

Úloha VIII.2 ... Ekologická

10 bodů; průměr 6,01; řešilo 214 studentů

Verča velmi ráda větrá, proto ve třídě otevřela všechna okna. Anežke však bývá velmi často zima, a tak je chtěla jít zavřít. Verča ji ale zastavila, protože v místnosti byl vydýchaný vzduch. Začaly spolu tedy přemýšlet, jak dlouho by v místnosti byly schopny přežít bez jakéhokoliv větrání. Udělejte totéž, tj. odhadněte, jak dlouho by člověk vydržel v běžné místnosti, ve které neprobíhá žádná výměna vzduchu s okolím. Potřebné údaje jako např. rozměry místnosti, spotřebu kyslíku atd. buď odhadněte tak, aby přibližně odpovídaly realitě, nebo dohleďte na internetu.

Ukazuje se, že pokud chceme v uzavřeném prostoru přežít co nejdéle, není našim největším nepřítelem nedostatek kyslíku (což nám napovídá počáteční instinkt), ale vysoké množství oxidu uhličitého. Tento fakt demonstrujeme pomocí následujícího hrubého odhadu. Některé zdroje¹ uvádějí, že nebezpečně nízká hladina kyslíku ve vzduchu je okolo 10 %, zatímco životu nebezpečný obsah CO_2 je již přibližně 5 %². Vzduch přitom běžně obsahuje přibližně 78 % dusíku, 21 % kyslíku a jen asi 0,05 % oxidu uhličitého. Když si v prvním přiblížení představíme, že při dýchání je molekula kyslíku přesně nahrazena molekulou CO_2 (k tomuto přiblížení se ještě vrátíme), dostaneme se k tomu, že při dosažení nebezpečné hladiny CO_2 bude ve vzduchu stále okolo 16 % kyslíku. Tato hladina je sice nezdravě nízká, ovšem není z krátkodobého hlediska smrtící. Tedy si v uzavřených prostorech bez jakékoli ventilace vzduchu skutečně musíme dávat pozor především na hladinu oxidu uhličitého.

Předěme nyní k naší úloze, tedy k výpočtu doby, za kterou by v běžné místnosti obsah CO_2 vzrostl na zmiňovanou nebezpečnou hladinu 5 %. Zdůrazněme ovšem hned na začátku, že se bude jednat pouze o přibližný výpočet, využijeme při něm četná zjednodušení (na která se vždy pokusíme patřičně upozornit). V přesný výsledek bychom totiž nemohli doufat, ani pokud bychom zjednodušení neprovedli, jelikož například samotné údaje o nebezpečných hladinách CO_2 nepocházejí z recenzovaných článků, nýbrž z běžných internetových stránek.

Uvažujme člověka v běžném pokoji o rozměrech $5\text{ m} \times 4\text{ m} \times 2,5\text{ m}$, tedy o objemu $V = 50\text{ m}^3$. Dospělý člověk v klidu se nadechne přibližně 15krát za minutu, přičemž objem vydechnutého vzduchu je okolo $0,51^3$ a tento vzduch má 4 % obsah CO_2^4 . Co ovšem představují tato procenta? V některých případech se jedná o objemová procenta, tj. jakou část z celkového objemu vzduchu daný plyn zabírá, na jiných stránkách nalezneme jednotky ppm (parts per million), tedy koncentrace. Většina zdrojů na internetu jednotky vůbec neuvádí. To nám ovšem naštěstí nevádí, neboť molární objemy běžných plynů se za normálních podmínek prakticky neliší⁵. Budeme tedy dále uvažovat, že se jedná vždy o objemová procenta (a tedy že každá molekula zabírá stejnou část prostoru). Tímto se zároveň zpětně odkazujeme na předchozí argument o nahrazení molekul kyslíku molekulami CO_2 .

Na základě použitých zjednodušení nám tedy stačí napřed spočítat kritický objem CO_2 ve zmíněné místnosti:

$$V_{\text{krit}} = 0,05 \cdot V = 2500\text{ l}.$$

Při vydechnutí $0,51$ vzduchu se 4 % CO_2 15krát za minutu máme produkci CO_2 rovnou přibližně $0,31 \cdot \text{min}^{-1}$, tedy 18 litrů za hodinu. Samotný člověk nevykazující žádnou neobvyklou

¹Např. <https://www.co2meter.com/blogs/news/oxygen-deficient-atmosphere-hazards>

²<https://www.co2meter.com/blogs/news/carbon-dioxide-indoor-levels-chart>

³Tidal volume https://en.wikipedia.org/wiki/Lung_volumes

⁴<https://en.wikipedia.org/wiki/Exhalation>

⁵https://calcualla.com/molar_volume_of_gases

fyzickou aktivitu by tedy v uvedené místnosti vydržel přibližně (pozn. zanedbáváme počáteční objem CO_2 ve vzduchu – je asi 100krát menší než konečný)

$$t = \frac{2\,500\text{ l}}{18\text{ l} \cdot \text{h}^{-1}} = 139\text{ h},$$

tedy asi 5 dní a 19 hodin. Poznamenejme, že toto je pouze čas do dosažení hladiny 5 %. Závažné zdravotní problémy by se pravděpodobně vyskytly již dříve, protože by daný člověk byl vysoké hladině CO_2 vystaven po delší dobu. Tedy bychom závažné zdravotní potíže mohli očekávat již v prvních dnech. Taký ještě dodejme, že fyzická námaha zvyšuje spotřebu O_2 a produkci CO_2 . Pro těžkou fyzickou námahu to může znamenat až pětkrát menší čas.

Jiří Kohl

jiri.kohl@vyfuk.org

Pavel Provazník

pavel.provaznik@vyfuk.org

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.