

# TERMOMECHANIKA

## Sbírka příkladů T1

### Řešené příklady z termomechaniky

#### 1) Příklad řešení tepla a tepelného výkonu

Zadání: Jaký teoretický výkon musí mít elektrický vařič, aby se 6 litrů vody o teplotě 12°C za dobu 4 minut ohřálo na teplotu 87°C, jestliže hustota vody je 1000 kg.m<sup>-3</sup> a její měrná tepelná kapacita vody je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Řešení: Objem vody je  $V = 6 \text{ [l]} = 6 \text{ [dm}^3] = 0,006 \text{ [m}^3]$ .

Z hustoty vody určíme její hmotnostní množství  $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V = 6 \text{ [kg]}$ .

Teplo potřebné k ohřátí 6 kg vody z teploty 12°C na teplotu 87°C vypočteme ze vztahu  $Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = 1883700 \text{ [J]}$ .

Doba ohřívání vody je  $\tau = 4 \text{ [min]} = 240 \text{ [s]}$ .

Pak teoretický výkon elektrického vařiče je  $P = \frac{Q}{\tau} = 7845 \text{ [W]} = 7,845 \text{ [kW]}$ .

#### 2) Příklad řešení tepla a tepelného výkonu

Zadání: Vypočtete potřebný teoretický výkon elektrického vařiče, který za dobu 16 minut přemění 3 kg ledu o teplotě -6°C ve vodu o teplotě 84°C. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte. Měrné skupenské teplo tání ledu je 334000 J.kg<sup>-1</sup>, teplota tání ledu je 0°C, měrná tepelná kapacita vody je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a měrná tepelná kapacita ledu je 2095 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Řešení: Led se musí nejprve ohřát z teploty -6°C na teplotu tání ledu  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$ , následně mu musí být dodáno teplo k roztavení ledu (led o teplotě 0°C se přemění ve vodu 0°C) a následně se bude voda ohřívát z 0°C na 84°C.

Ledu se musí nejprve dodat teplo potřebné k jeho ohřátí z teploty -6°C na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$ , pak  $Q_1 = m \cdot c_1 \cdot (t_{1,2} - t_1) = 3 \cdot 2095 \cdot [0 - (-6)] = 37710 \text{ [J]}$ .

Teplo potřebné k roztavení ledu o teplotě 0°C (tj. přeměna ledu o teplotě 0°C ve vodu s teplotou 0°C) je  $Q_{1,2} = m \cdot l_{1,2} = 3 \cdot 334000 = 1002000 \text{ [J]}$ .

Teplo potřebné k ohřátí vody z 0°C (vody vzniklé roztavením ledu) na 84°C je  $Q_2 = m \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_{1,2}) = 3 \cdot 4186 \cdot (84 - 0) = 1054872 \text{ [J]}$ .

Celkové teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě -6°C na vodu o teplotě 84°C je  $Q = Q_1 + Q_{1,2} + Q_2 = 37710 + 1002000 + 1054872 = 2094582 \text{ [J]}$ .

Tepelný výkon vařiče, při době  $\tau = 16 \text{ [min]} = 960 \text{ [s]}$  je  $P = \frac{Q}{\tau} = 2182 \text{ [W]} = 2,182 \text{ [kW]}$ .

#### 3) Příklad řešení tepelné bilance bez změny skupenství

Zadání: Kolik vody o teplotě 14°C musíme nalít do nádoby s ocelovým hranolem o rozměrech 100 mm x 150 mm x 200 mm a teplotě 92°C, aby po vyrovnání teplot byla v nádobě voda o teplotě 25°C? Hustota vody je 1000 kg.m<sup>-3</sup>, hustota oceli je 7850 kg.m<sup>-3</sup>, měrná tepelná kapacita vody je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a měrná tepelná kapacita oceli je 461 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Řešení: Objem ocelového hranolu je  $V_1 = a \cdot b \cdot c = 0,1 \cdot 0,15 \cdot 0,2 = 0,003 \text{ [m}^3]$ .

Hmotnost ocelového hranolu je  $m_1 = V_1 \cdot \rho_1 = 0,02 \cdot 7850 = 23,55$  [kg].  
 Ocelový hranol bude ochlazován vodou, pak teplo potřebné k ochlazení hranolu na teplotu  $25^\circ\text{C}$  je  $Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t_V) = 23,55 \cdot 461 \cdot (92 - 25) = 727389$  [J].  
 Voda bude ohřívána teplem dodaným hranolem  $Q_1 = Q_2 = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_V - t_2)$ .  
 Pak  $m_2 = \frac{Q_2}{c_2 \cdot (t_V - t_2)} = \frac{727389}{4186 \cdot (25 - 14)} = 15,8$  [kg].

4) Příklad řešení tepelné bilance bez změny skupenství

Zadání: V nádobě je ocelový hranol o hmotnosti 17 kg a teplotě  $94^\circ\text{C}$ . Vypočtete teplotu hranolu po vyrovnání teplot, jestliže do nádoby přidáme 11 kg vody o teplotě  $26^\circ\text{C}$ ? Měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a měrná tepelná kapacita oceli je  $461 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Řešení: Ocelový hranol v nádobě bude ochlazován vodou, pak teplo potřebné k jeho ochlazení na teplotu  $t_S$  je  $Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t_S)$ .

Voda v nádobě bude ohřívána teplem dodaným hranolem  $Q_2 = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_S - t_2)$ .

Dojde-li k vyrovnání teplot, pak pro sdílená tepla mezi ocelovým hranolem a vodou platí  $Q_1 = Q_2$ .

Po dosazení dostaneme vztah:  $m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t_S) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_S - t_2)$ .

Výsledná teplota je  $t_S = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot t_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} = \frac{17 \cdot 461 \cdot 94 + 11 \cdot 4186 \cdot 26}{17 \cdot 461 + 11 \cdot 4186} = 35,9$  [ $^\circ\text{C}$ ].

5) Příklad řešení tepelné bilance se změnou skupenství

Zadání: V nádobě je 1,4 kg ledu o teplotě  $-7^\circ\text{C}$ . Vypočtete kolik vody o teplotě  $84^\circ\text{C}$  musíme do nádoby nalít, aby po vyrovnání teplot byla v nádobě voda  $17^\circ\text{C}$  teplá. Měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , teplota tání ledu je  $0^\circ\text{C}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Řešení: Led se musí nejprve ohřát z teploty  $-7^\circ\text{C}$  na teplotu tání ledu  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$ , následně mu musí být dodáno teplo k roztavení ledu (led o teplotě  $0^\circ\text{C}$  se přemění ve vodu  $0^\circ\text{C}$ ) a následně se bude voda ohřívát z  $0^\circ\text{C}$  na  $17^\circ\text{C}$ .

Ledu se musí nejprve dodat teplo potřebné k jeho ohřátí z teploty  $-7^\circ\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$ , pak  $Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1,2} - t_1) = 1,4 \cdot 2095 \cdot [0 - (-7)] = 20531$  [J].

Teplo potřebné k roztavení ledu o teplotě  $0^\circ\text{C}$  (tj. přeměna ledu o teplotě  $0^\circ\text{C}$  ve vodu s teplotou  $0^\circ\text{C}$ ) je  $Q_{1,2} = m_1 \cdot l_{1,2} = 1,4 \cdot 334000 = 467600$  [J].

Teplo potřebné k ohřátí vody z  $0^\circ\text{C}$  (vody vzniklé roztavením ledu) na  $17^\circ\text{C}$  je  $Q_2 = m_1 \cdot c_2 \cdot (t_V - t_{1,2}) = 1,4 \cdot 4186 \cdot (17 - 0) = 99627$  [J].

Celkové teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-7^\circ\text{C}$  na vodu o teplotě  $84^\circ\text{C}$  je  $Q = Q_1 + Q_{1,2} + Q_2 = 20531 + 467600 + 99627 = 587758$  [J].

Vodě o teplotě  $84^\circ\text{C}$  při ochlazení na výslednou teplotu  $t_S = 17^\circ\text{C}$  bude odebráno teplo  $Q_O = m_O \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_V) = Q = 587758$  [J].

Pak množství vody  $m_2 = \frac{Q_O}{c_2 \cdot (t_2 - t_V)} = \frac{587758}{4186 \cdot (84 - 17)} = 2,096$  [kg].

6) Příklad řešení tepelné bilance se změnou skupenství

Zadání: Do nádoby s 5 kg vody o teplotě  $25^\circ\text{C}$  vložíme 2 kg ledu o teplotě  $-5^\circ\text{C}$ . Vypočtete teplotu směsi v nádobě po vyrovnání teplot, případně kolik ledu ve vodě zůstane. Měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , teplota tání ledu je

0°C, měrná tepelná kapacita vody je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a měrná tepelná kapacita ledu je 2095 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Řešení: V nádobě je ledu dodáváno teplo, které je současně odebíráno. Nejprve musíme zjistit, zda teplo obsažené ve vodě roztaví všechny led.

Led se musí nejprve ohřát z teploty -5°C na teplotu tání ledu  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$ , následně mu musí být dodáno teplo k roztavení ledu (led o teplotě 0°C se přemění ve vodu 0°C).

Teplo potřebné k ohřátí přidaného ledu z teploty -5°C na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$ , pak  $Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1,2} - t_1) = 2 \cdot 2095 \cdot [0 - (-5)] = 20950 \text{ [J]}$ .

Teplo potřebné k roztavení ledu o teplotě 0°C (tj. přeměna ledu o teplotě 0°C ve vodu s teplotou 0°C je  $Q_{1,2} = m_1 \cdot l_{1,2} = 2 \cdot 334000 = 668000 \text{ [J]}$ .

Teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě -5°C na vodu o teplotě 0°C (přeměna ledu ve vodu) je  $Q_{1P} = Q_1 + Q_{1,2} = 20950 + 668000 = 688950 \text{ [J]}$ .

Vodě o teplotě 25°C při ochlazení na 0°C lze odebrat teplo (při dalším ochlazení by se měnila v led)  $Q_{2P} = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_{1,2}) = 5 \cdot 4186 \cdot (25 - 0) = 523250 \text{ [J]}$ .

Protože  $Q_{1P} = 688950 \text{ [J]} > Q_{2P} = 523250 \text{ [J]}$ , pak teplo odebrané vodě při jejím ochlazení na 0°C nepostačuje k roztavení všeho ledu. To znamená, že všechny led NEROZTAJE. Teplota směsi v nádobě bude  $t_s = 0^\circ\text{C}$  (teplota, při které existuje současně led i voda).

Pak platí bilanční rovnice:  $m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_{1,2}) = m_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1,2} - t_1) + m_{1R} \cdot l_{1,2}$ , kde  $m_{1R}$  je množství roztaveného ledu.

Množství roztaveného ledu  $m_{1R} = \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_{1,2}) - m_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1,2} - t_1)}{l_{1,2}}$ , po dosazení

$$m_{1R} = \frac{5 \cdot 4186 \cdot (25 - 0) - 2 \cdot 2095 \cdot [0 - (-5)]}{334000} = 1,404 \text{ [kg]}.$$

V nádobě zůstane 0,496 [kg] ledu.

#### 7) Příklad řešení tepelné bilance se změnou skupenství

Zadání: Do nádoby s 5 kg vody o teplotě 45°C vložíme 2 kg ledu o teplotě -5°C. Vypočítejte teplotu směsi v nádobě po vyrovnání teplot, případně kolik ledu ve vodě zůstane. Měrné skupenské teplo tání ledu je 334000 J.kg<sup>-1</sup>, teplota tání ledu je 0°C, měrná tepelná kapacita vody je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a měrná tepelná kapacita ledu je 2095 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Řešení: V nádobě je ledu dodáváno teplo, které je současně odebíráno. Nejprve musíme zjistit, zda teplo obsažené ve vodě roztaví všechny led.

Led se musí nejprve ohřát z teploty -5°C na teplotu tání ledu  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$ , následně mu musí být dodáno teplo k roztavení ledu (led o teplotě 0°C se přemění ve vodu 0°C).

Teplo potřebné k ohřátí přidaného ledu z teploty -5°C na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$ , pak  $Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1,2} - t_1) = 2 \cdot 2095 \cdot [0 - (-5)] = 20950 \text{ [J]}$ .

Teplo potřebné k roztavení ledu o teplotě 0°C (tj. přeměna ledu o teplotě 0°C ve vodu s teplotou 0°C je  $Q_{1,2} = m_1 \cdot l_{1,2} = 2 \cdot 334000 = 668000 \text{ [J]}$ .

Teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě -5°C na vodu o teplotě 0°C (přeměna ledu ve vodu) je  $Q_{1P} = Q_1 + Q_{1,2} = 20950 + 668000 = 688950 \text{ [J]}$ .

Vodě o teplotě 53°C při ochlazení na 0°C lze odebrat teplo (při dalším ochlazení by se měnila v led)  $Q_{2P} = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_{1,2}) = 5 \cdot 4186 \cdot (45 - 0) = 941850 \text{ [J]}$ .

Protože  $Q_{1P} = 688950 \text{ [J]} < Q_{2P} = 941850 \text{ [J]}$ , pak teplo odebrané vodě při jejím ochlazení na  $0^\circ\text{C}$  stačí na roztavení všeho ledu. To znamená, že všechny led ROZTAJE. Teplota směsi v nádobě bude  $t_S > 0^\circ\text{C}$ .

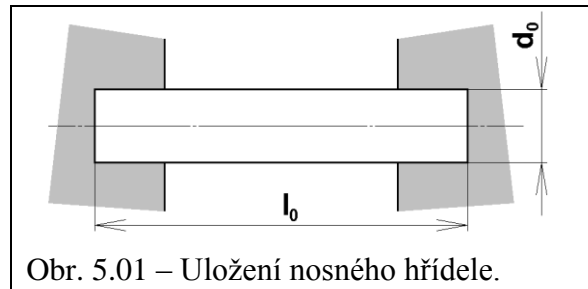
Bilanční rovnice:  $m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_S) = m_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1,2} - t_1) + m_1 \cdot l_{1,2} + m_1 \cdot c_2 \cdot (t_S - t_{1,2})$ .

Výsledná teplota  $t_S = \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot t_2 - m_1 \cdot c_1 \cdot (t_{1,2} - t_1) - m_1 \cdot l_{1,2} + m_1 \cdot c_2 \cdot t_{1,2}}{m_1 \cdot c_2 + m_2 \cdot c_2}$ , po dosa-

zení  $t_S = \frac{5 \cdot 4186 \cdot 45 - 2 \cdot 2095 \cdot [0 - (-5)] - 2 \cdot 334000 + 2 \cdot 4186 \cdot 0}{5 \cdot 4186 + 2 \cdot 4186} = 8,6 \text{ [}^\circ\text{C]}$ .

#### 8) Příklad řešení tepelné dilatace

Zadání: Neotočný nosný hřídel o průměru  $d_0 = 50 \text{ mm}$  a  $l_0 = 250 \text{ mm}$  z materiálu 11 500 je uložen dle obrázku 5,01. Hřídel je namontován bez vůle při teplotě  $20^\circ\text{C}$  a při provozu se hřídel může ohřát na teplotu  $120^\circ\text{C}$ . Vypočítejte, o kolik by se hřídel prodloužil při ohřátí na teplotu  $120^\circ\text{C}$ . Dále vypočítejte, jaké tlakové napětí v hřídeli vznikne při uložení dle obrázku, jestliže pro materiál hřídele je součinitel teplotní délkové roztažnosti je  $\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  a modul pružnosti v tlaku je  $2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ .



Obr. 5.01 – Uložení nosného hřídele.

Řešení: Teplotní rozdíl je  $\Delta t = t_2 - t_1 = 120 - 20 = 100 \text{ [K]}$ .

Při volném uložení by prodloužení hřídele bylo  $\Delta l_t = l_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t = 0,25 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 0,0003 \text{ [m]}$ .

Neumožňuje-li uložení hřídele tepelnou dilataci je zkrácení  $\Delta l = \Delta l_t = 0,0003 \text{ [m]}$ .

Pak poměrné zkrácení je  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{0,0003}{0,25} = 0,0012 \text{ [1]}$ .

Z Hookeova zákona napětí je  $E = \frac{\sigma_t}{\varepsilon} \Rightarrow \sigma_t = E \cdot \varepsilon = 252 \text{ [MPa]}$ .

## **Příklady z termomechaniky k procvičení**

**Příklad 5.101.** Jaký teoretický výkon musí mít elektrický vaříč, aby se v nádobě 2,5 litru vody o teplotě 9°C za dobu 4,5 minuty ohřálo na teplotu 65°C? Hustota vody je 1000 kg.m<sup>-3</sup> a její měrná tepelná kapacita je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Hmotnost vody v nádobě  $m = 2,5$  [kg], teplo potřebné k ohřátí vody z teploty 9°C na teplotu 65°C je  $Q = 586040$  [J], doba ohřívání vody je  $\tau = 4,5$  [min] = 270 [s], teoretický výkon elektrického vaříče je  $P = 2171$  [W].

**Příklad 5.102.** Vypočtete, za jakou dobu se 2,5 litrů vody o teplotě 9°C ohřeje na teplotu 95°C v nádobě na elektrickém vaříči o výkonu 1,5 kW? Hustota vody je 1000 kg.m<sup>-3</sup> a její měrná tepelná kapacita je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Hmotnost vody v nádobě  $m = 2,5$  [kg], teplo potřebné k ohřátí vody z teploty 9°C na teplotu 95°C je  $Q = 899990$  [J], teoretický výkon elektrického vaříče je  $P = 1,5$  [kW] = 1500 [W], doba ohřívání vody je  $\tau = 600$  [s] = 10 [min].

**Příklad 5.103.** Vypočtete, na jakou teplotu se ohřeje za dobu 4,5 minuty 2,5 litrů vody o teplotě 9°C v nádobě na elektrickém vaříči o výkonu 1,5 kW? Hustota vody je 1000 kg.m<sup>-3</sup> a její měrná tepelná kapacita je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Hmotnost vody v nádobě  $m = 2,5$  [kg], teoretický výkon elektrického vaříče je  $P = 1,5$  [kW] = 1500 [W], doba ohřívání vody je  $t = 4,5$  [min] = 270 [s], celkové teplo dodané vaříčem k ohřátí vody je  $Q = 405000$  [J], pak voda za  $t = 270$  [s] bude mít teplotu 47,7°C.

**Příklad 5.104.** Vypočtete potřebný teoretický výkon elektrického vaříče, který za 12 minut přemění 2,4 kg ledu o teplotě -7°C ve vodu o teplotě 65°C. Měrná tepelná kapacita ledu je 2095 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, měrná tepelná kapacita vody je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a měrné skupenské teplo tání je 334000 J.kg<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty -7°C na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$  je  $Q_1 = 35196$  [J], teplo potřebné k roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 801600$  [J], teplo potřebné k ohřátí vody z 0°C na 65°C je  $Q_2 = 653016$  [J], teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě -6°C na vodu o teplotě 65°C je  $Q = 1489812$  [J], potřebný teoretický výkon elektrického vaříče je  $P = 2069$  [W].

**Příklad 5.105.** Vypočtete, za jakou dobu se přemění 1,7 kg ledu o teplotě -11°C ve vodu o teplotě 86°C na elektrickém vaříči o výkonu 2,1 kW. Měrná tepelná kapacita ledu je 2095 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, měrná tepelná kapacita vody je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a měrné skupenské teplo tání je 334000 J.kg<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty -11°C na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$  je  $Q_1 = 39176,5$  [J], teplo potřebné k roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 567800$  [J],

teplo potřebné k ohřátí vody z  $0^{\circ}\text{C}$  na  $86^{\circ}\text{C}$  je  $Q_2 = 611993,2$  [J], teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-11^{\circ}\text{C}$  na vodu o teplotě  $86^{\circ}\text{C}$  je  $Q = 1218969,7$  [J], doba potřebná k přeměně ledu o teplotě  $-11^{\circ}\text{C}$  na vodu o teplotě  $86^{\circ}\text{C}$  je  $\tau = 580,5$  [s] = 9,67 [min].

Příklad 5.106. V nádobě na elektrickém vařiči o výkonu 1,7 kW je přemění 1,4 kg ledu o teplotě  $-8^{\circ}\text{C}$  Vypočtete, jakou teplotu bude mít voda (led) v nádobě po 7 minutách ohřevu na daném elektrickém vařiči. Měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Vařič za 7 minut ohřevu dodá ledu a vodě v nádobě teplo  $Q = 714000$  [J], teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-8^{\circ}\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_1 = 23464$  [J], teplo potřebné k roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 467600$  [J], teplo potřebné k ohřátí vody z  $0^{\circ}\text{C}$  na konečnou teplotu je  $Q_2 = 222636$  [J], pak voda po ukončení ohřevu za  $\tau = 7$  [min] = 4205 [s] bude mít teplotu  $39,04^{\circ}\text{C}$ .

Příklad 5.107. Vypočtete, na jakou teplotu se ohřeje za dobu 4,5 minuty 2,5 litrů vody o teplotě  $9^{\circ}\text{C}$  v v nádobě na elektrickém vařiči o výkonu 1,5 kW? Hustota vody je  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a její měrná tepelná kapacita je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Hmotnost vody v nádobě  $m = 2,5$  [kg], teoretický výkon elektrického vařiče je  $P = 1,5$  [kW] = 1500 [W], doba ohřívání vody je  $t = 4,5$  [min] = 270 [s], celkové teplo dodané vařičem k ohřátí vody je  $Q = 405000$  [J], pak voda za  $t = 270$  [s] bude mít teplotu  $47,7^{\circ}\text{C}$ .

Příklad 5.108. Vypočtete potřebný teoretický výkon elektrického vařiče, který za dobu 14,5 minuty přemění 2,5 kg vody o teplotě  $25^{\circ}\text{C}$  v páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$ . Měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo výparné vody  $2258000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí vody z  $25^{\circ}\text{C}$  na  $100^{\circ}\text{C}$  je  $Q_2 = 784875$  [J], teplo potřebné k vypaření vody (přeměna vody o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$ ) je  $Q_{2,3} = 5645000$  [J], teplo potřebné k přeměně vody o teplotě  $25^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  je  $Q = 6429875$  [J], potřebný teoretický výkon elektrického vařiče je  $P = 7391$  [W].

Příklad 5.09. Vypočtete dobu, za kterou se přemění 1,75 kg vody o teplotě  $15^{\circ}\text{C}$  v páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  na vařiči o výkonu 3,5 kW. Měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo výparné vody  $2258000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí vody z  $15^{\circ}\text{C}$  na  $100^{\circ}\text{C}$  je  $Q_2 = 622668$  [J], teplo potřebné k vypaření vody (přeměna vody o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$ ) je  $Q_{2,3} = 3951500$  [J], teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-6^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  je  $Q = 4574168$  [J], doba potřebná k přeměně vody o teplotě  $15^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  je  $\tau = 1306,9$  [s] = 21,78 [min].

Příklad 5.110. Vypočtete potřebný teoretický výkon elektrického vařiče, který za dobu 26 minut přemění 2,5 kg ledu o teplotě  $-6^{\circ}\text{C}$  v páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$ . Měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$  a měrné skupenské teplo výparné vody  $2258000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-6^{\circ}\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_1 = 31425 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 835000 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k ohřátí vody z  $0^{\circ}\text{C}$  na  $100^{\circ}\text{C}$  je  $Q_2 = 1046500 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k vypaření vody (přeměna vody o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$ ) je  $Q_{2,3} = 5645000 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-6^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  je  $Q = 7557925 \text{ [J]}$ , potřebný teoretický výkon elektrického vařiče je  $P = 4845 \text{ [W]}$ .

Příklad 5.111. Vypočtete, za jakou dobu se přemění 2,2 kg ledu o teplotě  $-6^{\circ}\text{C}$  v páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  na vařiči o výkonu 3,5 kW. Měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$  a měrné skupenské teplo výparné vody  $2258000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-6^{\circ}\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_1 = 27654 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 734800 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k ohřátí vody z  $0^{\circ}\text{C}$  na  $100^{\circ}\text{C}$  je  $Q_2 = 920920 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k vypaření vody (přeměna vody o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$ ) je  $Q_{2,3} = 4967600 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-6^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  je  $Q = 6650974 \text{ [J]}$ , doba potřebná k přeměně ledu o teplotě  $-6^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  je  $\tau = 1900,3 \text{ [s]} = 31,67 \text{ [min]}$ .

Příklad 5.112. V uzavřené nádobě umístěné na elektrickém vařiči se stálým atmosférickým tlakem je 2,4 kg ledu o teplotě  $-5^{\circ}\text{C}$ . Vypočtete, za jakou dobu se na elektrickém vařiči o výkonu 4,5 kW přemění v nádobě dané množství ledu v páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$ . Měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita páry (při atmosférickém tlaku a v uvedeném rozsahu teplot) je  $2250 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$  a měrné skupenské teplo výparné vody  $2258000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-5^{\circ}\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_1 = 25140 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 801600 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k ohřátí vody z  $0^{\circ}\text{C}$  na  $100^{\circ}\text{C}$  je  $Q_2 = 1004640 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k vypaření vody (přeměna vody o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$ ) je  $Q_{2,3} = 5419200 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k ohřátí páry ze  $100^{\circ}\text{C}$  na  $120^{\circ}\text{C}$  je  $Q_2 = 108000 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-5^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $120^{\circ}\text{C}$  je  $Q = 7358580 \text{ [J]}$ , doba potřebná k přeměně ledu o teplotě  $-5^{\circ}\text{C}$  na páru o teplotě  $120^{\circ}\text{C}$  je  $\tau = 1635 \text{ [s]} = 27,25 \text{ [min]}$ .

Příklad 5.113. Kolik vody o teplotě  $14^{\circ}\text{C}$  musíme nalít do nádoby s 4,4 kg vody o teplotě  $87^{\circ}\text{C}$ , aby po vyrovnání teplot byla v nádobě voda o teplotě  $34^{\circ}\text{C}$ ? Měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplejší vodě ( $t_1 = 87^{\circ}\text{C}$ ) v nádobě, aby se ochladila na teplotu  $t_s = 34^{\circ}\text{C}$ , bude odebráno teplo  $Q_2 = 976175 \text{ [J]}$  (do vyrovnání teplot). Chladnější vodě bude ( $t_2 = 14^{\circ}\text{C}$ ) dodáno teplo  $Q_1 = Q_2 = 976175 \text{ [J]}$ , aby se ohřála  $t_s = 34^{\circ}\text{C}$ . Pak do nádoby musí být přidáno 11,66 [kg] vody o teplotě  $14^{\circ}\text{C}$ .

Příklad 5.114. V nádobě je 2,4 litrů vody o teplotě  $82^{\circ}\text{C}$ . Jakou teplotu musí mít 6,7 litrů přidané vody, aby po vyrovnání teplot byla v nádobě voda o teplotě  $32^{\circ}\text{C}$ ? Hustota vody je  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Hmotnost vody o teplotě  $82^{\circ}\text{C}$  je  $m_1 = 2,4 \text{ [kg]}$  a hmotnost vody o neznámé teplotě je  $m_2 = 6,7 \text{ [kg]}$ . Teplo odebrané 2,4 [kg] vody o teplotě  $82^{\circ}\text{C}$  je  $Q_1 = 502320 \text{ [J]}$ . Přidaným 6,7 kg vody bude dodáno teplo  $Q_2 = 502320 \text{ [J]}$ , pak tato voda musí mít teplotu  $14,09^{\circ}\text{C}$ .

Příklad 5.115. Do nádoby, ve které je 5,6 litrů vody o teplotě  $14^{\circ}\text{C}$  přidáme 3,6 litrů vody o teplotě  $83^{\circ}\text{C}$ . Vypočtete teplotu vody v nádobě po vyrovnání teplot. Hustota vody je  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Hmotnost vody o teplotě  $14^{\circ}\text{C}$  je  $m_1 = 5,6 \text{ [kg]}$  a hmotnost vody o teplotě  $83^{\circ}\text{C}$  je  $m_2 = 3,6 \text{ [kg]}$ . Teplo dodané 5,6 [kg] vody o teplotě  $14^{\circ}\text{C}$   $Q_1 = Q_2$ , to znamená je stejné jako teplo odebrané 3,6 kg vody o teplotě  $83^{\circ}\text{C}$ . Pak teplota vody v nádobě po vyrovnání teplot je  $41^{\circ}\text{C}$ .

Příklad 5.116. Kolik vody o teplotě  $16^{\circ}\text{C}$  musíme nalít do nádoby s ocelovým válcem o hmotnosti 2,3 kg a teplotě  $96^{\circ}\text{C}$ , aby se válec po vyrovnání teplot ochladil na teplotu  $23^{\circ}\text{C}$ ? Měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrná tepelná kapacita oceli je  $461 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo odebrané ocelovému válci je  $Q_2 = 77402 \text{ [J]}$ . Teplo dodané přidané vodě o teplotě  $16^{\circ}\text{C}$  je  $Q_1 = 77402 \text{ [J]}$ , pak množství přidané této vody musí být  $m_1 = 2,642 \text{ [kg]}$ .

Příklad 5.117. Vypočtete teplotu 6,4 kg vody, kterou musíme nalít do nádoby s ocelovým válcem o hmotnosti 2,6 kg a teplotě  $97^{\circ}\text{C}$ , aby se válec po vyrovnání teplot ochladil na  $25^{\circ}\text{C}$ . Měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrná tepelná kapacita oceli je  $461 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo odebrané ocelovému válci je  $Q_2 = 86299 \text{ [J]}$ . Teplo dodané přidané vodě o teplotě  $25^{\circ}\text{C}$  je  $Q_1 = 86299 \text{ [J]}$ , pak teplota 6,4 kg přidané vody musí být  $t_1 = 21,78 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$ .



Příklad 5.118. V nádobě je ocelový válec o hmotnosti 2,25 kg a teplotě 96°C, na který nalijeme 5,2 kg vody o teplotě 16°C. Vypočítejte teplotu vody a ocelového válce po vyrovnání teplot. Měrná tepelná kapacita vody je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a měrná tepelná kapacita oceli je 461 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Ocelovému válci je odebráno teplo  $Q_2 = Q_1$ , tj. teplo dodanému nalité vodě do nádoby, pak teplota vody a ocelového válce po vyrovnání teplot bude  $t_s = 19,64$ [°C]. Teplo odebrané ocelovému válci je  $Q_2 = 79206$  [J] a teplo dodané vodě je  $Q_1 = 79206$  [J].

Příklad 5.119. Kolik vody o teplotě 18°C musíme nalít do nádoby s ocelovým válcem o průměru 70 mm, délce 125 mm a teplotě 97°C, aby se válec po vyrovnání teplot ochladil na teplotu 25°C. Hustota oceli je 7850 kg.m<sup>-3</sup>, měrná tepelná kapacita vody je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a měrná tepelná kapacita oceli je 461 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Objem ocelového válce je  $V_2 = 0,000481$  [m<sup>3</sup>]. Hmotnost ocelového válce je  $m_2 = 3,777$  [kg]. Teplo odebrané ocelovému válci je  $Q_2 = 125366$  [J]. Teplo dodané přidané vodě o teplotě 18°C je  $Q_1 = 125366$  [J], pak množství přidané této vody musí být  $m_1 = 4,278$  [kg].

Příklad 5.120. V nádobě je 7,4 kg vody o teplotě 18°C. Do nádoby vložíme ocelový pravidelný čtyřboký hranol o straně podstavy 140 mm, výšce 160 mm a teplotě 94°C. Vypočítejte teplotu vody v nádobě po vyrovnání teplot, jestliže hustota oceli je 7850 kg.m<sup>-3</sup>, měrná tepelná kapacita vody je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a měrná tepelná kapacita oceli je 461 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Objem ocelového hranolu je  $V_2 = 0,003136$  [m<sup>3</sup>]. Hmotnost ocelového hranolu je  $m_2 = 24,618$  [kg]. Ocelovému hranolu je odebráno teplo  $Q_2 = Q_1$ , tj. teplo dodanému nalité vodě do nádoby, pak teplota vody a ocelového hranolu po vyrovnání teplot bude  $t_s = 38,38$  [°C]. Teplo odebrané ocelovému hranolu je  $Q_2 = 631226$  [J] a teplo dodané vodě je  $Q_1 = 631226$  [J].

Příklad 5.121. V nádobě o vnitřním průměru 250 mm dosahuje voda o teplotě 15°C do výšky 130 mm od dna nádoby. Vypočítejte teplotu vody v nádobě po vyrovnání teplot, jestliže přidáme-li do nádoby 3,1 litrů vody o teplotě 87°C. Hustota vody je 1000 kg.m<sup>-3</sup> a měrná tepelná kapacita vody je 4186 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Objem vody v nádobě je  $V_1 = 0,006381$  [m<sup>3</sup>]. Hmotnost vody v nádobě, to jest vody o teplotě 15°C, je  $m_1 = 6,381$  [kg]. Hmotnost vody přidané do nádoby, to jest vody o teplotě 87°C, je  $m_2 = 3,1$  [kg]. Dojde-li k vyrovnání teplot, pak pro sdílená tepla mezi oběma látkami platí  $Q_1 = Q_2$  a výsledná teplota je  $t_s = 38,54$ °C. Sdílené teplo mezi oběma látkami je  $Q_1 = Q_2 = 628813$  [J].

Příklad 5.122. V nádobě o vnitřním průměru 280 mm dosahuje voda o teplotě 12°C do výšky 160 mm. Do nádoby vložíme ocelový čtyřboký hranol o stranách podstavy a = 140 mm a b = 160 mm, výšce 180 mm a teplotě 98°C. Vypočítejte množství

odebraného tepla hranolu do vyrovnání teplot, jestliže hustota oceli je  $7850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a měrná tepelná kapacita vody je  $461 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , hustota vody je  $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Objem vody v nádobě je  $V_1 = 0,00985 \text{ [m}^3\text{]}$ . Hmotnost vody v nádobě je  $m_1 = 9,852 \text{ [kg]}$ . Objem ocelového čtyřbokého hranolu je  $V_2 = 0,00403 \text{ [m}^3\text{]}$ . Hmotnost ocelového čtyřbokého hranolu je  $m_2 = 31,651 \text{ [kg]}$ . Dojde-li k vyrovnání teplot, pak pro sdílená tepla mezi oběma látkami platí  $Q_1 = Q_2$  a výsledná teplota je  $t_s = 13,06^\circ\text{C}$ . Teplo odebrané vodou ocelovému hranolu je  $Q_2 = 1239369 \text{ [J]}$ .

Příklad 5.123. V nádobě je 7,4 kg ledu o teplotě  $0^\circ\text{C}$ . Vypočítejte kolik vody o teplotě  $72^\circ\text{C}$  musíme do nádoby nalít, aby po vyrovnání teplot byla v nádobě voda  $18^\circ\text{C}$  teplá. Teplota tání ledu je  $0^\circ\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 2471600 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k ohřátí vody vzniklé z ledu z  $0^\circ\text{C}$  na  $18^\circ\text{C}$  je  $Q_{1V} = 557575 \text{ [J]}$ , množství přidané vody o teplotě  $72^\circ\text{C}$  je  $m_2 = 13,4 \text{ [kg]}$ .

Příklad 5.124. V nádobě je 2,5 kg ledu o teplotě  $-12^\circ\text{C}$ . Vypočítejte kolik vody o teplotě  $58^\circ\text{C}$  musíme do nádoby nalít, aby po vyrovnání teplot byla v nádobě voda  $0^\circ\text{C}$  teplá. Teplota tání ledu je  $0^\circ\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-12^\circ\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$  je  $Q_{1L} = 62850 \text{ [J]}$ , teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 835000 \text{ [J]}$ , množství přidané vody o teplotě  $86^\circ\text{C}$  je  $m_2 = 3,698 \text{ [kg]}$ .

Příklad 5.125. V nádobě je 2,8 kg ledu o teplotě  $-15^\circ\text{C}$ . Vypočítejte kolik vody o teplotě  $86^\circ\text{C}$  musíme do nádoby nalít, aby po vyrovnání teplot byla v nádobě voda  $21^\circ\text{C}$  teplá. Teplota tání ledu je  $0^\circ\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-15^\circ\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$  je  $Q_{1L} = 87990 \text{ [J]}$ , teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 935200 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k ohřátí vody vzniklé z ledu z  $0^\circ\text{C}$  na  $21^\circ\text{C}$  je  $Q_{1V} = 246137 \text{ [J]}$ , množství přidané vody o teplotě  $86^\circ\text{C}$  je  $m_2 = 4,665 \text{ [kg]}$ .

Příklad 5.126. V nádobě je 2,9 kg ledu o teplotě  $-5^\circ\text{C}$ . Vypočítejte kolik vody o teplotě  $62^\circ\text{C}$  musíme do nádoby nalít, aby po vyrovnání teplot byla v nádobě voda  $19^\circ\text{C}$  teplá. Teplota tání ledu je  $0^\circ\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-5^{\circ}\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{\text{IL}} = 30378 \text{ [J]}$ , teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 968600 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k ohřátí vody vzniklé z ledu z  $0^{\circ}\text{C}$  na  $19^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{\text{IV}} = 230649 \text{ [J]}$ , množství přidané vody o teplotě  $62^{\circ}\text{C}$  je  $m_2 = 6,831 \text{ [kg]}$ .

Příklad 5.127. V nádobě je 3,2 kg ledu o teplotě  $-8^{\circ}\text{C}$ . Vypočtete potřebnou teplotu 6,6 kg vody, kterou musíme do nádoby nalít, aby po vyrovnání teplot byla v nádobě voda  $25^{\circ}\text{C}$  teplá. Teplota tání ledu je  $0^{\circ}\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J.kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-8^{\circ}\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{\text{IL}} = 53632 \text{ [J]}$ , teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 1068800 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k ohřátí vody vzniklé z ledu z  $0^{\circ}\text{C}$  na  $17^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{\text{IV}} = 334880 \text{ [J]}$ , teplota 6,6 kg přidané vody o teplotě  $77,75 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$ .

Příklad 5.128. V nádobě je 6,8 kg vody o teplotě  $82^{\circ}\text{C}$ . Vypočtete kolik ledu o teplotě  $-9^{\circ}\text{C}$  musíme do nádoby přidat, aby po vyrovnání teplot byla v nádobě voda  $26^{\circ}\text{C}$  teplá. Teplota tání ledu je  $0^{\circ}\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J.kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo odebrané vodě při ochlazení z teploty  $82^{\circ}\text{C}$  na teplotu  $26^{\circ}\text{C}$  je  $Q_2 = 1594029 \text{ [J]}$ , množství přidaného ledu do nádoby o teplotě  $-9^{\circ}\text{C}$  je  $m_1 = 3,453 \text{ [kg]}$ .

Příklad 5.129. Do nádoby s 4,9 kg vody o teplotě  $14^{\circ}\text{C}$  vložíme 2,4 kg ledu o teplotě  $0^{\circ}\text{C}$ . Vypočtete teplotu směsi v nádobě po vyrovnání teplot, případně kolik ledu ve vodě zůstane. Teplota tání ledu je  $0^{\circ}\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J.kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 801600 \text{ [J]}$ , teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  na vodu o teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{1\text{P}} = 801600 \text{ [J]}$ , teplo, které lze odebrat vodě o teplotě  $25^{\circ}\text{C}$  při jejím ochlazení na  $0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{2\text{P}} = 143717 \text{ [J]}$ , protože  $Q_{1\text{P}} = 801600 \text{ [J]} > Q_{2\text{P}} = 143717 \text{ [J]}$ , pak všechny led NEROZTAJE, teplota směsi ledu s vodou v nádobě bude  $t_s = 0^{\circ}\text{C}$ , je množství roztaveného ledu je  $m_{1\text{R}} = 0,43 \text{ [kg]}$  a v nádobě zůstane  $m_{\text{L}} = 1,97 \text{ [kg]}$  ledu.

Příklad 5.130. Do nádoby s 5,9 kg vody o teplotě  $58^{\circ}\text{C}$  vložíme 2,3 kg ledu o teplotě  $0^{\circ}\text{C}$ . Vypočtete teplotu směsi v nádobě po vyrovnání teplot, případně kolik ledu ve vodě zůstane. Teplota tání ledu je  $0^{\circ}\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J.kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 768200 \text{ [J]}$ . Teplo odebrané vodě při jejím ochlazení z  $25^{\circ}\text{C}$  na  $0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{2\text{P}} = 716909 \text{ [J]}$ , Protože  $Q_{1\text{P}} = 768200 \text{ [J]} > Q_{2\text{P}} = 716909 \text{ [J]}$ , pak všechny led NEROZTAJE, zeplota směsi

v nádobě bude  $t_S = 0^\circ\text{C}$ , je množství roztaveného ledu je  $m_{1R} = 8,046$  [kg] a v nádobě zůstane  $m_L = 0,154$  [kg] ledu.

Příklad 5.131. Do nádoby s 6,1 kg vody o teplotě  $24^\circ\text{C}$  vložíme 2,9 kg ledu o teplotě  $-14^\circ\text{C}$ . Vypočtete teplotu směsi po vyrovnání teplot nebo kolik ledu ve vodě zůstane. Teplota tání ledu je  $0^\circ\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-14^\circ\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$  je  $Q_{1L} = 169952$  [J], teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 968600$  [J], teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-14^\circ\text{C}$  na vodu o teplotě  $0^\circ\text{C}$  je  $Q_{1P} = 1138552$  [J], teplo odebrané vodě při jejím ochlazení z  $24^\circ\text{C}$  na  $0^\circ\text{C}$  je  $Q_{2P} = 306708$  [J], protože  $Q_{1P} = 1138552$  [J]  $>$   $Q_{2P} = 306708$  [J], pak všechen led NEROZTAJE, teplota směsi v nádobě bude  $t_S = 0^\circ\text{C}$ , je množství roztaveného ledu je  $m_{1R} = 0,409$  [kg] a v nádobě zůstane  $m_L = 2,491$  [kg] ledu.

Příklad 5.132. Do nádoby s 4,7 kg vody o teplotě  $51^\circ\text{C}$  vložíme 1,75 kg ledu o teplotě  $-5^\circ\text{C}$ . Vypočtete teplotu směsi po vyrovnání teplot nebo kolik ledu ve vodě zůstane. Teplota tání ledu je  $0^\circ\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-5^\circ\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^\circ\text{C}$  je  $Q_{1L} = 36628$  [J], teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 584500$  [J], teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-5^\circ\text{C}$  na vodu o teplotě  $0^\circ\text{C}$  je  $Q_{1P} = 621128$  [J], teplo, odebrané vodě při jejím ochlazení z  $51^\circ\text{C}$  na  $0^\circ\text{C}$  je  $Q_{2P} = 502172$  [J], protože  $Q_{1P} = 621128$  [J]  $>$   $Q_{2P} = 502172$  [J], pak všechen led NEROZTAJE, teplota směsi v nádobě bude  $t_S = 0^\circ\text{C}$ , je množství roztaveného ledu je  $m_{1R} = 1,394$  [kg] a v nádobě zůstane  $m_L = 0,356$  [kg] ledu.

Příklad 5.133. Do nádoby s 5,55 kg vody o teplotě  $68^\circ\text{C}$  vložíme 2,45 kg ledu o teplotě  $0^\circ\text{C}$ . Vypočtete teplotu směsi v nádobě po vyrovnání teplot, případně kolik ledu ve vodě zůstane. Teplota tání ledu je  $0^\circ\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 818300$  [J], teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $0^\circ\text{C}$  na vodu o teplotě  $0^\circ\text{C}$  je  $Q_{1P} = 818300$  [J], teplo odebrané vodě při jejím ochlazení z  $68^\circ\text{C}$  na  $0^\circ\text{C}$  je  $Q_{2P} = 1579796$  [J], protože  $Q_{2P} = 1579796$  [J]  $>$   $Q_{1P} = 818300$  [J], pak všechen led ROZTAJE. Teplota směsi v nádobě bude  $t_S > 0^\circ\text{C}$ , pak  $t_S = 22,74^\circ\text{C}$ , v nádobě zůstane  $m_L = 0$  [kg] ledu a  $m_V = 8$  [kg] vody.

Příklad 5.134. Do nádoby s 4,25 kg vody o teplotě  $64^\circ\text{C}$  vložíme 1,75 kg ledu o teplotě  $-12^\circ\text{C}$ . Vypočtete teplotu směsi po vyrovnání teplot nebo kolik ledu ve vodě zůstane. Teplota tání ledu je  $0^\circ\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-12^{\circ}\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{1L} = 43995$  [J], teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 584500$  [J], teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-12^{\circ}\text{C}$  na vodu o teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{1P} = 628495$  [J], teplo odebrané vodě při jejím ochlazení z  $64^{\circ}\text{C}$  na  $0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{2P} = 1138592$  [J], protože  $Q_{2P} = 1138592$  [J]  $>$   $Q_{1P} = 628495$  [J], pak všechen led ROZTAJE. Teplota směsi v nádobě bude  $t_s > 0^{\circ}\text{C}$ , pak  $t_s = 20,31^{\circ}\text{C}$ , v nádobě zůstane  $m_L = 0$  [kg] ledu a  $m_V = 6$  [kg] vody.

Příklad 5.135. Do nádoby s 2,85 kg vody o teplotě  $58^{\circ}\text{C}$  vložíme 1,25 kg ledu o teplotě  $-13^{\circ}\text{C}$ . Vypočítejte teplotu směsi po vyrovnání teplot nebo kolik ledu ve vodě zůstane. Teplota tání ledu je  $0^{\circ}\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095$   $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186$   $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000$   $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-13^{\circ}\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{1L} = 34044$  [J], teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 417500$  [J], teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-13^{\circ}\text{C}$  na vodu o teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{1P} = 451544$  [J], teplo odebrané vodě při jejím ochlazení z  $58^{\circ}\text{C}$  na  $0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{2P} = 691946$  [J], protože  $Q_{2P} = 691946$  [J]  $>$   $Q_{1P} = 451544$  [J], pak všechen led ROZTAJE. Teplota směsi v nádobě bude  $t_s > 0^{\circ}\text{C}$ , pak  $t_s = 14,01^{\circ}\text{C}$ , v nádobě zůstane  $m_L = 0$  [kg] ledu a  $m_V = 4,1$  [kg] vody.

Příklad 5.136. Do nádoby s 3,2 kg ledu o teplotě  $-9^{\circ}\text{C}$  přidáme 6 kg vody o teplotě  $53^{\circ}\text{C}$  vložíme. Vypočítejte teplotu směsi po vyrovnání teplot nebo kolik ledu ve vodě zůstane. Teplota tání ledu je  $0^{\circ}\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095$   $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186$   $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000$   $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

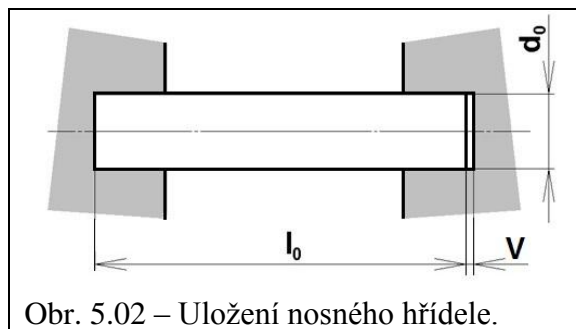
Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-9^{\circ}\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{1L} = 60336$  [J], teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 1068800$  [J], teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-9^{\circ}\text{C}$  na vodu o teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{1P} = 1129136$  [J], teplo odebrané vodě při jejím ochlazení z  $53^{\circ}\text{C}$  na  $0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{2P} = 1331148$  [J], protože  $Q_{2P} = 1331148$  [J]  $>$   $Q_{1P} = 1129136$  [J], pak všechen led ROZTAJE. Teplota směsi v nádobě bude  $t_s > 0^{\circ}\text{C}$ , pak  $t_s = 5,24^{\circ}\text{C}$ , v nádobě zůstane  $m_L = 0$  [kg] ledu a  $m_V = 9,2$  [kg] vody.

Příklad 5.137. Do nádoby s 2,6 kg ledu o teplotě  $-8^{\circ}\text{C}$  přidáme 4 kg vody o teplotě  $35^{\circ}\text{C}$  vložíme. Vypočítejte teplotu směsi po vyrovnání teplot nebo kolik ledu ve vodě zůstane. Teplota tání ledu je  $0^{\circ}\text{C}$ , měrná tepelná kapacita ledu je  $2095$   $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4186$   $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $334000$   $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Tepelné ztráty s okolím zanedbejte.

Výsledek: Teplo potřebné k ohřátí ledu z teploty  $-8^{\circ}\text{C}$  na teplotu tání  $t_{1,2} = 0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{1L} = 43576$  [J], teplo potřebné roztavení ledu je  $Q_{1,2} = 868400$  [J], teplo potřebné k přeměně ledu o teplotě  $-8^{\circ}\text{C}$  na vodu o teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{1P} = 911976$  [J], teplo odebrané vodě při jejím ochlazení z  $35^{\circ}\text{C}$  na  $0^{\circ}\text{C}$  je  $Q_{2P} = 586040$  [J], protože  $Q_{1P} = 911976$  [J]  $>$   $Q_{2P} = 586040$  [J], pak všechen led NEROZTAJE,

teplota směsi v nádobě bude  $t_s = 0^\circ\text{C}$ , je množství roztaveného ledu je  $m_{1R} = 1,624$  [kg] a v nádobě zůstane  $m_L = 0,976$  [kg] ledu.

Příklad 5.137. Neotočný nosný hřídel o průměru  $d_0 = 80$  mm a  $l_0 = 350$  mm z materiálu 11 500 je uložen dle obrázku 5.02. Hřídel je namontován s vůlí  $V = 0,3$  mm při teplotě  $15^\circ\text{C}$  a při provozu se hřídel může ohřát na teplotu  $160^\circ\text{C}$ . Vypočtete, o kolik by se hřídel prodloužil při ohřátí na



Obr. 5.02 – Uložení nosného hřídele.

teplotu  $160^\circ\text{C}$ . Dále vypočtete, jaké tlakové napětí v hřídeli vznikne při uložení dle obrázku, jestliže pro materiál hřídele je součinitel teplotní délkové roztažnosti je  $\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  a modul pružnosti v tlaku je  $2,1 \cdot 10^5$  MPa.

Výsledek: Teplotní rozdíl je  $\Delta t = 145$  [K], tepelné prodloužení hřídele  $\Delta l_t = l_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t = 0,25 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 0,000609$  [m], zkrácení hřídele po tepelné dilataci je  $\Delta l = 0,000309$  [m], z Hookeova zákona napětí je  $\sigma_t = 64,9$  [MPa].