

## Úloha II.P ... Země vzplála

10 bodů; průměr 8,41; řešilo 63 studentů

Odhadněte, o kolik by stoupl obsah  $\text{CO}_2$  v atmosféře, pokud by shořela veškerá vegetace na zemském povrchu.

Karel je pyroman.

Pri procese horenia vzniká z uhlíku a kyslíku oxid uhlíčitý (budeme uvažovať dokonalé horenie, kedy vzniká iba oxid uhlíčitý, a nie oxid uhoľnatý). Teda na vznik 1 molu  $\text{CO}_2$  potrebujeme 1 mol C a 1 mol molekúl  $\text{O}_2$ . Aby sme zistili, koľko  $\text{CO}_2$  sa spálením vegetácie vytvorí, potrebujeme zistiť, koľko uhlíka sa v nej nachádza. Na to potrebujeme najprv zistiť celkovú hmotnosť vegetácie na Zemi. Keďže chceme získať odhad, predpokladajme, že všetok uhlík nachádzajúci sa vo vegetácii zreaguje s kyslíkom z atmosféry a vytvorí oxid uhlíčitý.

## Vegetácia na Zemi

Najprv sa pokúsime odhadnúť, koľko vegetácie sa nachádza na zemskom povrchu, presnejšie, jej celkovú hmotnosť.

Nízka vegetácia sa nachádza takmer na celom zemskom povrchu. Avšak jej celková hmotnosť na určitej ploche je oveľa menšia ako hmotnosť lesa na rovnakej ploche. Preto budeme v našich odhadoch uvažovať iba lesy a nízku vegetáciu zanedbáme. To je vzhľadom na veľkosť plochy, na ktorej počítame, a nepresnosť nášho odhadu dobré priblíženie.

Lesy na Zemi pokrývajú podľa<sup>1</sup> plochu  $S_1 = 39 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$ .

Môžeme však skúsiť urobiť presnejší odhad. Z webovej stránky<sup>2</sup> si stiahneme dáta, ktoré hovoria o tom, aký podiel  $\alpha$  povrchu konkrétnych krajín tvoria lesy. Zo získaného tabuľkového súboru vyberieme dáta pre rok 2015 (najnovšie). Potom si nájdeme rozlohy jednotlivých krajín sveta<sup>3</sup> a vynásobíme ich príslušnými  $\alpha$ . Dostaneme tak plochu lesov v jednotlivých krajinách sveta, ktoré môžeme jednoducho sčítať a získať výslednú hodnotu  $S_2 = 32 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$ .

## Celkový objem a hmotnosť stromov

Následne potrebujeme odhadnúť výšku týchto lesov. Tá sa prirodzene líši v závislosti na type lesa, klimatických podmienkach, veku stromov a mnohých ďalších faktorov. Podľa<sup>4</sup> odhadneme strednú výšku lesov sveta na  $h_s = 25 \text{ m}$ .

Použitím stránky<sup>5</sup> môžeme odhadnúť objem stromu na základe jeho výšky, šírky a druhu. Ak zadáme výšku stromu 25 m, priemer  $d_1 = 150 \text{ cm}$ , postupným nastavovaním rôznych drevín odhadneme priemerný objem takto vysokého stromu na  $V_1 = 15 \text{ m}^3$ . Ak by sme uvažovali strom s priemerom  $d_2 = 180 \text{ cm}$ , priemerný objem odhadneme na  $V_2 = 20 \text{ m}^3$ . Teraz je otázkou, na akej ploche sa rozprestiera takto veľký strom. Musíme brať do úvahy, že lesy majú rôznu hustotu a stromy nie sú vždy tesne pri sebe. Odhadnime teda, že takýto strom bude zaberat zaberat plochu o polomere  $r = 5 \text{ m}$  a veľkosti asi  $S_0 = 100 \text{ m}^2$  z plochy lesa.

Potrebujeme ešte zistiť hustotu stromov. Tá sa opäť líši pre jednotlivé druhy lesov, aj pre jednotlivé druhy rastlín. Predpokladajme, že hustota materiálu stromov je približne rovná nejakej strednej hustote dreva, ktorú si na základe dát<sup>6</sup> zvolíme ako  $\rho_1 = 700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

<sup>1</sup><https://cs.wikipedia.org/wiki/Les>

<sup>2</sup><https://ourworldindata.org/forests#forest-cover-by-country>

<sup>3</sup><https://www.worldometers.info/geography/largest-countries-in-the-world/>

<sup>4</sup><https://earthobservatory.nasa.gov/features/ForestCarbon>

<sup>5</sup><https://www.drevvari.cz/calc-standing-tree-volume.php#Objem-stoj%C3%ADc%C3%ADho-stromu-Kalkula%C4%BDka>

<sup>6</sup><https://cs.wikipedia.org/wiki/DC599evo>

Potom hmotnost všech stromov na Zemi spočítame ako

$$m_s = \frac{S}{S_0} V \rho.$$

Pre odhady plôch  $S_1$  a  $S_2$  dostávame postupne pre odhady objemov stromu  $V_1$  a  $V_2$  hodnoty hmotnosti stromov

$$m_{s11} \doteq 4,1 \cdot 10^{15} \text{ kg},$$

$$m_{s12} \doteq 5,5 \cdot 10^{15} \text{ kg},$$

$$m_{s21} \doteq 3,4 \cdot 10^{15} \text{ kg},$$

$$m_{s22} \doteq 4,5 \cdot 10^{15} \text{ kg}.$$

Pre rádový odhad nám stačí jeden údaj, tak budeme ďalej počítat s hodnotou  $m_{s11}$ . Uhlík tvorí<sup>7</sup> približne  $\beta \doteq 19,4\%$  živej hmoty. Použitím týchto údajov vieme odhadnúť hmotnosť uhlíka obsiahnutého vo vegetácii  $m_{C1} \doteq 8,0 \cdot 10^{14} \text{ kg}$ .

Môžeme tiež použiť údaj<sup>8</sup> podľa ktorého je v rastlinách a živých organizmoch uložených  $m_{C2} = 5 \cdot 10^{14} \text{ kg}$  uhlíka.

#### *Uvoľnené množstvo oxidu uhličitého*

Aby sme spočítali, koľko molov uhlíka sa v stromoch nachádza, potrebujeme vedieť jeho molárnu hmotnosť  $M_C$ . Z periodickej tabuľky prvkov<sup>9</sup> máme

$$M_C = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1},$$

$$M_O = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Zapísali sme si rovno aj molárnu hmotnosť kyslíka, ktorú ešte využijeme pri našich výpočtoch.

Potom počet molov uhlíka, ktoré sa nachádzajú vo všetkých stromoch lesov na Zemi, bude

$$n_C = \frac{m_C}{M_C}.$$

Pre odhadnuté  $m_{C1}$  a nájdené  $m_{C2}$  postupne dostaneme

$$n_{C1} \doteq 6,7 \cdot 10^{16} \text{ mol},$$

$$n_{C2} \doteq 4,2 \cdot 10^{16} \text{ mol}.$$

Vidíme, že tento rozdiel nie je vôbec veľký, nám ide o rádový odhad. Zamyslime sa nad možnými zdrojmi chýb vo výpočte  $n_C$ . Objem stromu sme v princípe odhadli, ale rádovo bude tento odhad zrejme správny, teda veľký rozdiel to vo výsledku nespôsobí. Podobne, aj hustotu dreva sa odhadli zhruba, ale tam sa nebudeme od skutočnosti pravdepodobne líšiť ani rádovo. Najväčším problémom je určenie plochy, ktorú jeden strom v lese zaberá.

Ďalšou otázkou je, či sa v atmosfére nachádza dostatok molekúl kyslíka na to, aby sa všetky atómy uhlíka spotrebovali na tvorbu  $\text{CO}_2$ . Hmotnosť zemskej atmosféry je<sup>10</sup>  $m_a = 5 \cdot 10^{18} \text{ kg}$

<sup>7</sup><https://www.sci.muni.cz/ptacek/Chemie-bar.htm>

<sup>8</sup>[https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_cycle#Terrestrial\\_biosphere](https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_cycle#Terrestrial_biosphere)

<sup>9</sup><http://galerie2.sweb.cz/prvky.htm>

<sup>10</sup>[https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere\\_of\\_Earth](https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Earth)

(za hranicu atmosféry sa považuje tzv. Karmanova hranica, ktorá sa nachádza vo výške 100 km nad hladinou mora), pričom  $p_{\text{O}} = 21\%$  z nej tvorí kyslík a len  $p_{\text{CO}_2} = 0,04\%$  oxid uhličitý. Teda v atmosfére sa nachádza asi

$$n_{\text{O}_2} = \frac{m_a p_{\text{O}}}{2M_{\text{O}}} \doteq 3,3 \cdot 10^{19} \text{ mol},$$

molekúl kyslíka. Vidíme, že ich je viac ako spočítané látkové množstvo uhlíka nachádzajúce sa v stromoch. Nemusíme sa teda báť, že by nám kyslík pri horení došiel. Látkové množstvo oxidu uhličitého získané horením lesov bude približne  $n_{\text{CO}_2} = n_{\text{C}} \doteq 5 \cdot 10^{16}$  mol.

Teraz sa v atmosfére nachádza

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{m_a p_{\text{CO}_2}}{M_{\text{C}} + 2M_{\text{O}}} \doteq 4,5 \cdot 10^{16} \text{ mol}$$

oxidu uhličitého. Vidíme, že spálením všetkej vegetácie Zeme, by sa množstvo oxidu uhličitého v atmosfére zvýšilo asi na dvojnásobok.

### Ďalšie možnosti

Ak by sme chceli spraviť ešte konkrétnejší výpočet, mohli by sme zistiť alebo odhadnúť na základe podnebia priemernú výšku lesov v jednotlivých krajinách. Potom by sme mohli ešte vyhľadať, priemerne aké druhy porastu sa v ktorej krajine nachádzajú, zistiť ich výšku a hustotu, a dostať tak konkrétnejšie hmotnosti lesov jednotlivých krajín.

Možností, ako spočítať množstvo vegetácie na Zemi, je veľa, vzhľadom na prístupnosť množstva rozličných dát o lesoch na Zemi. Napríklad na stránke<sup>11</sup> sú mapy vegetačného indexu,<sup>12</sup> pričom dáta je možné na tomto webe priamo analyzovať. Na stránke<sup>13</sup> môžeme vidieť napríklad percentuálne pokrytie jednotlivých miest na Zemi lesmi, prípadne vývoj tejto veličiny v čase. Podrobná analýza takýchto dát však môže trvať celé dni, preto sme sa pri našom výpočte obmedzili na jednoduchší model.

### Diskusia

Zamyslime sa teraz nad vypočítaným výsledkom. V skutočnosti by získané množstvo oxidu uhličitého bolo zrejme nižšie. V úvode sme si totiž zvolili predpoklad, že prebieha iba dokonalé horenie – s dostatočným prísunom kyslíka. V realite to však takto nefunguje, a pri horení vzniká aj oxid uhoľnatý. Tiež predpokladáme, že uhlík v ľubovoľných zlúčeninách nachádzajúcich sa v telách rastlín môže a bude reagovať s kyslíkom, čo opäť nie je úplne splnené. Zároveň pri odhade množstva kyslíka v atmosfére uvažujeme, že všetok tento kyslík má možnosť reagovať pri horení pri povrchu Zeme. Kyslík je ale dispergovaný v celom objeme atmosféry, takže pri prudkom horení bude môcť kyslíku pri povrchu byť nedostatok.

### Dôsledky pre život na Zemi

Ak horenie bude trvať dlho a bude masívne, vzniknutý popol začloní atmosféru a spôsobí ochladenie, pretože začloní teplo prichádzajúce zo Slnka. Z dlhodobého hľadiska ale naopak popol teplotu zvýši, jednotlivé častičky popola sa totiž budú ohrievať viac ako sa normálne

<sup>11</sup>[https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MOD\\_NDVI\\_M](https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MOD_NDVI_M)

<sup>12</sup>[https://en.wikipedia.org/wiki/Vegetation\\_Index](https://en.wikipedia.org/wiki/Vegetation_Index)

<sup>13</sup><http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>

ohrieva zemský povrch (majú nižšie albedo) a je len otázkou času, kedy toto teplo prenikne až k zemskému povrchu.

Zvýšenie množstva oxidu uhličitého v atmosfére spôsobí ohrev atmosféry, keďže oxid uhčitý je skleníkový plyn. Nárast teploty spôsobí intenzívnejšie odparovanie oceánov a zvýšenie ich teploty, čím sa z nich uvoľnia rozpustené plyny, okrem iného aj kyslík (čo bude mať nepriaznivý vplyv na morský život), metán, či potenciálne ďalší oxid uhčitý. Vplyv týchto javov na finálny obsah oxidu uhličitého v atmosfére by sme museli spočítať.

Keď však zhorí všetka vegetácia, nebude možné fotosyntézou spätne z oxidu uhličitého získať kyslík, čo by malo katastrofálne následky pre život na Zemi. V najhoršom prípade, ak by sekundárne javy neprežili ani morské rastliny (najmä riasy nachádzajúce sa v morskej vode), by jedinou možnosťou ako kyslík spätne naviazať, bolo jeho ukladanie do hornín na geologickej časovej škále.

*Daniela Pittnerová*  
daniela@fykos.cz

---

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

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