

3.1.2 Hustota II

Předpoklady: 030101

Pomůcky: vařící voda, stříkačka s uzávěrem, tabulky

Pedagogická poznámka: První domácí bádání zadávám povinně všem.

Př. 1: Dopln tabulku hustot některých běžných materiálů. Proč u některých není uvedena jedna hodnota?

Látka	Vzduch	Voda	Kámen	Dřevo	Železo	Zlato
Hustota [kg/m ³]						

Látka	Vzduch	Voda	Kámen	Dřevo	Železo	Zlato
Hustota [kg/m ³]	1,3 (normální podmínky)	1000	2000-2900	400-1000	7800	19290

Dřeva je mnoho druhů, kamenů také, proto není jejich hustota jedno číslo.

Př. 2: Urči hmotnost žulové dlažební kostky. Kostka má tvar krychle o hraně 16 cm.

Hustota žuly: 2600 – 2900 kg/m³ ⇒ budeme počítat se střední hodnotou 2750 kg/m³.

$$V = a^3 = 0,16^3 \text{ m}^3 = 0,0041 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad / \cdot V$$

$$m = \rho V = 2750 \cdot 0,0041 \text{ kg} = 11 \text{ kg}$$

Žulová kostka má hmotnost okolo 11 kg.

Př. 3: Odhadni hmotnost vzduchu ve třídě. Poté ji vypočti, rozměry třídy odhadni.

Odhad: 20 kg (za chvíli uvidíme, že tento běžný odhad je špatný).

Rozměry třídy: délka 8 m, šířka 5 m, výška 4 m.

$$V = abc = 8 \cdot 5 \cdot 4 \text{ m}^3 = 160 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad / \cdot V$$

$$m = \rho V = 1,3 \cdot 160 \text{ kg} = 208 \text{ kg}$$

Vzduch ve třídě má hmotnost přibližně 210 kg.

Př. 4: Petr si chce naložit do káry za auto 700 kg písku. Jak vysoká vrstva písku bude v káře o rozměrech 200 x 110 cm?

Hustota písku (Wikipedie) 1500 – 1700 kg/m³ ⇒ budeme počítat se střední hodnotou 1600 kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad / \cdot V$$

$$V \rho = m \quad / : \rho$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{700}{1600} \text{ m}^3 = 0,44 \text{ m}^3$$

Spočteme výšku písku v káře.

$$V = abc \quad / : ab$$

$$c = \frac{V}{ab} = \frac{0,44}{2 \cdot 1,1} \text{ m} = 0,2 \text{ m}$$

Písek může sahat maximálně do výšky 20 cm (pokud je rovnoměrně rozprostřen po celé ploše káry).

Dodatek: Maximální možné zatížení káry za auto je omezeno předpisy, u nebrzděných kár je okolo 700 kg. U mnoha běžných materiálů tak vychází překvapivě malé množství, které můžeme naložit.

Př. 5: Vysvětli, proč nebrzděná kára (kára bez vlastních brzd) má daleko menší povolenou nosnost než kára brzděná (s vlastními brzdami).

Důvod je v potřebě rychlého zastavení. Pokud má auto s károu rychle zastavit, musí na káru působit proti směru jejího pohybu obrovská síla.

- Nebrzděná kára: Brzdící sílu zajišťuje pouze koule, kterou je kára připevněna k autu \Rightarrow kára i s nákladem musí být lehká (aby i menší síla od koule dokázala káry zastavit a kára kouli neulomila).
- Brzděná kára: Brzdící sílu zajišťují brzdy káry \Rightarrow kára může být těžká, protože vlastní brzdy mohou zajistit velkou brzdící sílu.

Př. 6: Objem vody s rostoucí teplotou roste. Jak se s rostoucí teplotou mění hustota?

Objem vody s rostoucí teplotou roste \Rightarrow stejná hmotnost připadá na větší objem \Rightarrow ve

zlomku $\rho = \frac{m}{V}$ dělíme stejné číslo větším číslem \Rightarrow hustota se zmenšuje.

Př. 7: Najdi jevy, ze kterých je vidět, že hustota ledu, je menší než hustota vody.

Led plave na vodě.

Když zmrzne voda v plné láhvi na led, roztrhne láhev.

Př. 8: Čím déle je dřevo ponořené ve vodě, tím menší část ho vyčnívá nad hladinu. Jak se mění jeho hustota? Vysvětli.

Čím menší část dřeva vyčnívá nad hladinu, tím více se hustota dřeva blíží hustotě vody a zvětšuje se.

Dřevo obsahuje značné množství vzduchu, při dlouhodobém ponoření se na jeho místo dostává voda \Rightarrow hmotnost dřeva se zvětšuje a tím se zvětšuje i jeho hustota.

Př. 9: Největší škody na silnicích působí v zimě voda, která vzniká z tajícího sněhu, zatéká do škvír a v nich zamrzá. Proč?

Objem ledu, který ve škvíře vznikne zamrznutím, je větší než byl objem nateklé vody \Rightarrow led zvětšuje praskliny a trhá vozovku.

Pedagogická poznámka: Stlačování vzduchu u následujícího pokusu není problém, horší je to s jeho rozpínáním. Stříkačky je třeba ponořit do vařící vody, nestačí tedy držet otvor prstem. Já používám vybrané prázdné stříkačky s doplňovací sady pro inkoustovou tiskárnu (dodávají se s uzávěrem, který dostatečně drží).

Př. 10: Sleduj pokus se vzduchem ve stříkačce. Jak se v průběhu pokusu měnila hustota vzduchu? Urči jaké největší a jako nejmenší hustoty vzduch dosáhl. Na hodnoty veličin, které k výpočtu potřebuješ se zeptej experimentátora. Vysvětli, proč se objem vzduchu po zahřátí zvětšil.

Stlačování vzduchu ve stříkačce: objem se zmenšuje, hmotnost vzduchu se nemění (stříkačka je uzavřená a vzduch nemůže unikát) \Rightarrow hustota se zvětšuje.

Potřebné údaje: původní objem, stlačený objem, hmotnost vzduchu.

Hodnoty od experimentátora: $V_1 = 20 \text{ ml}$, $V_2 = 8 \text{ ml}$, hmotnost vzduchu experimentátor nezná.

Hmotnost vzduchu si můžeme spočítat z hustoty vzduchu za normálních podmínek:

$\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3 = 0,0013 \text{ g/cm}^3$ (platí $20 \text{ ml} = 20 \text{ cm}^3$, ušetříme si převádění i velmi malá čísla)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad / \cdot V$$

$$m = \rho V = 0,0013 \cdot 20 \text{ g} = 0,026 \text{ g}$$

$$\text{Hustota stlačeného vzduchu: } \rho = \frac{0,026}{8} \text{ g/cm}^3 = 0,0033 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Rozpínání vzduchu: } V_3 = 24 \text{ ml} = 24 \text{ cm}^3.$$

$$\text{Hustota rozepnutého vzduchu: } \rho = \frac{0,026}{24} \text{ g/cm}^3 = 0,0011 \text{ g/cm}^3$$

Vzduch se skládá z malých částecek, které se pohybují sem tam (tím narážejí do stěn stříkačky a snaží se ji odstrčit). Zahřátím se částecky zrychlí \Rightarrow narážejí do stěn i do pístu větší rychlostí a víc je odstrkávají \Rightarrow píst se posune tím se částecky naředí a znovu nastane rovnováha.

Pedagogická poznámka: Předchozí příklad je samozřejmě počítat i v kg, m^3 , vychází však zbytečně malé hodnoty a já se snažím, aby se žáci nedrželi zbytečně otrocky základních jednotek i v situaci, kdy nejsou příliš vhodné.

Pedagogická poznámka: Následující příklady se týkají jen těch nejšikovnějších, kteří se zabaví zejména tím, jakou hodnotu musí najít.

Př. 11: Automobil má nádrž na 45 litrů benzínu. Kolik kJ tepla se uvolní jeho spálením v motoru?

Množství energie, která se spálením uvolní, je uvedeno v tabulkách jako výhřevnost - pro benzín 42 700 kJ/kg \Rightarrow spálením 1 kg benzínu se uvolní teplo 42 700 kJ \Rightarrow musíme spočítat hmotnost benzínu v nádrži.

Hustota benzínu: 700 – 750 kg/m³ (použijeme střední hodnotu 725 kg/m³)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad / \cdot V$$

$$m = \rho V = 725 \cdot 0,045 \text{ kg} = 32,6 \text{ kg}$$

Uvolněné teplo: 32,6 · 42 700 kJ = 1 400 000 kJ = 1 400 MJ .

Dodatek: Druhou konstantou, která udává množství tepla v palivu, je měrné spalné teplo. Hodnota spalného tepla je větší, protože část energie uvolněné hořením je spojena s vodní párou, která při hoření vzniká. Pokud vodní pára unikne a její teplo se nevyužívá, uvolněné teplo se počítá jako výhřevnost. Pokud zařízení páru zachytí, zkondenzuje na vodu a tím z ní získá další energii, uvolněné teplo je větší a označujeme ho jako měrné spalné teplo. V našem případě je výhřevnost vhodnější, protože současné automobily nejsou schopné využít energii, která se uvolní do vodní páry unikající výfukem. Některé kotle dokáží páru přeměnit na kapalnou vodu. Pro taková zařízení je použití měrného spalného tepla případnější.

Př. 12: Porovnej množství energie v 1 litru benzínu a nafty.

Stejný postup jako v předchozím příkladu.

Benzín:

- hmotnost 1 litru: $m = \rho V = 725 \cdot 0,001 \text{ kg} = 0,725 \text{ kg}$,
- uvolněné teplo: $0,725 \cdot 42 700 \text{ kJ} = 31 000 \text{ kJ} = 31 \text{ MJ}$.

Nafta (hustota 830 kg/m³, výhřevnost 42 500 kJ/kg):

- hmotnost 1 litru: $m = \rho V = 830 \cdot 0,001 \text{ kg} = 0,83 \text{ kg}$,
- uvolněné teplo: $0,83 \cdot 42 500 \text{ kJ} = 35 000 \text{ kJ} = 35 \text{ MJ}$.

1 litr nafty obsahuje 35 MJ energie, 1 litr benzínu 31 MJ.

Dodatek: Obsah energie v 1 litru nafty je tedy o více než 11 % větší než v litru benzínu. Tato skutečnost je hlavním důvodem toho, proč mají naftové motory menší spotřebu (druhým nejdůležitějším důvodem je vyšší účinnost naftových motorů - o tom více později).

Domácí bádání: Porovnej, jak se zaboříš do matrace, když si na ni stoupneš, sedneš a lehneš. Vysvětli, proč se pokaždé matrace pohne jinak i když se Tvá hmotnost nemění.

Domácí bádání: Porovnej množství energie uložené v 1 litru benzínu, nafty a 1 kg baterie u elektromobilů.

Shrnutí: