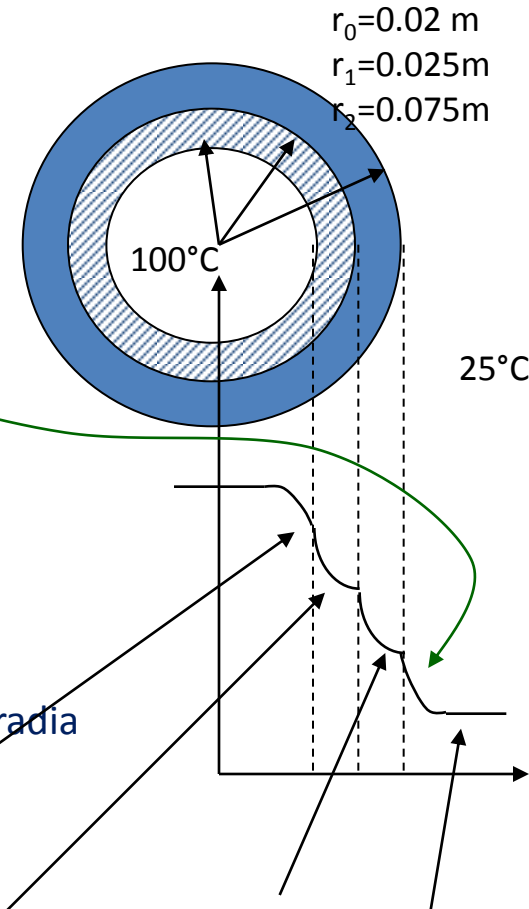
(a) Najprej ocenimo toplotne izgube:

pri ceveh računamo toplotni tok in ne toplotni fluks, ker je le ta odvisen od radija cevi:

$$q = U_z \cdot A_z \cdot (T_z - T_n)$$

Toplotno prehodnost računamo na zunanjo površino:

$$\frac{1}{U_z} = \frac{1}{h_n} \cdot \left(\frac{r_2}{r_0} \right) + \frac{r_2 \cdot \ln(r_1 / r_0)}{\lambda_{\text{jek.}}} + \frac{r_2 \cdot \ln(r_2 / r_1)}{\lambda_{\text{izol.}}} + \frac{1}{h_z}$$



Primer 5: Izgube toplote ob horizontalni izolirani cevi

(a) Najprej ocenimo toplotne izgube:

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot L \cdot (T_n - T_z)}{\frac{1}{h_n} \cdot \left(\frac{r_2}{r_0}\right) + \frac{r_2 \cdot \ln(r_1/r_0)}{\lambda_{\text{jek.}}} + \frac{r_2 \cdot \ln(r_2/r_1)}{\lambda_{\text{izol.}}} + \frac{1}{h_z}}$$

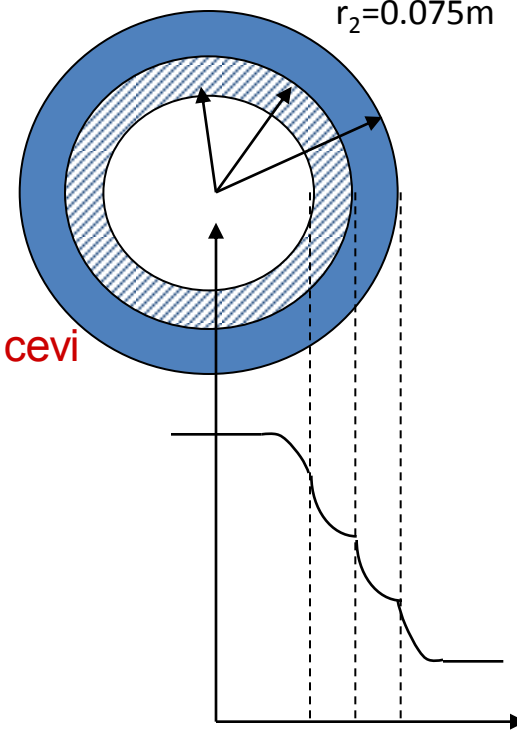
$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.075 \cdot 1 \cdot (100 - 20)}{\frac{1}{1000} \cdot \left(\frac{0.075}{0.020}\right) + \frac{0.075 \cdot \ln(0.025/0.02)}{60} + \frac{0.075 \cdot \ln(0.075/0.025)}{0.05} + \frac{1}{2.5}} = 18.37 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ za 1m cevi}$$

(b) Ocenimo toplotne izgube za neizolirano cev:

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L \cdot (T_n - T_z)}{\frac{1}{h_n} \cdot \left(\frac{r_1}{r_0}\right) + \frac{r_1 \cdot \ln(r_1/r_0)}{\lambda_{\text{jek.}}} + \frac{1}{h_z}}$$

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.025 \cdot 1 \cdot (100 - 20)}{\frac{1}{1000} \cdot \left(\frac{0.025}{0.020}\right) + \frac{0.025 \cdot \ln(0.025/0.02)}{60} + \frac{1}{5}} = 62.4 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ za 1m cevi}$$

$r_0=0.02 \text{ m}$
 $r_1=0.025 \text{ m}$
 $r_2=0.075 \text{ m}$



Primer 5: Izgube toplote ob horizontalni izolirani cevi

(c) Temperatura na površini izolacije:

$$q = h_z \cdot A_z \cdot (T_2 - T_n)$$

Toplotno prestopnost s cevi na zrak lahko približno ocenimo z enačbo: $h = 1.65 \cdot \Delta T^{0.25}$, pri čemer je ΔT razlika temperatur med površino cevi ali površino izolacije in zrakom. Približni oceni toplotnih prestopnostista: $h_z = 2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ za izolirano in $h_z = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ za neizolirano cev.

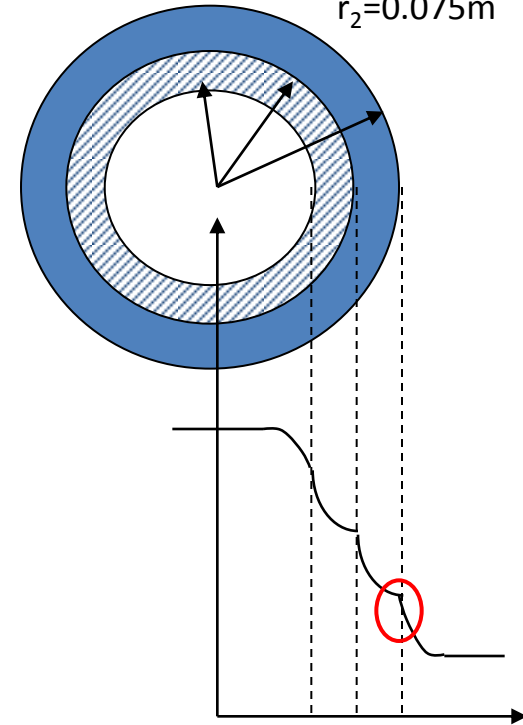
$$T_2 = T_z + \frac{q}{A_z \cdot h_z} \quad \text{Približna ocena, ker ne vemo temp. razlike}$$

$$T_2 = 20 + \frac{18.37}{2 \cdot \pi \cdot 0.075 \cdot 1.5} = 20 + 15.6 = 35.6^\circ\text{C}$$

$$h_{iz.}' = 1.65 \cdot \Delta T^{0.25} = 1.65 \cdot 15.6^{0.25} = 3.28 \text{ W/m}^2\text{K}$$

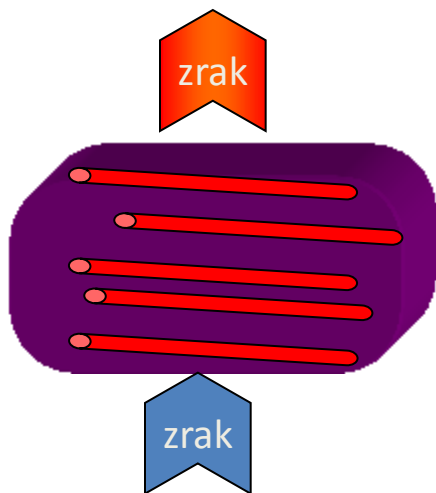
$$T_2 = 20 + \frac{18.37}{2 \cdot \pi \cdot 0.075 \cdot 1 \cdot 3.28} = 20 + 11.9 = 31.9^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} r_0 &= 0.02 \text{ m} \\ r_1 &= 0.025 \text{ m} \\ r_2 &= 0.075 \text{ m} \end{aligned}$$



Primer 6: Ogrevanje zraka s toplotnim menjalnikom

V sušilnem obratu ogrevamo zrak z ventilatorjem tako, da ga pihamo preko šopa rebrastih cevi, ki imajo temperaturo 120°C. Koliko se pogreje zrak pri enem prehodu preko cevi (toplotnega menjalnika), če znaša njegova linearna hitrost (računana na celotni presek naprave) 10 m/s. Površina toplotnega menjalnika je 10 m²/1m² preseka. Temperatura vstopnega zraka je 20°C, $c_p(20^\circ\text{C}) = 1000$ J/kgK, $\rho(\text{zraka}) = 1.2$ kg/m³ in ocenjena toplotna prestopnost iz cevi v zrak pri danih pogojih obratovanja 60W/m²k.



$$q = h_{\text{zr}} \cdot A \cdot (T_{\text{cevi}} - T_{\text{zr}}) = \Phi_m \cdot c_p \cdot (T_{\text{iz}} - T_{\text{vs}})_{\text{zrak}}$$

Povprečna temperatura zraka med vstopom in iztokom v toplotni menjalnik,

Je ne poznamo, izračun je približen, ko vstavimo 20°C

iščemo

$$\frac{T_{\text{cevi}} - T_{\text{zr}}}{T_x - T_{\text{zr}}} = \frac{\Phi_m \cdot c_p}{h_{\text{zr}} \cdot A} = \frac{12 \cdot 1000}{60 \cdot 10} = 20$$

$$T_x = (120 - 20) / 20 + 20 = 25^\circ\text{C}$$

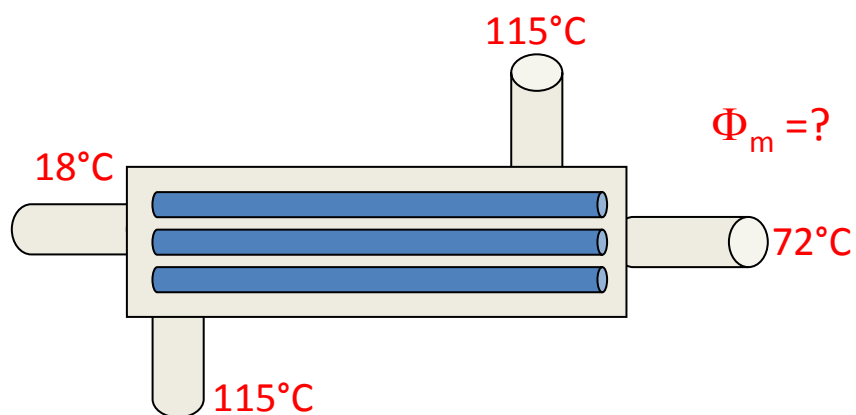
$$\Delta T = 5^\circ\text{C}$$

$$\text{Masni pretok } \Phi_m = v \times S \times \rho = 10 \times 1 \times 1.2 = 12 \text{ kg/s}$$

$$\text{Površina toplotnega menjalnika je } 10 \text{ m}^2/1\text{m}^2 \Rightarrow A = 10 \text{ m}^2 \text{ in } S = 1\text{m}^2$$

Primer 1: V cevnem toplotnem menjalniku segrevamo vodo, z nasičeno vodno paro pri temperaturi 105 °C. Toplotni menjalnik je sestavljen iz treh tankoplastnih bakrenih cevi dimenzij: $d_n = 8$ mm, $d_z = 10$ mm in dolžine $L = 1$ m. Kakšen naj bo pretok vode, ki vstopa v menjalnik s temperaturo 18 °C in jo želimo ogreti na temperaturo 72 °C? Pri danih obratovalnih pogojih sta ocenjeni vrednosti toplotnega prestopa:

na strani pare $h_p = 20$ kW/m²K in na strani vode $h_h = 7$ kW/m²K, $c_{p \text{ vode}} = 4.179$ kJ/kg K.



$$A = 3 \cdot (\pi D_z \cdot L)$$

$$A = 3 \cdot 0.01 \cdot 1 = 0.094 \text{ m}^2$$

$$\frac{1}{U_z} = \frac{1}{h_n} \left(\frac{r_z}{r_n} \right) + \frac{r_z \ln \left(\frac{r_z}{r_n} \right)}{\lambda_s} + \frac{1}{h_z}$$

$$\frac{1}{U_z} = \frac{1}{h_h} \cdot \frac{r_z}{r_n} + \frac{1}{h_p}$$

$$\frac{1}{U_z} = \frac{1}{7} \cdot \frac{10}{8} + \frac{1}{20} = 0.2286 \text{ m}^2\text{K/kW}$$

$$\Delta T_{\ln} = \frac{(115-18) - (115-72)}{\ln \frac{(115-18)}{(115-72)}} = \frac{54}{0.969} = 55.7 \text{ K}$$

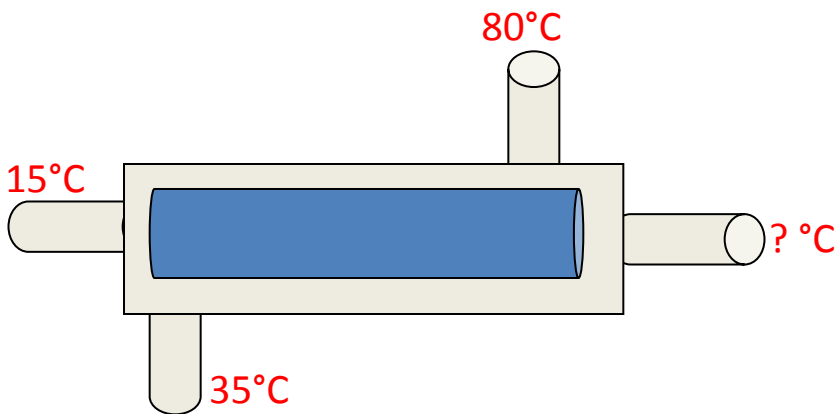
$$U_z = 4.375 \text{ kW/m}^2\text{K}$$

$$q = \Phi_m \cdot c_p \cdot (T_{h1} - T_{h2}) = U_z \cdot A \cdot \Delta T_{\ln}$$

$$\Phi_{m \text{ voda}} = \frac{U_z \cdot A \cdot \Delta T_{\ln}}{c_p \cdot \Delta T}$$

$$\Phi_{m \text{ voda}} = \frac{4.375 \cdot 0.094 \cdot 55.7}{4.179 \cdot (72 - 18)} = 0.1 \text{ kg/s}$$

Primer 2: S toplotnim menjalnikom ohlajamo organsko topilo iz temperature 80°C na 35 °C. Pretok topila je 0.36 kg/s. Notranja tankoplastna bakrena cev toplotnega menjalnika je dolga 2.5 m in ima premer 0.02 m. V zunanji cevi se pretaka hladilna voda, ki vstopa v menjalnik pri 15° C, s pretokom 0.6 kg/s. Izračunajte toplotno prehodnost, če menjalnik obratuje protitočno.
 (c_p vode = 4187 J/kgK c_p ; topila = 2100 J/kgK)



$$q = \Phi_m \cdot c_p \cdot (T_{h1} - T_{h2}) = \Phi_m \cdot c_p \cdot (T_{T1} - T_{T2})$$

$$\Delta T_{\text{voda}} = \frac{(\Phi_m \cdot c_p \cdot \Delta T)_{\text{top}}}{(\Phi_m \cdot c_p)_{\text{voda}}}$$

$$\Delta T_{\text{voda}} = \frac{(0.36 \cdot 2100 \cdot 45)_{\text{top}}}{(0.6 \cdot 4178)_{\text{voda}}} = 13.54 \text{ K} = 13.54 \text{ } ^\circ\text{C}$$

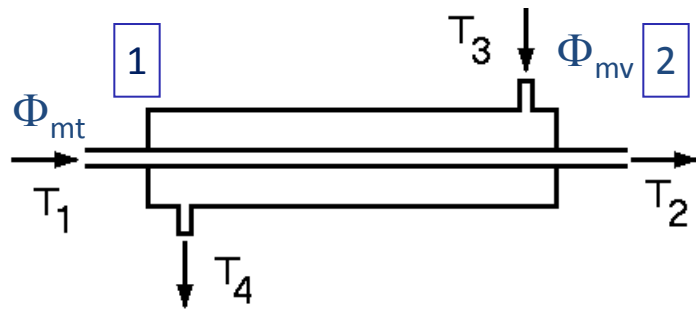
$$T_{h2} = T_{h1} + 13.54^\circ\text{C} = 28.54^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{ln}} = \frac{(28.54 - 80) - (15 - 35)}{\ln \frac{(28.54 - 80)}{(15 - 35)}} = 33.3 \text{ K}$$

$$U_Z = \frac{(\Phi_m \cdot c_p \cdot \Delta T)_{\text{top}}}{A \cdot \Delta T_{\text{ln}}}$$

$$U_Z = \frac{(0.36 \cdot 2100 \cdot 45)_{\text{top}}}{(\pi \cdot 0.02 \cdot 2.5) \cdot 33.3} = 6505.8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Primer 3. S toplotnim menjalnikom ohlajamo organsko topilo iz temperature 70 °C na 25 °C. Pretok topila je 1 m³/h. Za hlajenje uporabljamo hladilno vodo, ki vstopa v menjalnik pri 10 °C s pretokom 3 m³/h. Toplotni menjalnik je sestavljen iz tankoplastnih bakrenih cevi dolžine 2.5 m in premera 3 cm po katerih se pretaka hladilna voda. Koliko cevi je potrebnih pri protitočnem načinu obratovanja, če je povprečna toplotna prehodnost 707.7 W/m²K?



$$\begin{aligned} T_1 &= 70^\circ\text{C} \\ T_2 &= 25^\circ\text{C} \\ T_3 &= 10^\circ\text{C} \\ T_4 &=? \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_p \text{ topila} &= 2300 \text{ J/kgK} \\ \rho \text{ topila} &= 870 \text{ kg/m}^3 \\ c_p \text{ vode} &= 4187 \text{ J/kgK} \\ \rho \text{ vode} &= 998 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$q = \Phi_{mv} c_{pv} (T_{h1} - T_3) = \Phi_{mt} c_{pt} (T_1 - T_2)$$

$$\text{Topilo: } q = \Phi_{mt} \cdot c_{pt} \cdot (T_1 - T_2) = \rho_t \cdot \Phi_{vt} \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2) = 870 \cdot (1/3600) \cdot 2300 \cdot (70 - 25) = 25012 \text{ J/s}$$

$$\text{Voda: } (T_4 - T_3) = q / \Phi_{mv} \cdot c_{pv} = 25012 / ((3/3600) \cdot 4187) = 7.19 \text{ K}$$

$$T_4 = 17.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

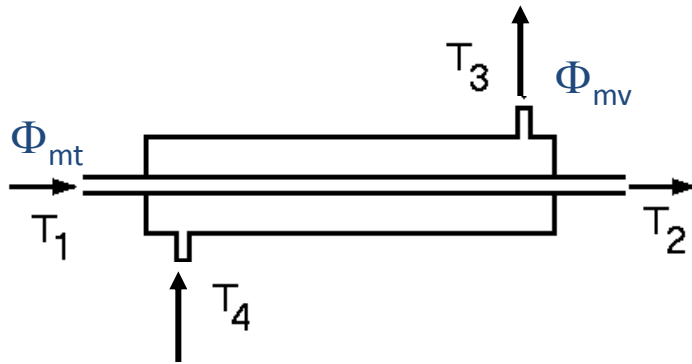
$$\text{Voda - topilo: } q = U \cdot A_z \cdot \Delta T_{ln}$$

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_t - T_h)_1 - (T_t - T_h)_2}{\ln \frac{(T_t - T_h)_1}{(T_t - T_h)_2}} = \frac{(70 - 17.2)_1 - (25 - 10)_2}{\ln \frac{(70 - 17.2)_1}{(25 - 10)_2}} = 30 \text{ K}$$

$$A = q / U \cdot \Delta T_{ln} = 25012 / (707.7 \cdot 30) = 1.178 \text{ m}^2$$

$$A \text{ (za eno cev)} = \pi \cdot D_z \cdot L = \pi \cdot 0.03 \cdot 2.5 = 0.236 \text{ m}^2 \quad \text{št. cevi} = A / A_1 = 1,178 / 0.236 = 5$$

Primer 3. število cevi pri sotočnem načinu obratovanja:



$$\begin{aligned} T_1 &= 70^\circ\text{C} \\ T_2 &= 25^\circ\text{C} \\ T_3 &= 17.2^\circ\text{C} \\ T_4 &= 10^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$q = \Phi_{mv} c_{pv} (T_{h1} - T_3) = \Phi_{mt} c_{pt} (T_1 - T_2) = 25012 \text{ J/s}$$

$$\Delta T_{\ln} = \frac{(T_t - T_h)_1 - (T_t - T_h)_2}{\ln \frac{(T_t - T_h)_1}{(T_t - T_h)_2}} = \frac{(70 - 10)_1 - (25 - 17.2)_2}{\ln \frac{(70 - 10)_1}{(25 - 17.2)_2}} = 25.58 \text{ K}$$

Voda - topilo: $q = U \cdot A_z \cdot \Delta T_{\ln}$

$$A = q / U \cdot \Delta T_{\ln} = 25012 / (707.7 \cdot 25.58) = 1.382 \text{ m}^2$$

$$A(\text{za eno cev}) = \pi \cdot D_z \cdot L = \pi \cdot 0.03 \cdot 2.5 = 0.236 \text{ m}^2 \quad \text{št. cevi} = A / A_1 = 1,382 / 0.236 = 5.85 = 6$$

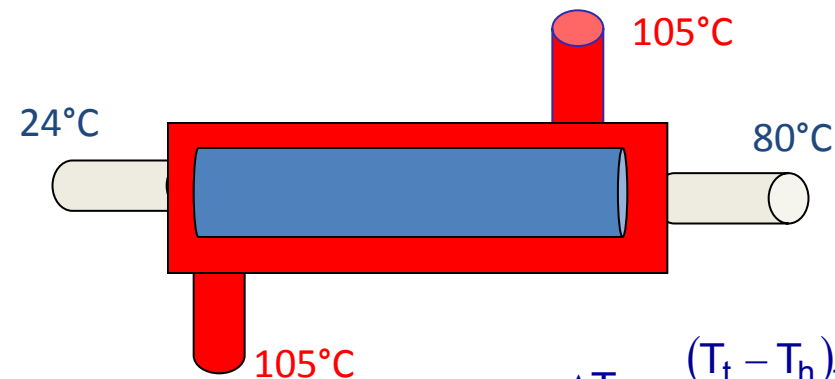
Primer 4: Uporaba Dittus Boelterjeve enačbe

V cevnem toplotnem menjalniku segrevamo vodo z nasičeno vodno paro pri temperaturi 105 °C. Voda vstopa v menjalnik pri temperaturi 24 °C, s pretokom 180 L/h. Kakšna naj bo dolžina cevnega toplotnega menjalnika, ki ima premer cevi: $d_n = 8$ mm in $d_z = 10$ mm, da bo izstopna temperatura vode 80 °C.

Snovne lastnosti vode pri srednji temperaturi v cevi so:

$$\rho: 987 \text{ kg/m}^3, \quad c_p: 4182 \text{ J/kg K}, \quad \eta: 0.528 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}, \quad \lambda: 0.645 \text{ W/mK}$$

Ocenjena vrednost koeficienta toplotnega prestopa na strani pare je 18 KW/m² K, prevodnost samih cevi pa lahko zanemarimo.



$$q = \Phi_m \cdot c_p \cdot (T_{h1} - T_{h2}) = U_z \cdot A \cdot \Delta T_{ln}$$

$$\text{Voda: } q = \Phi_m c_p (T_1 - T_2) = \rho_v \cdot \Phi_v \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2)$$

$$q = 987 \cdot (0.18/3600) \cdot (4182) \cdot (80 - 24) = 11557.4 \text{ J/s}$$

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_t - T_h)_1 - (T_t - T_h)_2}{\ln \frac{(T_t - T_h)_1}{(T_t - T_h)_2}} = \frac{(105 - 24)_1 - (105 - 80)_2}{\ln \frac{(105 - 24)_1}{(105 - 80)_2}} = 47.6 \text{ K}$$

Primer 4: Uporaba Dittus Boelterjeve enačbe

$$q = \Phi_m \cdot c_p \cdot (T_{h1} - T_{h2}) = U_z \cdot A \cdot \Delta T_{ln}$$

$$\frac{1}{U_z} = \frac{1}{h_n \left(\frac{r_z}{r_n} \right)} + \frac{r_z \ln \left(\frac{r_z}{r_n} \right)}{\lambda_s} + \frac{1}{h_z}$$

$$\frac{1}{U_z} = \frac{1}{h_h} \cdot \frac{r_z}{r_n} + \frac{1}{h_p}$$

$$\frac{1}{U_z} = \frac{1}{6606.3} \cdot \frac{10}{8} + \frac{1}{18 \cdot 10^3}$$

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^n$$

$$U_z = 4085.5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Nu = \frac{h_n \cdot D_n}{\lambda} = 0.023 \cdot 14875.5^{0.8} \cdot 3.42^{0.4} = 81.9$$

$$h_n = \frac{\lambda \cdot Nu}{D_n} = \frac{0.645 \cdot 81.9}{0.008} = 6606.3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Re = \frac{v \cdot D_n \cdot \rho}{\eta} = \frac{1 \cdot 0.008 \cdot 987}{0.528 \cdot 10^{-3}} = 14875.5$$

$$v = \frac{\Phi}{A} = \frac{0.18 \cdot 4}{3600 \cdot \pi \cdot (0.008)^2} = 1 \text{ m/s}$$

$$Pr = \frac{c_p \cdot \eta}{\lambda} = \frac{4182 \cdot 0.528 \cdot 10^{-3}}{0.654} = 3.42$$

$$A_z = \frac{q}{U_z \cdot \Delta T_{ln}} = \frac{11557.4}{4085.5 \cdot 47.6} = 0.0593 \text{ m}^2$$

$$A_z = \pi \cdot D_z \cdot L$$

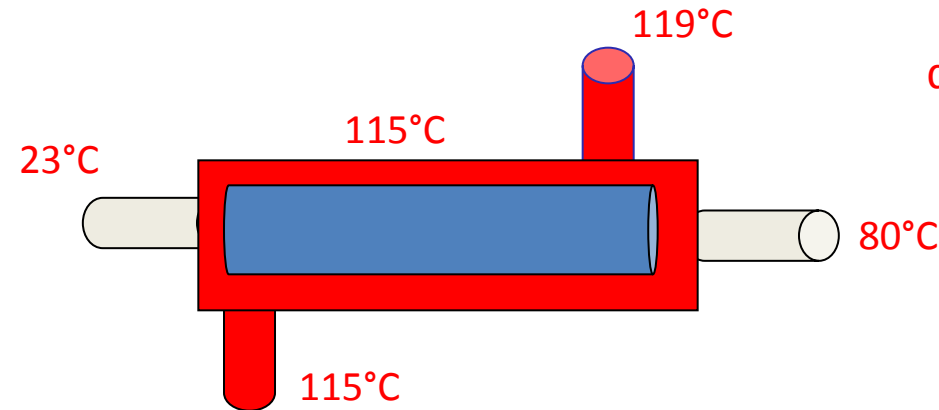
$$L = 0.0593 / (\pi \cdot 0.01) = 1.9 \text{ m}$$

Primer 5: toplotna prestopnost na filmu kondenzata

V dvocevnem toplotnem menjalniku dimenzij $d_n = 4 \text{ mm}$ $D_z = 6 \text{ mm}$ in $L = 1 \text{ m}$ želimo ogreti jabolčni sok iz 23°C na 80°C . Za ogrevanje uporabljamo vodno paro s temperaturo 119°C , ki kondenzira na cevi pri temperaturi 115°C . Ocenite s kakšnim pretokom soka skozi toplotni menjalnik lahko obratujemo, če je ocenjena toplotna prestopnost na strani jabolčnega soka $14.4 \text{ kW/m}^2\text{K}$ in specifična toplota 4.18 kJ/kgK ?

Snovne lastnosti kondenzata pare pri 115°C odčitamo iz tabele:

ρ : 943 kg/m^3 , ΔH : 2218 kJ/kg , η : $0.233 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, λ : 0.686 W/mK



$$\Delta T_{\ln} = \frac{(115 - 23)_1 - (115 - 80)_2}{\ln \frac{(115 - 23)_1}{(115 - 80)_2}} = 59 \text{ K}$$

$$A_z = \pi \cdot D_z \cdot L = \pi \cdot 0.006 \cdot 1 = 0.0188 \text{ m}^2$$

$$q = \Phi_m \cdot c_p \cdot (T_{h1} - T_{h2}) = U_z \cdot A \cdot \Delta T_{\ln}$$

$$\frac{1}{U_z} = \frac{1}{h_n} \cdot \frac{r_z}{r_n} + \frac{1}{h_p}$$

$$h_z = 0,72 \cdot \left[\frac{g \cdot \Delta H_{\text{kon}} \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3}{D_z \cdot \eta \cdot (T_p - T_s)} \right]^{0.25}$$

$$h_z = 0,72 \cdot \left[\frac{9.81 \cdot 2218 \cdot 10^3 \cdot 943^2 \cdot 0.686^3}{0.006 \cdot 0.233 \cdot 10^{-3} \cdot (119 - 115)} \right]^{0.25}$$

$$h_z = 23\,870 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Primer 5: toplotna prestopnost na filmu kondenzata

$$\frac{1}{U_z} = \frac{1}{h_h} \cdot \frac{r_z}{r_n} + \frac{1}{h_p} = \frac{1}{14.4 \cdot 10^3} \cdot \frac{6}{4} + \frac{1}{23870}$$

$$U_z = 6846 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$q = \Phi_m \cdot c_p \cdot (T_{h1} - T_{h2}) = U_z \cdot A \cdot \Delta T_{ln} = 6846 \cdot 0.0188 \cdot 59 = 7593.6 \text{ W}$$

$$\Phi_m = q / c_p (T_{h1} - T_{h2}) = 7593.6 / (4180 \cdot (80 - 23)) = 0.03187 \text{ kg/s} = 115 \text{ kg/h}$$