

## 2.6.5 Výměny tepla při změnách skupenství

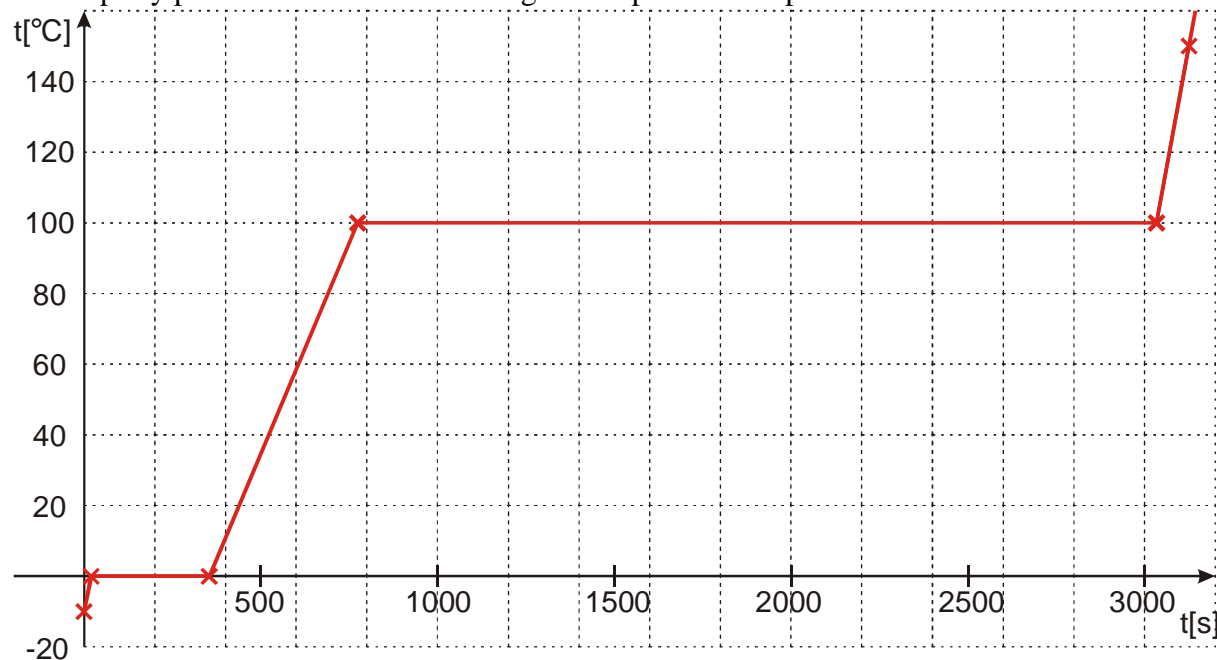
- zvyšování teploty:  $Q = mc\Delta t$ ,
- změna skupenství:  $Q = ml_x$ .

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  $-10^\circ\text{C}$ . 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  $-10^\circ\text{C}$ .



**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  $15^\circ\text{C}$  přilijeme  $0,5 \text{ kg}$  roztaveného olova o teplotě tání. Urči konečná teplotu vody (a olova).

$l_t(Pb) = 23000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $c(Pb) = 129 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $t_t = 327^\circ\text{C}$ ,  $c(H_2O) = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $t = ?$

Platí:  $Q(Pb) = Q(H_2O)$

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

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

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

Převedeme všechny části na vodu o teplotě  $100^\circ\text{C}$ .

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

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

$1 \text{ kg}$  vody o teplotě  $30^\circ\text{C}$  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  $120^\circ\text{C}$  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  $100^\circ\text{C}$

$\Rightarrow$  voda bude studenější.

Ochlazování vody:  $Q = mc\Delta t$

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

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  $65^\circ\text{C}$ . 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?