

Máme mít starost o kyslík?

Jistě jste potkali výroky, že nějaká vegetace „vyrobí kyslík“, přičemž zamlčený podtext byl, že to je jistě důležité, neb jinak by o kyslík byla nejspíš nouze.

Kyslík kolem nás

Začněme u té „nouze“. Kyslík není v našem ovzduší pouhá maličká příměs, ale je ho tam hodně. Celá pětina, přesněji 21 %, pokud jde o počet molekul suchého vzduchu. **Pokud jde o hmotnost, je podíl kyslíku ještě trochu větší, 23 %, tedy skoro čtvrtina**, neboť hlavní plyn v ovzduší, dvouatomový dusík N₂, má molekulovou hmotnost jen 2×14, zatímco kyslík O₂ ji má 2×16.

Dobrá, kyslíku je ve vzduchu skoro čtvrtina hmotnosti, ale není ten vzduch tak řídký, že i tak je dohromady kyslíku nad povrchem Země nemnoho? Zkusme si vzpomenout, jaký je na moři či v nížinách atmosférický tlak. Je to „jedna atmosféra“, jeden bar čili tisíc milibarů. (Možná si také vzpomenete, že v hloubce 10 m je tlak o další „atmosféru“ větší.) Postaru se atmosférický tlak uváděl jako kilopond na centimetr čtvereční. Ještě dříve se užívalo sousloví „kilogram síly“, byla to tíha jednoho kilogramu. Nad čtverečním centimetrem zemského povrchu je tedy kilogram vzduchu. Nad metrem čtverečním 10 000 × více, deset tun. **Kyslíku je tedy 2,3 t/m²**. Stejně by vážila vrstva vody tlustá těch 2,3 m. A kolik je kyslíku v místnosti s plochou 2⁰ m² a o výšce 3 m? V jednom krychlovém metru je při 20 °C 1,2 kg vzduchu, kyslíku tedy necelých „třicet deka“. V takové místnosti je proto přes 15 kg kyslíku. Tolik jej jeden člověk [nespotřebuje ani za 14 dní](#). (Jiná věc je, že už za 4 dny by v takové prostora, kdyby byla vzduchotěsná, měl tento člověk přes 5 % oxidu uhličitého, což už by [dělalo vážné problémy](#), i když by kyslíku by zůstalo ještě pěkných 16 %.)

A na celé Zemi – jak málo se to dnes mění

A kolik je kyslíku nad celou Zemí? $2,3 \text{ t} \times 4 \pi r^2$, když poloměr Země r vyjádříme v metrech. Vyjde $3 \times 10^{14} \text{ t}$. Je to nesmírné množství, které nelze nijak významně ovlivnit. Pravda, kyslíku ubývá, když oxidujeme (spalujeme) fosilní paliva. Mění se hlavně na oxid uhličitý. Atmosférická koncentrace CO₂ se z 280 molekul na milion molekul vzduchu zvýšila na 410 (průměr pro rok 2019, v dalším roce to bude o 2 více), tedy o 130. Další více než polovina takového množství se rozpustila v oceánech, součet obou změn je tedy asi 200. Víme, že tím způsobené zesílení skleníkového jevu a pokles pH oceánů již velice škodí. Ale pokud jde o kyslík? Toho ubylo ještě trochu více než oněch 200 molekul na milion molekul vzduchu. To proto, že z tekutých fosilních paliv se oxiduje nejen uhlík, ale také vodík. Z molekuly zemního plynu, metanu CH₄ vznikne jedna molekula oxidu uhličitého a dvě molekuly vody, celkem se tedy spotřebují dvě molekuly O₂. Pro naftu to lze zaokrouhlit tak, že na dva atomy zoxidovaného uhlíku připadnou tři molekuly kyslíku. A na uhlí, ropu a zemní plyn připadají nyní [přibližně stejné díly naší spotřeby](#). Zhruba tedy ubylo 300 molekul na milion molekul vzduchu, což znamená 1500 molekul na milion molekul kyslíku. **Ubylo tedy 1,5 promile jeho někdejšího množství**. Dnes se, vzato „objemově“ čili na počet molekul vzduchu, udává jeho koncentrace [např. jako 20,946 %](#), před staletími jej mohlo být 20,976 %. Za deset let, pokud by dnešní obrovská spotřeba fosilních paliv neklesla (je potřeba, aby rychle klesala, jinak nelze splnit cíle [Pařížské dohody](#)), by kyslíku bylo „jen“ 20,942 %, jak plyne i z měření <http://scrippsco2.ucsd.edu/> (viz graf dole). Pro život jsou takové změny koncentrace kyslíku naprosto bezvýznamné. *O kyslík se opravdu bát nemusíme.*

Pro ilustraci: počet molekul v krychlovém metru vzduchu se samozřejmě mění s tlakem, a tedy s chodem tlakových výší a níží a rovněž s nadmořskou výškou. O jednu tisícinu jej ubude, když tlak klesne o 1 milibar. Takový pokles tlaku zažijeme, když vystoupíme z přízemí do druhého patra. V přízemí máme proto dnes tolik kyslíku, kolik jej v 18. století měli ve třetím patře...

Přírodní změny koncentrace kyslíku byly v geologické historii mnohem větší, ale probíhaly ne během desítek let, ale během desítek *milionů* let. Někdy během druhohor jej mohlo být možná i jen (objemově) 10 %, viz kapitolu 7.2 knížky [Klima a koloběhy látek](#), nicméně životu to zřejmě neškodilo. Adaptoval se, stejně jako jsou adaptovaní Tibeťané; už v šesti kilometrech je totiž v kubickém metru také tak málo kyslíku, ani ne „patnáct deka“. Kyslík tam má poloviční „parciální tlak“ než u nás.

Geologický původ a procesy

Kde se ale vůbec kyslík v ovzduší vzal? Z oxidu uhličitého. Toho bylo na mladé Zemi v ovzduší mnohem více. Sinice z něj fotosyntézou získávaly uhlík (tomu se říká asimilace), přičemž kyslík uvolňovaly do mořské vody. Valnou většinu toho kyslíku spolu s dalšími organismy, u nichž fotosyntéza neprobíhá, opět prodýchaly. Když není dost světla, i u sinic stejně jako u rostlin převládá respirace, kdy se cukry nashromážděné asimilací opět oxidují a uvolňuje se oxid uhličitý. Kyslík se též [slučoval s organickými látkami v moři i vlivem působení světla](#) (fotooxidace). Jen velmi malé zbytky nezoxidovaného uhlíku se ukládaly na mořské dno, časem se z takových sedimentů obsahujících příměs černého uhlíku staly horniny, které dnes tvoří značnou část pevnin. Uhlík je v nich uskladněn většinou nedobytně, jen málokde se zkoncentroval do formy ropy či metanu (zemního plynu). Kyslík odštěpený kdysi z tohoto uhlíku se miliardy let všechen slučoval s železem; takové hodně oxidované železo je nyní též obsaženo v mnohých sedimentech, bývají červenavé či okrové. Teprve až oxidovatelných sloučenin železa řádově ubylo, nahromadil se kyslík v ovzduší.

Převažuje-li během miliónů let oxidace sloučenin železa z vyvěrelin při jejich zvětvávání, kyslíku zvolna ubývá, převažuje-li ukládání organického uhlíku na mořské dno, tak kyslíku v ovzduší přibývá. Takové geologické procesy jsou nesmírně pomalé.

Vegetace – mezi CO₂, organickým uhlíkem a O₂

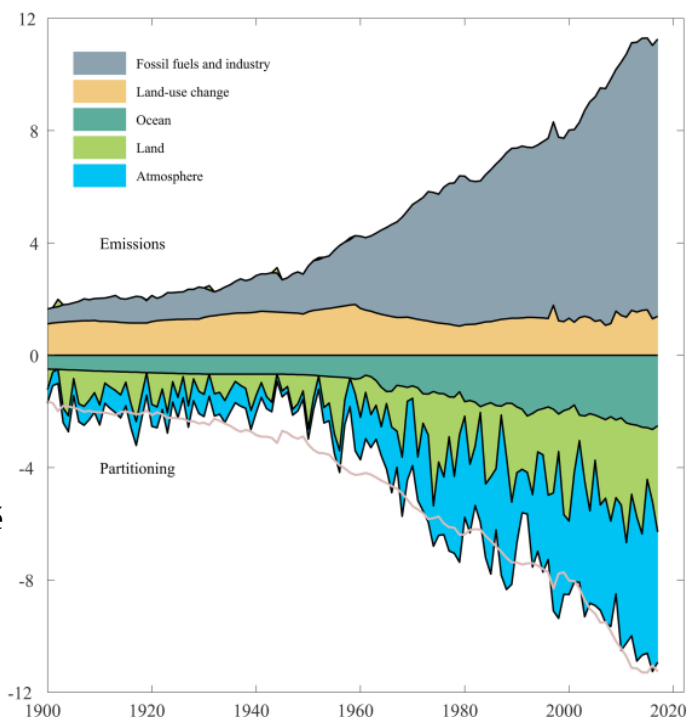
Biosféra na pevninách, tedy vegetace i živočichové, houby a mikroorganismy, kteří ji konzumují a organickou hmotu rozkládají, si v ustáleném stavu nepřetržitě předává kyslík a oxid uhličitý s atmosférou. V ovzduší přitom za celý rok těchto plynů nepřibude ani neubude. Jen jak v ročním cyklu na severní polokouli vegetace narůstala a pak zase odumírala, měnila se tam trochu koncentrace CO₂ v ovzduší a úměrně tomu kolísal v opačné fázi i obsah kyslíku, o desetinu promile jeho množství.

Globální změna kromě klimatické změny zahrnuje také „hnojení lesů dusíkem“, jehož reaktivní sloučeniny vznikají z umělých hnojiv a při hoření. Vyšší obsah oxidu uhličitého umožňuje rostlinám snížit ztráty vody transpirací, což jim pomáhá, pokud nemají vody stále hojnost. Oteplení prodloužilo vegetační období v našich a vyšších šířkách. **Biosféra proto v ustáleném stavu není. Její hmotnost narůstá!** Ubírá tak oxidu uhličitého z ovzduší, kterého tam je necelá polovina promile. Uvolňuje z něj kyslík, uhlík ukládá do sebe. Je tomu tak i přes odlesňování v tropech, v Kanadě i na Sibiři, i přes stále větší lesní požáry a epizody sucha. Ve zhoršujícím se klimatu ale může rozpad lesů časem převážit, takže by uhlík nehromadily, [ale naopak uvolňovaly](#). Zatím je ale *bezvýznamný* úbytek kyslíku, způsobený oxidací fosilních paliv, asi z jedné pětiny kompenzován mohutněním vegetace. Na tom vlastně vůbec nezáleží. Podstatná je jen opačná strana toho procesu: naše *velmi významné* emise CO₂ jsou hromaděním organické hmoty kompenzovány až z jedné třetiny. Biosféra nám v tomto ohledu dosud pomáhá.

Kolik uhlíku do ní jde, víme od r. 1990 lépe díky přesnému měření změn množství kyslíku – toho ubývá méně, než by odpovídalo množství zoxidovaných paliv. Následující graf z [Global Carbon Budget 2018](#) ukazuje emise i jejich osud. Svislá osa je v gigatunách uhlíku za rok. Šedě jsou **emise z fosilních paliv a průmyslu** (výroba cementu a oceli), hnědě z odlesňování. **Jejich úhrn je již přes 11 Gt/a.**

V dolní části grafu jsou „propady“ uhlíku, údaje o tom, kam se poděl. Tmavě zeleně je rozpouštění oxidu uhličitého v oceánu, světle zeleně ukládání uhlíku vegetací na pevninách (r. 2017 to bylo 3,8 Gt ± 0,8 Gt) proměnlivé hlavně dle střídání El Niño a La Niña, modře je zůstatek v ovzduší.

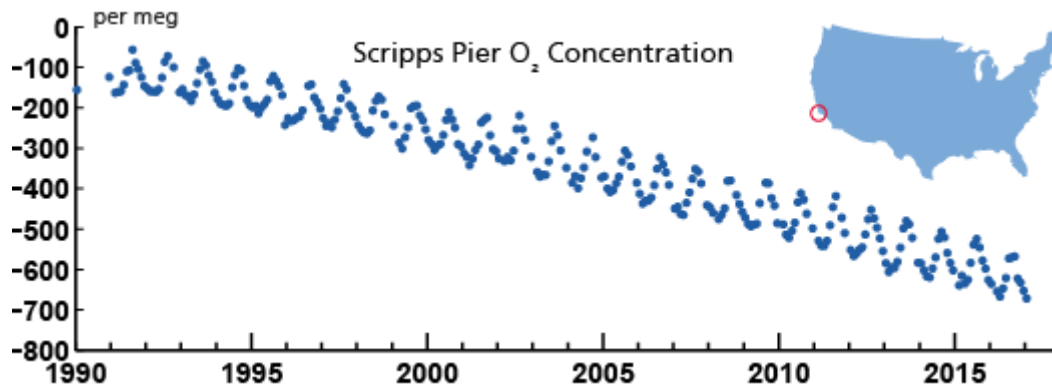
Růžová křivka v dolní části grafu je zrcadlový obraz emisí v horní části grafu. Je patrné, že



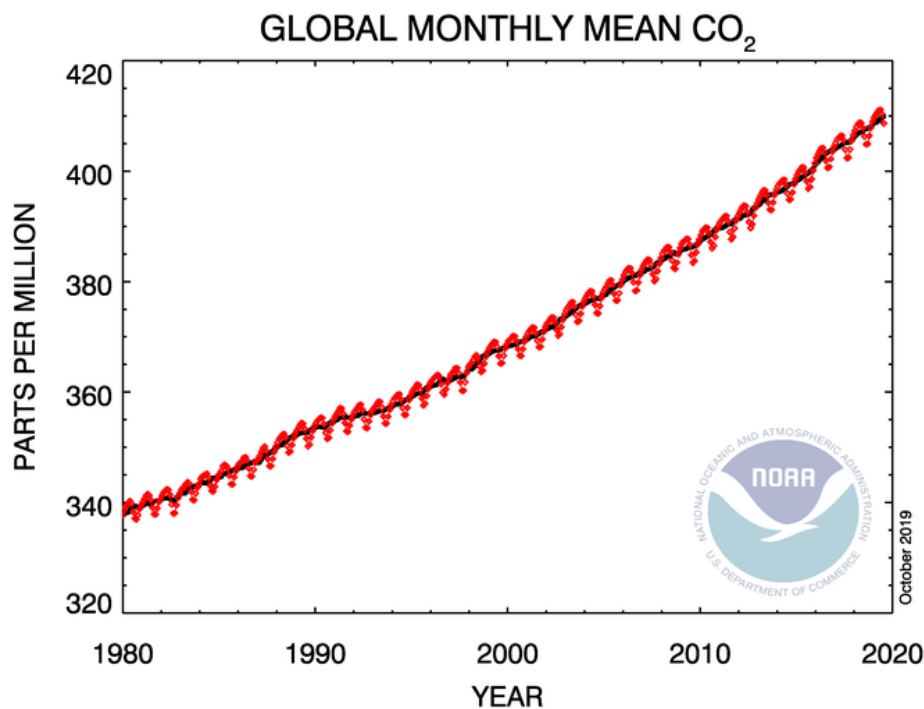
mezi údaji o emisích a propadech jsou i v posledních dekadách nesrovnalosti, ale většinou jen na úrovni zlomku gigatuny ročně.

O₂ a CO₂ detailně

Ale zpět ke kyslíku. Jak ukazuje obrázek níže, ze Scripps O₂ Program, **kyslíku za čtvrt století ubylo jen půl promile** (graf ukazuje změnu počtu molekul na milión molekul kyslíku):



Oxidu uhličitého, do něž se kyslík „schoval“, naopak přibylo. Čtvrtina se rozpustila v oceánech, až třetina do přírůstku biomasy, ale i v **ovzduší jej máme roku 2019 o 11 % více než r. 1990!** Viz graf z <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>. Jednotkou v něm je počet molekul CO₂ na milión molekul vzduchu, vyjadřovaný obvykle jednotkou ppm:



O co opravdu jde

Úbytek kyslíku nás netrápí, přibývání oxidu uhličitého ano. Projekty jako podpora nárůstu biomasy znovuzalesňováním, agrolesnictvím a výsadbou stromů v zemědělské krajině mohou ovlivnit nynější trend rostoucích koncentrací CO₂ **jen nepatrně**. Není šance, že by se tak dala uložit více než 1 Gt uhlíku ročně, možná to bude jen šestina gigatuny. Realisticky lze tedy očekávat, že teprve až jeho antropogenní emise klesnou na třicetinu těch dnešních, tak budou moci být takovými projekty kompenzovány – a **oteplování se zastaví už v té době**. Do té doby se soustředíme na snižování své spotřeby a náhradu fosilních zdrojů obnovitelnou elektřinou. Začneme u sebe samých, u snížení „fosilních“ emisí na jednoho českého obyvatele z deseti tun oxidu uhličitého za rok na třetinu tuny...

Co tedy máme a nemáme dělat?

Nechat měnit v interiérech teplotu z léta do zimy. V létě i 28 a v zimě jen 16 bývalo normální, zdravé i komfortní – pak člověku není v létě venku tolik horko a v zimě chladno. Zaizolovat, clonit a slunit, utěsnit a větrat domy tak chytře, aby se to v nich dělo skoro samo, s trochou místní elektřiny pro tepelné čerpadlo. Bydlet vícegeneračně. Nelétat, nejezdit autem, když to není nutné. Jíst jen tolik masa, mléka a výrobků z něj, jako v roce 1913. Nevyhazovat, tedy nakupovat opravdu jen to, co s s dobrým svědomím spotřebujeme. Investovat místo toho do nefosilních technologií. Sázet to, o co se pak postaráme. Chtít totéž po ostatních. Jak prosté, sociální a konzervativní!

Jan Hollan, 19. prosince 2019.

Psáno pro časopis [Veronica](#) již v listopadu, kde ve stručnější verzi vzniklé ve spolupráci s redakcí
článek vyšel v čísle [4/2019](#).

Nynější dlouhá verze textu je dostupná na <http://amper.ped.muni.cz/gw/clanky/>