

2.6.5 Výměny tepla při změnách skupenství

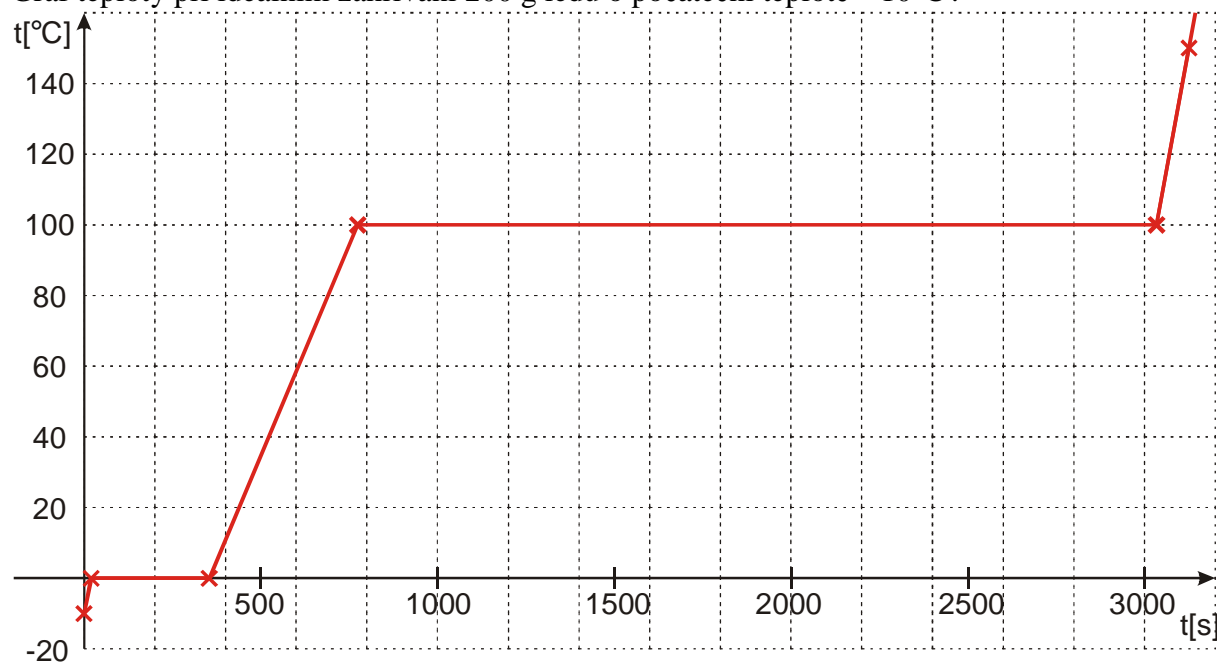
- zvyšování teploty: $Q = mc\Delta t$,
- změna skupenství: $Q = ml_x$.

Tepelné konstanty vody: $c(\text{led}) = 2000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $l_t = 334000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,

$c(\text{voda}) = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $l_v = 2260000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, $c(\text{pára}) = 1840 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Př. 1: V uzavřené nádobě, která udržuje stálý vnitřní tlak, je umístěno 200 g drceného ledu o teplotě -10°C . Nádobu začneme rovnoměrně zahřívat (stálým výkonem). Nakresli graf, který zachycuje závislost teploty vody na čase v průběhu zahřívání.

Graf teploty při ideálním zahřívání 200 g ledu o počáteční teplotě -10°C .



Př. 2: Urči tepelný výkon vařiče. Souřadnice křížků: $[0; -10]$, $[20; 0]$, $[354; 0]$, $[774; 100]$, $[3034; 100]$, $[3126; 150]$.

Ohřívání ledu $\tau = 20 \text{ s}$, $\Delta t = 10^\circ\text{C}$, $m = 0,2 \text{ kg}$, $c = 2000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $P = ?$

$$Q = mc\Delta t = P\tau \Rightarrow P = \frac{mc\Delta t}{\tau} = \frac{0,2 \cdot 2000 \cdot 10}{20} \text{ W} = 200 \text{ W}$$

Tání ledu $\tau = 354 - 20 \text{ s} = 334 \text{ s}$, $m = 0,2 \text{ kg}$, $l_t = 334000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, $P = ?$

$$Q = ml_t = P\tau \Rightarrow P = \frac{ml_t}{\tau} = \frac{0,2 \cdot 334000}{334} \text{ W} = 200 \text{ W}$$

Ohřívání vody $\tau = 774 - 354 \text{ s} = 420 \text{ s}$, $\Delta t = 100^\circ\text{C}$, $m = 0,2 \text{ kg}$, $c = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $P = ?$

$$Q = mc\Delta t = P\tau \Rightarrow P = \frac{mc\Delta t}{\tau} = \frac{0,2 \cdot 4200 \cdot 100}{420} \text{ W} = 200 \text{ W}$$

Vyvaření vody $\tau = 3034 - 774 \text{ s} = 2260 \text{ s}$, $m = 0,2 \text{ kg}$, $l_v = 2260000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, $P = ?$

$$Q = ml_v = P\tau \Rightarrow P = \frac{ml_v}{\tau} = \frac{0,2 \cdot 2260000}{2260} \text{ W} = 200 \text{ W}$$

Ohřívání páry $\tau = 3126 - 3034 \text{ s} = 92 \text{ s}$, $\Delta t = 50^\circ\text{C}$, $m = 0,2 \text{ kg}$, $c = 1840 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $P = ?$

$$Q = mc\Delta t = P\tau \Rightarrow P = \frac{mc\Delta t}{\tau} = \frac{0,2 \cdot 1840 \cdot 50}{92} \text{ W} = 200 \text{ W}$$

Př. 3: Do kýble se sedmi litry vody o teplotě 15°C přilijeme $0,5 \text{ kg}$ roztaveného olova o teplotě tání. Urči konečná teplotu vody (a olova).

$l_t(\text{Pb}) = 23000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, $c(\text{Pb}) = 129 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $t_t = 327^\circ\text{C}$, $c(\text{H}_2\text{O}) = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $t = ?$

Platí: $Q(\text{Pb}) = Q(\text{H}_2\text{O})$

$$m_o l_t + m_o c_o \Delta t_o = m_v c_v \Delta t_v \qquad m_o l_t + m_o c_o (t_t - t) = m_v c_v (t - t_v)$$

$$t = \frac{m_o l_t + m_o c_o t_t + m_v c_v t_v}{m_v c_v + m_o c_o} = \frac{0,5 \cdot 23000 + 0,5 \cdot 129 \cdot 327 + 7 \cdot 4200 \cdot 15}{7 \cdot 4200 + 0,5 \cdot 129} \text{ }^\circ\text{C} = 16,1^\circ\text{C}$$

Př. 4: Do uzavřené nádoby vhodíme 2 kg ledu o teplotě -15°C , 1 kg vody 30°C a $0,5 \text{ kg}$ vodní páry o teplotě 120°C . Urči výsledný stav v nádobě.

Převedeme všechny části na vodu o teplotě 100°C .

2 kg ledu o teplotě -15°C na vodu o teplotě $100^\circ\text{C} \Rightarrow$ teplo dodáváme.

$$Q = mc_l \Delta t_1 + ml_t + mc_v \Delta t_2 = 2 \cdot 15 \cdot 2000 + 2 \cdot 334000 + 2 \cdot 4200 \cdot 100 \text{ J} = 1568000 \text{ J}$$

1 kg vody o teplotě 30°C na vodu o teplotě $100^\circ\text{C} \Rightarrow$ teplo dodáváme.

$$Q = mc_v \Delta t = 1 \cdot 4200 \cdot 70 \text{ J} = 294000 \text{ J}$$

$0,5 \text{ kg}$ páry o teplotě 120°C na vodu o teplotě $100^\circ\text{C} \Rightarrow$ teplo přijímáme.

$$Q = mc_p \Delta t + ml_t = 0,5 \cdot 20 \cdot 1840 + 0,5 \cdot 2260000 \text{ J} = 1148400 \text{ J}$$

Celková bilance:

- $1148400 - 1568000 - 294000 \text{ J} = -713600 \text{ J}$
- $3,5 \text{ kg}$ vody o teplotě 100°C

\Rightarrow voda bude studenější.

Ochlazování vody: $Q = mc\Delta t$

$$\Delta t = \frac{Q}{mc} = \frac{713600}{3,5 \cdot 4200} \text{ }^\circ\text{C} = 48,5^\circ\text{C} \Rightarrow \text{voda se ochladí na } 51,5^\circ\text{C}.$$

Smícháním součástí uvedených v zadání získáme po ustálení $3,5 \text{ kg}$ vody o teplotě $51,5^\circ\text{C}$.

Př. 5: Prostuduj tepelné konstanty vody a ethanolu a sestav návod na destilaci. Proč je pro dosažení většího podílu alkoholu nutné destilovat vícekrát?

Voda: $t_v = 100^\circ\text{C}$

Líh: $t_v = 78,4^\circ\text{C}$

Př. 6: Při skutečné destilaci se zahřívání zastavuje ještě jednou na teplotě 65°C . Vysvětli proč.

Př. 7: Průmyslově se vyrábí daleko více lihu, než se spotřebovává v potravinářství. Většina lihu je proto denaturalizována (znehodnocena) přidáním jedovatých přísad, které mají zabránit tomu, aby lidé tento líh kupovali místo lihu potravinářského, který je zdaněn spotřební daní a proto je daleko dražší. Jaké vlastnosti musí mít denaturační přísady?