

## 2.1.4 Výpočet tepla a zákon zachování energie (kalorimetrická rovnice)

Teplu je fyzikální veličina, představuje také energii a je tudíž možné (i nutné) jej měřit. **Proč je také nutné jej měřit? Např. je předmětem obchodu - teplo dodávané domácnostem, vyrobené v teplárně, spotřebované v plynové karmě, elektrickém kotli, apod.**

Teplu přijaté nebo odevzdané tělesem je přímo úměrné hmotnosti tělesa, rozdílu počáteční a konečné teploty a měrné tepelné kapacitě látky, z níž je těleso vyrobeno. Vyjádřeno vzorcem pomocí fyzikálních veličin

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$$

$Q$  ... je teplo přijaté nebo odevzdané tělesem

$m$  ... je hmotnost tělesa

$c$  ... měrná tepelná kapacita

$(t_2 - t_1)$  ... je rozdíl teplot tělesa

Pokud dvě tělesa o různých teplotách přiložíme k sobě, smísíme, sesypeme, slijeme nebo vložíme apod. jedno do druhého či naopak, začne docházet k výměně tepla a to tak, že těleso teplejší předá část svého tepla tělesu chladnějšímu a tento děj skončí vyrovnáním teplot. Bude-li tato soustava těles izolovaná od okolí tak, že k tepelné výměně s okolím nedojde, bude platit zákon zachování tepelné energie:

**V izolované soustavě je při tepelné výměně teplo přijaté tělesem o nižší teplotě ( $t_1$ ) rovno teplu odevzdanému tělesem o vyšší teplotě ( $t_2$ ).**

Vyjádřeno fyzikálně rovnicí (1):

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t)$$

kde

$t$  je teplota těles po vyrovnání.

$t_1$  je teplota chladnějšího tělesa

$m_1$  je hmotnost chladnějšího tělesa

$c_1$  je měrná tepelná kapacita chladnějšího tělesa

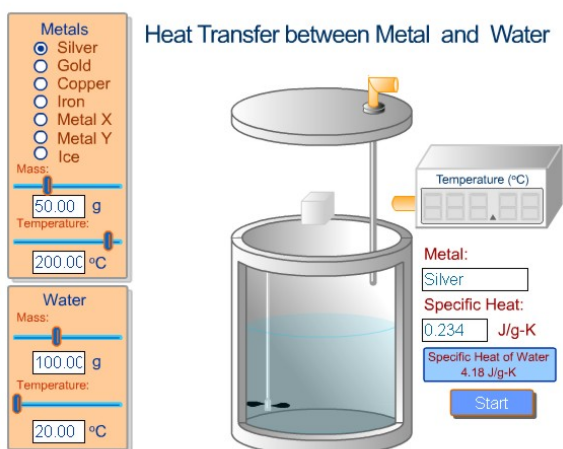
$t_2$  je teplota teplejšího tělesa

$m_2$  je hmotnost teplejšího tělesa

$c_2$  je měrná tepelná kapacita teplejšího tělesa

Rovnice (1) se také nazývá **KALORIMETRICKÁ** (též **SMĚŠOVACÍ**) ROVNICE.

Zde spustit animovanou simulaci vyrovnávání teplot v kalorimetru, soubory heat\_metal\_ice.html a heat\_metal\_ice.swf v adresáři \heat\_metal\_ice.



Příklady:

**Příklad 1:** Do ocelové vany o hmotnosti 25 kg a teplotě 20 °C napustíme 50 litrů vody o teplotě 60 °C. Na jaké teplotě se vana s vodou ustálí, považujeme-li vanu s vodou za izolovanou soustavu? Uvažujte měrnou tepelnou kapacitu oceli 450 J/(kg·°C).

**Zápis řešení:**

*vana*

$$\begin{aligned} m_1 &= 25 \text{ kg} \\ c_1 &= 450 \text{ J/(kg}\cdot\text{°C)} \\ t_1 &= 20 \text{ °C} \\ t &= ? \end{aligned}$$

*voda*

$$\begin{aligned} m_2 &= 50 \text{ kg} \\ c_2 &= 4200 \text{ J/(kg}\cdot\text{°C)} \\ t_2 &= 60 \text{ °C} \\ t &= ? \end{aligned}$$

**Postup řešení, nejprve obecně**

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t)$$

Po rozepsání, převedení členů s neznámou teplotou  $t$  na levou stranu a vyjádření teploty  $t$

$$t = \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot t_2 - m_1 \cdot c_1 \cdot t_1}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2}$$

a po dosazení známých hodnot

$$t = \frac{50.4200.60 - 25.900.20}{25.900 + 50.4200} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{12600000 - 225000}{11250 + 210000} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{12150000}{232500} \text{ } ^\circ\text{C} \doteq 52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Odpověď: Vana s vodou se ustálí na teplotě 52 °C.

**Příklad 2:** Do skleněné termoláhve (hmotnost tepelné izolace zanedbáme) o hmotnosti 1 kg a teplotě 20 °C byl nalit 1 litr právě vroucí vody o teplotě 100 °C. Na jaké hodnotě se ustálí teplota termoláhve s vodou? Měrná tepelná kapacita skla je 900 J/(kg.°C).

Zápis řešení:

*skleněná termoláhev*

$$m_1 = 1 \text{ kg}$$

$$c_1 = 900 \text{ J/(kg.}^\circ\text{C)}$$

$$t_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t = ?$$

*voda*

$$m_2 = 1 \text{ kg}$$

$$c_2 = 4200 \text{ J/(kg.}^\circ\text{C)}$$

$$t_2 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t = ?$$

Postup řešení, nejprve obecně

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t - t_1) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_2 - t)$$

Po rozepsání, převedení členů s neznámou teplotou  $t$  na levou stranu a vyjádření teploty  $t$

$$t = \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot t_2 - m_1 \cdot c_1 \cdot t_1}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2}$$

a po dosazení známých hodnot

$$t = \frac{1.4200.100 - 1.900.20}{1.900 + 1.4200} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{420000 - 18000}{900 + 4200} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{402000}{5100} \text{ } ^\circ\text{C} \doteq 79 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Odpověď: Teplota termoláhve s vodou se ustálí na teplotě 79 °C.

**Příklad 3:** Za jak dlouho ohřeje plastová rychlovarná konvice o příkonu 1000 Wattů 1 litr vody o teplotě 10 °C na teplotu 100 °C, neuvažujeme-li ohřívání konvice?

Zápis řešení:

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$c = 4200 \text{ J/(kg.}^\circ\text{C)}$$

$$t_2 - t_1 = \Delta t = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P = 1000 \text{ W}$$

$$T(\text{čas}) = ?$$

*Obecné řešení*

$$P \cdot T = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$T = \frac{m \cdot c \cdot \Delta t}{P}$$

*a po dosazení*

$$T = \frac{1.4200 \cdot 90}{1000} \text{ s} = \frac{378000}{1000} \text{ s} = 378 \text{ s} = 6 \text{ min } 18 \text{ s}$$

**Odpověď: Voda v konvici se ohřeje za 6 minut a 18 sekund.**

**Příklad 4:** Automobil o hmotnosti 1 t jede s kopce rychlostí 108 km/h a musí náhle kvůli překážce na vozovce úplně zabrzdit. Podaří se mu to na dráze 200 m a jeho nadmožská výška se při brzdění sníží o 10 metrů. Ocelové brzdy automobilu váží 30 kg a měrná tepelná kapacita oceli je 500 J/(kg. °C). O kolik °C se bez ochlazování ohřejí brzdy automobilu, uvažujeme-li, že při brzdění se veškerá energie vozidla nahromadí právě jen v brzdách.

**Zápis řešení:**

<i>Hmotnost automobilu</i>	$m_a = 1 \text{ kg}$
<i>Rychlost automobilu</i>	$v = 108 \text{ km/h}$
<i>Rozdíl výšek</i>	$h = 10 \text{ m}$
<i>Hmotnost brzd</i>	$m_b = 30 \text{ kg}$
<i>Měrná tepelná kapacita oceli</i>	$c = 500 \text{ J/(kg. } ^\circ\text{C)}$
<i>Ohřátí brzd (rozdíl teplot)</i>	$\Delta t = ?$

*Obecné řešení*

$$m_a g \cdot h + \frac{1}{2} m_a v^2 = m_b \cdot c \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{m_a g \cdot h + \frac{1}{2} m_a v^2}{m_b \cdot c}$$

*a po dosazení (při požadavku fyzikální korektnosti vzhledem k rozměrům jednotek)*

$$\Delta t = \frac{1000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg} \cdot \left(30 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{30 \text{ kg} \cdot 500 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}}$$

*nebo zjednodušeně*

$$\Delta t = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 10 + \frac{1}{2} \cdot 1000 (30)^2}{30 \cdot 500} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{100\,000 + 450\,000}{15\,000} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{550\,000}{15\,000} \text{ } ^\circ\text{C} \doteq \underline{\underline{36,7 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Odpověď: Brzdy automobilu se ohřejí přibližně o 36,7 °C.

Příklad 5/ O kolik °C by se u automobilu z příkladu 4 ohřály brzdy, kdyby každá ze čtyř jeho ocelových brzd vážila pouze 1,5 kg?

$$\Delta t = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 10 + \frac{1}{2} \cdot 1000 (30)^2}{6 \cdot 500} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{100\,000 + 450\,000}{3\,000} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{550\,000}{3\,000} \text{ } ^\circ\text{C} \doteq \underline{\underline{183 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Příklad 6/ O kolik °C by se u automobilu z příkladu 5 ohřály brzdy (o hmotnosti 6 kg), kdyby vozidlo na počátku brzdění mělo rychlost 216 km/h a snížilo při brzdění svoji nadmořskou výšku o 20 m?

$$\Delta t = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 20 + \frac{1}{2} \cdot 1000 (60)^2}{6 \cdot 500} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{200\,000 + 1800\,000}{3\,000} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{2\,000\,000}{3\,000} \text{ } ^\circ\text{C} \doteq \underline{\underline{667 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

## Opakování:

1. Na jakých veličinách závisí teplo přijaté nebo odevzdané tělesem. (Závisí na hmotnosti tělesa, jeho měrné tepelné kapacitě a rozdílu teplot, k němuž při vyrovnávání dojde)
2. Jak rozumíte veličině měrná tepelná kapacita? (Vyjadřuje množství tepla, které je třeba dodat jednomu kilogramu látky, aby zvýšila svoji teplotu o 1 °C)
3. Je měrná tepelná kapacita totéž co tepelná vodivost tělesa? (Nikoli. Např. měď má 6 krát větší tepelnou vodivost, než ocel, ale měrnou tepelnou kapacitu má 1,2 krát menší, než ocel. Hliník má 2 krát větší měrnou tepelnou kapacitu, než ocel, zatímco tepelnou vodivost přibližně 4 krát větší)
4. Proč ve filmu Obecná škola žáčkovi olizujícímu železné venkovní zábradlí přimrzl jazyk a jen velmi nemoudrý člověk by tento experiment opakoval?