

13. ročník, úloha VI. 3 ... kolik máme kyslíku (4 body; průměr ?; řešilo 48 studentů)

Zkuste spočítat (či spíše kvalifikovaně odhadnout), na jak dlouho by lidstvu stačil kyslík nacházející se v současné atmosféře, kdyby najednou přestala fungovat fotosyntéza a rostliny by jej tedy nedoplňovaly. Potřebné údaje se pokuste zjistit v literatuře, nebo je vhodně aproximujte.

Na úlohu se můžeme dívat ze dvou hledisek.

1. V zadání máme na mysli model, ve kterém spotřebovává kyslík jenom lidstvo, nezávisle na průmyslu, zvířatech a rostlinách. Tento model je poměrně jednoduchý, ale nerealistický.
2. Chceme se podívat na problém, jak by asi vypadala situace, kdyby se lidstvo ocitlo před hrozbou zániku kvůli nedostatku O_2 . Tento model se pokusí zahrnout všechny podstatné faktory, které mohou řešení úlohy ovlivnit.

Hledisko 1

Uvažujme, že člověk průměrně v klidu vydýchá $V_0 = 71$ vzduchu za minutu. Ten běžně obsahuje $\varphi_0 = 21$ objemových a 23 hmotnostních procent kyslíku. Při výdechu obsahuje vzduch asi $\varphi_1 = 16\%$ O_2 . To znamená, že za minutu člověk spotřebuje asi

$$V = V_0 (\varphi_0 - \varphi_1) = 7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 (0,21 - 0,16) = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{min} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}.$$

Odhadněme teď objem O_2 v atmosféře. Většina hmoty vzduchu se nachází do výšky 10 km. Tato hmota bude na povrch působit hydrostatickým tlakem $p_a = F_g/S = mg/S$. Jestliže za hmotnost vezmeme hmotnost atmosféry a za povrch plochu Země, pak rovnicí můžeme přepsat do tvaru

$$m_{\text{atm}} = \frac{p_a S}{g} \Rightarrow m_{O_2} = \varphi_0 \frac{p_a 4\pi R_Z^2}{g} = 1,2 \cdot 10^{18} \text{ kg},$$

kde m_{O_2} je hmotnost kyslíku v atmosféře Země.

Jestliže uvážíme, že při dýchání kyslíku se nám jeho množství ve vzduchu zmenšuje, v určitém okamžiku ho bude ve vzduchu příliš málo. Pak začnou lidé umírat. Některé výzkumy naznačují, že trénovaný člověk bez námahy může dýchat vzduch s obsahem $\varphi_0(O_2) = 5-7\%$. Předpokládejme, že lidstvo vydrží dýchat vzduch, jestliže tento obsahuje alespoň $\varphi_{\text{min}} = 12\%$ O_2 . Obecně se udává 10–12%. Vliv CO_2 můžeme zanedbat, protože tento není jedovatý. Jeho zhoubná vlastnost je, že jestliže se dostane do prostor, kde neexistuje proudění, vytlačuje lehčí O_2 . Zvířata a lidé pak neumírají na otravu CO_2 , ale na nedostatek kyslíku. Jeho momentální koncentrace ve vzduchu je kolem 0,04%. Jestliže stoupne koncentrace, bude mít snahu vytlačovat kyslík z níže položených vrstev. Jestliže se ale zachová na zemi vítr, možná by se nemuselo z této strany hrozit velké nebezpečí. Navíc CO_2 by způsobil na Zemi skleníkový efekt, zvýšila by se teplota, což by vedlo ke zvýšenému vypařování vody, a tím by se zvýšil objem vody v atmosféře, bylo by více dešťů, které by kysličník uhličitý postupně vymývaly z atmosféry a vážaly do uhličitánů.

Lidstvo má tedy k dispozici $M = (1 - \varphi_2/\varphi_1)m_{O_2}$ kyslíku. Předpokládejme, že počet obyvatel zeměkoule, kterých je teď víc jak 6 miliard, se v budoucnosti ustálí na hodnotě kolem 10–12 miliard lidí. Alespoň tak se domnívají demografové. Položme počet obyvatel zeměkoule roven $N = 12$ miliard. Pak lidstvo spotřebuje M za čas

$$t = \frac{[1 - (\varphi_2/\varphi_1)]m_{O_2}}{\rho NV} = \frac{(1 - \frac{12}{21}) \cdot 1,2 \cdot 10^{18} \text{ kg}}{1,3 \text{ kg/m}^3 \cdot 6 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}} = 1,1 \cdot 10^{13} \text{ s} \approx 350\,000 \text{ roků}.$$

Kyslík by nám tedy postačil na statisíce let.

Hledisko 2

Předcházející výsledek je vhodné brát do úvahy snad jen tehdy, když by jsme se vrátili zpět do jeskyní a zapomněli na jakoukoliv techniku, navíc by jsme museli vyhubit všechny živočichy a rostliny. Lidé by si nemohli dovolit zapálit oheň.

Pokusme se odhadnout, kolik času by mělo lidstvo k dispozici, kdyby nezměnilo svůj styl života.

Podle moudrých knih je celková roční spotřeba cca $2,16 \cdot 10^{13}$ kg/rok (Rejmers 1985). Celková roční produkce je $1,55 \cdot 10^{12}$ kg/rok. Jan Kunc uvádí svoji tabulku spotřeby kyslíku, ke které dospěl na základě svých výpočtů

spotřeba kyslíku	množství spotřebovaného kyslíku za rok v kg
lidé dýcháním	$1,3 \cdot 10^{12}$
spalování ropy, uhlí a zemního plynu	$6,9 \cdot 10^{12}$
hoření lesů na Zemi	$7,6 \cdot 10^{12}$
dýchání rostlin	$4,7 \cdot 10^{12}$
dýchání živočichů	$8,5 \cdot 10^{12}$

Vidíme tedy, že momentálně je spotřeba kyslíku o mnoho větší než stačí biosféra nahrazovat. Už teď žijeme prakticky na dluh, protože spotřebováváme desetkrát více kyslíku než je příroda schopna produkovat, navíc ještě kácíme dešťové pralesy v Amazonii a rovníkové Africe. Jestli se nad tím trochu zamyslíme, tak na první pohled úloha, která se zdála být odtržena od reality, je až neskutečně reálná. Když porovnáme tuto spotřebu se zásobami kyslíku, tak nám vyjde čas asi 25 000 roků. To za předpokladu, že se nebude zvyšovat spotřeba kyslíku lidskou činností. Další otázkou je, jak se bude měnit počet lidí. Odhady expertů hovoří o horní hranici 20 miliard lidí, to by znamenalo asi 10 000 let. Par tisíc let bychom tedy mohli v klidu žít. Bezprostřední nebezpečí nám nehrozí. Otázkou je, nakolik neexistence fotosyntézy ovlivnila veškerý ekosystém. Zvířata (lidé taky) by pravděpodobně vymřela na nedostatek potravy. Navíc by se určitě objevily nové choroby, jako zdroj nákazy se ihned nabízí uhynulé rostliny a živočichové.

Poznámky k řešení

Mnoho z vás si plete slovo odhadnout se slovem bez rozmyslu napsat první číslo co mne napadne. Jestliže někdo napíše: „Lidstvo vydrží několik dnů...“, měl by tento svůj názor také zdůvodnit. I jednoduchý výpočet by vám naznačil, že situace není taková, jak se někomu může na první pohled zdát a nevyskytovaly by se odhady 5–10 minut.

Jestliže někdo napíše: „Lidstvu stačí kyslík na $7,564338816 \cdot 10^{12}$ s = 248 882 let, 355 dní 23 hodin 42 minut 17 sekund.“, tak něco není v pořádku. To tedy po daném čase všichni lidé vymřou v jednom okamžiku? Navíc, proč je to tehdy a ne o dvě sekundy dříve nebo později? Odhadnout znamená udělat odhad a uvědomit si, jakou chybu tento odhad skrývá.

Literatura

Rejmers N.F., 1985 Abeceda přírody — biosféra

Pavol Habuda

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.