

### 3.2.3 Měrná tepelná kapacita

**Předpoklady:** 030202

**Pomůcky:** přístup na internet (tablety, mobily, počítače)

**Př. 1:** Prohlédni si výsledky minulé hodiny a sestav vztah pro teplo (značka  $Q$ ), které musíme dodat látce při zahřívání.

Teplo je tím větší čím větší je:

- hmotnost látky  $m$ ,
- rozdíl teplot  $t_2 - t_1$ ,

a záleží na tom, jakou látku zahříváme (u jiných látek nebudeme násobit číslem 4200, kterým násobíme u vody).

$$Q = mk(t_2 - t_1)$$

Konstanta  $k$  se značí  $c$  a nazývá se **měrná tepelná kapacita**.

**Množství tepla potřebného k ohřátí  $m$  kg látky z teploty  $t_1$  na teplotu  $t_2$  je dáno vztahem  $Q = mc(t_2 - t_1)$ , kde  $c$  je měrná tepelná kapacita látky.**

Vztah pro množství tepla se často přepisuje takto:  $Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = m \cdot c \cdot \Delta t$ . Dvojice znaků  $\Delta t$  (čteme "delta t") představuje **změnu teploty** ( $\Delta t = t_2 - t_1$ ), znak  $\Delta$  ("delta") se používá obecně (a velmi často) jako označení změny libovolné veličiny ( $\Delta V$  - změna objemu,  $\Delta v$  - změna rychlosti).

**Př. 2:** Odvoď jednotku pro měrnou tepelnou kapacitu.

Vyjádříme  $c$  ze vztahu:  $Q = mc(t_2 - t_1) \quad / : m(t_2 - t_1)$

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

Dosadíme jednotky již známých veličin:  $c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg} \cdot 1^\circ\text{C}} = 1 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ .

Měrnou tepelnou kapacitu udáváme  $\text{J/kg}^\circ\text{C}$  (Joule na kilogram stupeň Celsia).

**Př. 3:** Zkus co nejpřesněji vysvětlit, co udává hodnota měrné tepelné kapacity.

Měrná tepelná kapacita látky udává množství tepla, které musíme dodat 1 kg látky, aby se ohřál o  $1^\circ\text{C}$ .

**Př. 4:** Bojler s topnou spirálou o výkonu 2500 W má objem 250 l a je nastaven tak, aby vodu ohříval na 80°C. Jak dlouho bude trvat, než po sepnutí ohřeje vodu o počáteční teplotě 12°C? Kolik ohřátí plného bojleru stojí při ceně 1,50 Kč za kWh?

Teplo, které musíme dodat vodě:  $Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = 250 \cdot 4200 \cdot (80 - 12) \text{ J} = 71\,400\,000 \text{ J}$

Teplo dodané vodě představuje práci topné spirály.

$$P = \frac{W}{t} \quad / \cdot t$$

$$W = Pt \quad / : P$$

$$t = \frac{W}{P} = \frac{71\,400\,000}{2500} \text{ s} = 28\,560 \text{ s} = 7,9 \text{ h} = 7 \text{ h } 56 \text{ min}$$

$$1 \text{ kWh} = 1000 \cdot 3600 \text{ J} = 3\,600\,000 \text{ J}$$

Přímá úměrnost:

$$3\,600\,000 \text{ J} \quad \dots \quad 1,5 \text{ Kč}$$

$$71\,400\,000 \text{ J} \quad \dots \quad x$$

$$\frac{x}{71\,400\,000} = \frac{1,5}{3\,600\,000} \quad / \cdot 71\,400\,000$$

$$x = \frac{1,5}{3\,600\,000} \cdot 71\,400\,000 = 29,75 \text{ Kč}$$

Ohřívání vody bude trvat téměř 8 hodin a bude stát téměř 30 Kč.

**Dodatek:** Cenu je možné spočítat daleko přímočařeji. Bojler odebírá ze sítě 2,5 kW po dobu 7,9 hodiny  $\Rightarrow$  spotřebuje  $2,5 \cdot 7,9 \text{ kWh} = 19,75 \text{ kWh}$ , za které zaplatíme  $19,75 \cdot 1,5 \doteq 30 \text{ Kč}$ .

**Pedagogická poznámka:** Následující příklad řeší žáci buď na vlastních zařízeních nebo na školních tabletech od okamžiku, kdy dořeší předchozí příklad. Snažím se, aby něco našli i v tabulkách a za nejdůležitější považují závěrečnou kontrolu, kde zjistíme, že u některých položek je velká shoda a jiných jsou velké rozdíly a vybereme si hodnoty, které budeme používat v dalších příkladech (většinou jde o odhadnutou střední hodnotu). Štěstím je samozřejmě, pokud se podaří najít hodně odlišnou hodnotu, kterou pak společně vyřadíme. Bavíme se o tom, proč u některých položek jsou větší rozdíly než u jiných.

**Př. 5:** Doplň pomocí tabulek a internetu tabulku měrných tepelných kapacit a hustot látek. Co znamená index  $c_{20}$  používaný u značky pro měrnou tepelnou kapacitu v některých tabulkách?

|                                  | voda | vzduch | líh | DTD | olovo | cihla plná | dřevo | železo | olej | rtuť | polystyren |
|----------------------------------|------|--------|-----|-----|-------|------------|-------|--------|------|------|------------|
| $c \text{ [J/kg}^\circ\text{C]}$ |      |        |     |     |       |            |       |        |      |      |            |
| $\rho \text{ [kg/m}^3\text{]}$   |      |        |     |     |       |            |       |        |      |      |            |

Hodnoty pro jednotlivé položky se liší podle zdroje, kde jsme je našli.

Malé rozdíly jsou v hodnotách pro prvky, velké rozdíly jsou v hodnotách pro stavební materiály  $\Rightarrow$  zřejmý důvod: olovo je prvek, je všude stejné, cihla není zdaleka tak jednoznačně definovaná, hodnoty se mohou lišit podle konkrétního výrobce.

|                             | voda | vzduch | líh  | DTD  | olovo | cihla plná | dřevo | železo | olej | rtuť  | polystyren |
|-----------------------------|------|--------|------|------|-------|------------|-------|--------|------|-------|------------|
| $c$ [J/kg°C]                | 4200 | 1010   | 2450 | 1500 | 129   | 920        | 2500  | 450    | 1900 | 140   | 1300       |
| $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | 1000 | 1,2    | 790  | 650  | 11300 | 2100       | 500   | 7800   | 900  | 13500 | 30         |

**Př. 6:** Urči množství tepla, které musíme dodat železnému závaží 1 kg, aby se ohřálo o 10°C.

Stačí dosadit do odvozeného vzorce:  $Q = mc\Delta t = 1 \cdot 450 \cdot 10 \text{ J} = 4500 \text{ J}$ .

Železnému závaží o hmotnosti 1 kg musíme dodat teplo 4500 J, aby se ohřálo o 10°C.

**Př. 7:** Teploměr obsahuje 5 g rtuti. Urči teplo, které rtuť přijme, pokud se ohřeje z 22°C na 37°C.

Stačí dosadit do odvozeného vzorce:  $Q = mc(t_2 - t_1) = 0,005 \cdot 140 \cdot (37 - 22) \text{ J} = 10,5 \text{ J}$ .

Rtuť v teploměru musí přijmout teplo 10,5 J

**Př. 8:** O kolik stupňů se ohřeje 0,5 kg olova, jestliže přijme teplo 1000 J?

Vyjádříme si ze vzorce pro teplo:  $Q = mc\Delta t \quad / : mc$

$$\Delta t = \frac{Q}{mc} = \frac{1000}{0,5 \cdot 129} \text{ °C} = 15,5 \text{ °C}$$

Olovo se ohřeje o 15,5°C.

**Př. 9:** Kolik odstáté vody bylo ve varné konvici o výkonu 1800 W, jestliže se začala vařit za 55 s? Potřebné veličiny odhadni.

Z údajů o konvici můžeme vypočítat práci, kterou vykonala (teplo, která voda přijala)  $\Rightarrow$  ve vzorci  $Q = mc\Delta t$  potřebujeme znát změnu teploty, abychom mohli dopočítat množství vody. Odhad: voda se ohřála o 80°C (z přibližně pokojové teploty 20°C na bod varu 100°C).

$$P = \frac{W}{t} \quad / \cdot t$$

$Pt = W$ , práce vykonaná konvicí se rovná teplu dodanému vodě:  $W = Q = mc\Delta t$ .

$$Pt = mc\Delta t \quad / : c\Delta t$$

$$m = \frac{Pt}{c\Delta t} = \frac{1800 \cdot 55}{4200 \cdot 80} \text{ kg} = 0,29 \text{ kg}$$

Ve varné konvici bylo přibližně 0,3 litru odstáté vody.

**Př. 10:** Petr sjíždí z kopce vysokého 58 m. O kolik stupňů se zahřejí ráfky jeho kol, pokud budeme předpokládat, že se na teplo pohlcené ráfky změní 60 % Petrovy původní polohové energie? Ráfky jsou z ocele a mají hmotnost 680 g. Ostatní potřebné veličiny odhadni.

Potřebujeme znát hmotnost Petra i kola (velikost polohové energie závisí na hmotnosti tělesa)

⇒ odhad: Petr 55 kg, kolo 12 kg.

Polohová energie na kopci:  $E = mgh = (55 + 12) \cdot 10 \cdot 58 \text{ J} \doteq 39\,000 \text{ J}$

Na teplo pohlcené ráfky se změní 60 % energie:  $0,6 \cdot 39\,000 \text{ J} = 23\,400 \text{ J}$

$$Q = mc\Delta t \quad / : mc$$

$$\Delta t = \frac{Q}{mc} = \frac{23\,400}{2 \cdot 0,68 \cdot 450} \text{ }^\circ\text{C} \doteq 38^\circ\text{C}$$

Ráfky kol se zahřejí o  $38^\circ\text{C}$ .

**Př. 11:** Výkonový transformátor v elektrárně je chlazený olejem a má při příkonu 20 MW účinnost 99,639 %. Urči, jaké množství oleje musí transformátorem za sekundu protéct, aby se jeho teplota nezvýšila o víc než  $45^\circ\text{C}$ .

Příkon 20 MW ⇒ každou sekundu do transformátoru přejde energie 20 000 000 J.

Účinnost 99,639 % ⇒ ztráty 0,361 % ⇒ ztráty:  $20\,000\,000 \cdot 0,00361 \text{ J} = 72\,200 \text{ J}$ .

V nejhorším případě se všechny tyto ztráty přemění na teplo a musí být předáno oleji, který transformátor chladí ⇒  $Q = 72\,200 \text{ J}$ .

$$Q = mc\Delta t \quad / : c\Delta t$$

$$= \frac{Q}{c\Delta t} = \frac{72\,200}{1900 \cdot 45} \text{ kg} \doteq 0,84 \text{ kg}$$

Transformátorem musí každou sekundu protéct 0,84 litru oleje.

**Shrnutí:** Množství tepla, které musí přijmout 1 kg látky, aby se ohřál o  $1^\circ\text{C}$  označujeme jako měrnou tepelnou kapacitu.