

U7.7 Do nádrže obsahující 100 kg vody o teplotě 25°C bylo přidáno a) 20 kg, b) 80 kg ledové tříště o teplotě 0°C. Tříšť obsahuje hmotnostně 70% ledu a 30% vody. Vypočtete výslednou hmotnost, teplotu a složení obsahu nádrže. Měrné teplo tání ledu je 334 kJ/kg. Střední měrná tepelná kapacita vody je 4,2 kJ/(kg K).

Řešení

Bilancujeme nádrž, máme tři proudy:

- Proud 1 (vstupní): voda, 25°C
- Proud 2 (vstupní): 70% ledová tříšť, 0°C
- Proud 3 (výstupní): obsah nádrže, stav určíme z výsledku entalpické bilance

Zapišeme hmotnostní a entalpickou bilanci

$$m_1 + m_2 = m_3 \quad (1)$$

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3, \quad (2)$$

a vidíme, že o obsahu nádrže můžeme rozhodnout podle hodnoty měrné entalpie vystupujícího proudu h_3 . Nejdříve ale musíme určit měrné entalpie vstupních proudů

$$h_1 = h[\text{voda}, 25^\circ\text{C}] \quad (3)$$

$$h_2 = 0,7 h[\text{led}, 0^\circ\text{C}] + 0,3 h[\text{voda}, 0^\circ\text{C}], \quad (4)$$

kde ledovou tříšť (proud 2) uvažujeme jako směs dvou složek (voda a led).

Za referenční stav (tj. nulu na entalpické ose) zvolíme [voda, 0°C]:¹.

$$h_{\text{ref}} = h[\text{voda}, 0^\circ\text{C}] = 0$$

a tím jsou dány i hodnoty

$$h[\text{voda}, 25^\circ\text{C}] = \langle c_p^{(l)} \rangle (t_1 - t_{\text{ref}}) = 4,2 (25 - 0) = 105 \text{ kJ/kg}$$

$$h[\text{led}, 0^\circ\text{C}] = -\Delta_{\text{s}} h = -334 \text{ kJ/kg}$$

Tyto hodnoty lze dosadit do rovnic (3) a (4) a vypočítat měrné entalpie vstupujících proudů

$$h_1 = 105 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 0,7(-334) + 0,3 \cdot 0 = -233,8 \text{ kJ/kg}$$

a) 20 kg tříště

Řešení hmotnostní (1) a entalpické bilance (2):

$$100 \cdot 105 + 20(-233,8) = m_3 h_3 = (100 + 20) h_3 \rightarrow h_3 = 48,53 \text{ kJ/kg}$$

Protože se h_3 nachází mezi měrnými entalpiemi vody o 0 a 25 stupních, bude v nádrži voda o teplotě t_3 , kterou neznáme (ale víme, že se bude nacházet mezi 0 a 25°C). Určení teploty t_3 :

$$h_3 = \langle c_p^{(l)} \rangle (t_3 - t_{\text{ref}})$$

$$48,53 = 4,2(t_3 - 0) \rightarrow t_3 = 11,6^\circ\text{C}$$

b) 80 kg tříště

Řešení hmotnostní (1) a entalpické bilance (2):

$$100 \cdot 105 + 80(-233,8) = m_3 h_3 = (100 + 80) h_3 \rightarrow h_3 = -45,58 \text{ kJ/kg}$$

1. Mohli bychom zvolit i jiný referenční stav, například [led, 0°C]. Hodnoty měrných entalpií pak budou jiné, ale výsledný stav v nádrži vyjde stejně pro všechny možné volby ref. stavu. Doporučujeme studentům zkusit příklad přepočítat s tímto ref. stavem a ověřit, že na volbě ref. stavu nezáleží.

Protože se h_3 nachází mezi měrnými entalpiemi vody a ledu při teplotě 0°C , bude v nádrži ledová tříšť o hmotnostním zlomku ledu w_{led} (který neznáme) a teplotě 0°C . Určení hmotnostního zlomku ledu w_{led} :

$$\begin{aligned}h_3 &= w_{\text{led}}h[\text{led}, 0^\circ\text{C}] + (1 - w_{\text{led}})h[\text{voda}, 0^\circ\text{C}] \\-45,58 &= w_{\text{led}}(-334) + (1 - w_{\text{led}})0 \rightarrow w_{\text{led}} = 0,136\end{aligned}$$

Odpověď

a) V nádrži je voda o teplotě $11,6^\circ\text{C}$, b) v nádrži je ledová tříšť obsahující 13,6 hm% ledu o teplotě 0°C .