

## Půdní procesy a skleníkový efekt

### *Zdrojové materiály:*

Lal R. 1998. Soil processes and greenhouse effect. In Lal R, Blum WH, Valentine C, Stewart BA. Eds. Methods for assessment of soil degradation. Boca Raton: CRC Press, 199–212.

### *Úvod*

Půda může být důležitým zdrojem (source) nebo pohlcovačem, recipientem (sink) hlavních skleníkových plynů CO<sub>2</sub> (oxid uhličitý), CH<sub>4</sub> (metan) a N<sub>2</sub>O (oxid dusný, rajský plyn). Relativní příspěvek ke skleníkovému efektu je okolo 50 % u CO<sub>2</sub>, 18 % u CH<sub>4</sub>, 6 % u N<sub>2</sub>O, 14 % u CFC a 13 % pro ostatní plyny. Oxid uhličitý v současnosti v atmosféře představuje 355 objemových jednotek na milion (ppmv) a jeho množství roste zhruba o 0,5 % za rok.

Jiný zdroj: koncentrace CO<sub>2</sub> vzrostly jen za poslední století z 290 na 370 ppm

Prvořadými rezervoáry uhlíku jsou:

biota (biomasa) 550–830 Pg, **půda 1500–2000 Pg**, atmosféra 720 Pg, zásoby fosilních paliv 6000 Pg, oceány 38 000 Pg --- Tyto rezervoáry jsou propojeny vzájemnými toky, mimo jiné i výměnou plynů. Půda obsahuje zhruba dvakrát více uhlíku než biota a atmosféra dohromady!

Zdroje uhlíku pro půdu: prvořadým zdrojem jsou rostlinná těla, živočichové jsou druhořadý zdroj. Protože živočichové konzumují rostliny, přispívají do půdy odpadními látkami (exkrementy) a svými mrtvými těly. Někteří živočichové, jmenovitě žížaly, termiti, mravenci a chrobáci, také hrají velmi významnou roli při zapracování a posunu organické hmoty v půdě.

V jiných zdrojích se uvádí, že obsah uhlíku v půdě se globálně pohybuje na hodnotě 2400 Pg (hodnota bez povrchového humusu), přičemž 1/3 tohoto množství se nachází v hloubce do 1 m pod povrchem. Další 700 Pg se nachází v půdě zabudovaných v karbonátech, které mohou produkovat CO<sub>2</sub> při jejich zvětrávání.

### *Faktory a praktiky ovlivňující zásoby organické hmoty v půdách*

#### *Půdní typ*

Tento uhlík se však nenachází stejnou měrou ve všech půdních typech. Zhruba 45 % uhlíku se nachází pouze ve třech půdních řádech (US Soil Taxonomy): histosols, inceptisols a gelisols. Histosols mají na Zemi jen velmi malou rozlohu, ale obsahují obrovské množství organické hmoty na jednotkovou plochu. Inceptisols a gelisols obsahují jen střední množství uhlíku, ale pokrývají obrovské rozlohy souše.

#### *Bilance mezi příjmy a ztrátami uhlíku*

V přírodních, klimaxových ekosystémech či stabilních agroekosystémech je uvolňování uhlíku v podobě CO<sub>2</sub> v důsledku oxidace (převážně formou mikrobiální respirace), případně eroze (vodní a větrné) balancováno vstupem uhlíku do půdy s odumřelými rostlinnými zbytky (v menší míře živočišnými zbytky).

#### *Vliv klimatu*

Teplota – přes rostlinný pokryv a mikrobiální aktivitu, v teplém prostředí probíhá rychleji mineralizace organické hmoty. Srážky – mají vliv na obsah organické hmoty a taktéž na zásoby dusíku. Vyšší vlhkost vede k většímu hromadění organické hmoty.

## Vliv přirozené vegetace

Vliv zrnitosti a odvodnění – v zamokřených půdách je rozklad organické hmoty zpomalený.

Vliv způsobu zemědělského obhospodařování, typ orby, vliv rotace plodin, posklizňových zbytků a hnojení – přirozená vegetace má vždy vyšší obsah SOC a N v půdě než zemědělská půda. V přírodních podmínkách je všechna vyprodukovaná biomasa vrácena zpět do půdy, zatímco z polí je podstatná část plodin odvážena jako potrava člověka a hospodářských zvířat. Orba navíc provzdušňuje půdu a rozmělnuje organické zbytky, čímž se zvyšuje styčná plocha, kterou mohou atakovat mikroorganizmy.

Různá narušení – odlesňování, určité druhy požárů, orba a odvodňování – vedou k net ztrátě uhlíku v půdním systému.

Toky uhlíku mez půdou a okolím: globálně je roční únik uhlíku z půd do atmosféry kolem 62 Pg, zatímco do půdy se dostává z atmosféry s odumřelými rostlinnými zbytky pouze 60 Pg. Přebývající 2 Pg spolu se zhruba 5 Pg, které jsou ročně uvolněny spalováním fosilních paliv (což byl uhlík sekvestrovaný z atmosféry před miliony let), jsou pouze zčásti odbourány vzrůstajícím pohlcováním uhlíku v oceánech.

Roční odhadované emise uhlíku:

spalování fosilních paliv 5,4 Pg

odlesňování 1,6 Pg

nárůst CO<sub>2</sub> v atmosféře 3,2 Pg

absorpce oceány 2,0 Pg

Odhaduje se, že zhruba 40% antropogenních emisí končí v atmosféře (z fosilních paliv, změn využití země a odlesňování).

Současné nárůsty atmosférické koncentrace CO<sub>2</sub> jsou méně než poloviční oproti očekávaným hodnotám, tzn. že existuje nějaký neznámý recipient (zřejmě terestrický), ve kterém mizí asi 1,8 Pg uhlíku za rok. Tímto příjemcem mohou být úrodné půdy severní polokoule intenzivně využívané jako orná půda, pastviny či hospodářské lesy. Tento neznámý sink uhlíku je důležitý z hlediska přípravy strategií zadržování uhlíku v suchozemských ekosystémech.

### *Využití země a dynamika organického uhlíku v půdě*

Land use je důležitým faktorem v globálním cyklu C, protože ovlivňuje atmosférický rezervoár přes rozklad uhlíkových zásob v přírodní biomase a půdách.

Nárůst rozlohy orné půdy od počátku průmyslové revoluce:

1750 265 mil. ha

1850 537 mil. ha

1920 913 mil. ha

1950 1 170 mil. ha

1980 1 500 mil. ha

Spolehlivé odhady množství organického C v půdách pod přírodními lesními porosty ovšem nejsou k dispozici. Přesně také neznáme rychlost rozkladu organického C v případě, že se změní typ land use. Nového rovnovážného stavu bývá v půdě

dosahováno po změně land use za 10 až 20 let v tropických oblastech a za 150 až 200 let ve středních zeměpisných šířkách.

Houghton (1995) odhadl, že z důvodu změny land use bylo ze SOC<sup>1</sup> (soil organic carbon) uvolněno v období 1850 až 1980 asi 120 Pg uhlíku. K tomuto číslu lze dospět aplikací následující rovnice:

$$C_e = A \cdot D \cdot \rho_b \cdot SOC \cdot f$$

$C_e$  ... množství C přeneseného z půdy do atmosféry

$A$  ... rozloha oblastí, ve kterých došlo ke změně způsobu využívání země (m<sup>2</sup>)

$D$  ... hloubka půdy

$\rho_b$  ... objemová hmotnost půdy vyjádřená váženým průměrem ze všech hloubek (Mg.m<sup>3</sup>)

SOC ... obsah organického uhlíku (váhová %)

$f$  ... podíl SOC, která se rozložila v důsledky změny ve způsobu využívání půdy

Přesnost výpočtu je ovlivněna tím, jak správně se podaří vyčíslit plochu se změnou land use, obsah SOC do hloubky 1 m, raději ale více, objemovou hmotnost každého genetického horizontu a podíl SOC, která se rozložila v různých půdních typech v různých hloubkách.

Nejobtížněji je zjistitelná ta část rovnice, která kvantifikuje obsah SOC pro jednotlivé půdní typy a závislost rychlosti jejího rozkladu na hloubce pod povrchem půdy v průběhu času:

$$C_e = \sum_{i=1}^n \sum_{d_0}^d \Delta SOC$$

$C_e$  ... emise uhlíku

$n$  ... počet půdních typů

$d$  ... hloubka každého půdního horizontu

Nejvíce limitujícími faktory pro použití této rovnice jsou: obsah C v jednotlivých půdních typech a jejich genetických horizontech (alespoň do hloubky 1 m); změna v obsahu SOC po změně land use, která se obvykle pohybuje v intervalu 20 až 30% pro lesy a trvalé travní porosty; objemová hmotnost pro různé horizonty; obsah SOC stanovený různými standardizovanými postupy.

Běžnější laboratorní metody určování SOC a celkového C se liší podle charakteru půd: minerální půdy, organické půdy a zmrzlé půdy.

Minerální půdy: metody mokrého spalování organického uhlíku, metody suchého spalování celkového uhlíku

Tyto výpočty lze provádět pro jedinou půdu, soilscape, krajinu, povodí, region, stát či globálně v závislosti na dostupnosti dat, půdních map a informací/postupů nezbytných pro přepočítávání mezi měřítky (down/up scaling).

### *Degradace půd a dynamika uhlíku*

<sup>1</sup> Dále lze rozlišit SIC (= soil inorganic carbon) a TSC (= total soil carbon)

Změna v land use může změnit schopnost půdy pohlcovat uhlík, tato schopnost zpravidla klesá poté, co byla odstraněna klimaxová vegetace a nahrazena zemědělským způsobem využívání. Rychlost s jakou se ztrácí SOC je zvyšována po nástupu různých degradačních půdních procesů – fyzikálních, chemických či biologických. V podstatě dochází k narušení původní rovnováhy mezi vnosem a vyčerpáváním SOC v půdě. Dramaticky se obsah SOC snižuje v důsledku akcelerované půdní eroze. Samozřejmě na druhou stranu se může zvýšit obsah SOC na depozičních místech. Čistý efekt eroze na obsah SOC v půdě v lokálním pohledu (na parcele) je vždy negativní:

$$C_l = \sum_{i=1}^n (SOC_i - SOC_f) \cdot \rho_b \cdot d$$

$C_l$  ... ztráta uhlíku v důsledku eroze

$SOC_i$  ... obsah uhlíku před erozní událostí

$SOC_f$  ... obsah uhlíku po erozní události

$\rho_b$  ... objemová hmotnost půdního horizontu o hloubce  $d$

$n$  ... počet horizontů

Na úrovni povodí je čistý efekt eroze výsledkem eroze a akumulace SOC ve všech krajinných jednotkách. Pro povodí či oblast s více typy půd je třeba zhodnotit ztrátu SOC z pohledu eroze, ale i akumulace erodované půdy:

$$C_{ew} = \sum_{i=1}^n (SOC_i + SOC_d) - (SOC_e + SOC_l + SOC_m) \cdot \rho_b \cdot d$$

$C_{ew}$  ... ztráta SOC z povodí erozními procesy

$SOC_i$  ... počáteční množství SOC

$SOC_d$  ... množství SOC uložené v povodí

$SOC_e$  ... množství SOC odnášené erozí (jak partikulovaná, tak rozpuštěná)

$SOC_l$  ... množství vyluhované SOC

$SOC_m$  ... ztráta SOC mineralizací

$\rho_b$  ... vážený průměr objemové hmotnosti půdy pro uvažovanou hloubku půdy

$n$  ... počet půdních jednotek

Experimentální zhodnocení všech komponent rovnice vyžaduje vytvořit postupy kvantifikace partikulované a rozpuštěné SOC v povrchových vodách, erodovaných sedimentech, uložených půdách a průsakové vodě. Navíc je třeba měřit intenzitu půdního dýchání, objemovou hmotnost půdy a mocnost horizontů všech půdních typů v povodí.

### *Půdní procesy vedoucí k emisím uhlíku*

#### *Půdní eroze*

Vede k lokálnímu vyčerpávání obsahu SOC v důsledku odnosu rozpuštěného organického uhlíku (DOC, dissolved organic carbon) a partikulovaného (úločkovitého) organického uhlíku (POC, particulate organic carbon) v povrchovém odtoku a erodovaném materiálu. Celkové množství SOC přemístěné ročně erozí se odhaduje na 5,7 Pg. Za předpokladu, že 20% tohoto uhlíku podlehně mineralizaci, bude přínos do atmosféry asi 1,14 Pg/rok a transport do oceánu je asi 0,57 Pg/rok (Lal, 1995). Co se děje s uhlíkem, který se znovu uloží spolu s erodovanými půdami na úpatích svahů, ve sníženinách, na dně vodních nádrží není dobře známo.

## Vyluhování

Jedná se o důležitý, ale málo studovaný proces transportu rozpuštěného organického uhlíku. DOC je skupina látek, na které se vážou těžké kovy a jiné polutanty, se kterými se tyto škodliviny přenášejí do povrchových a podzemních vod. Prosakující voda může rovněž unášet partikulovaný organický uhlík, a to zejména tam, kde se nacházejí hrubozrnnější půdy.

## Anaerobióza

Bezokyslíkaté podmínky v půdách vedou ke vzniku CH<sub>4</sub>. Tento proces označovaný jako metanogeneze je běžným způsobem emisí metanu do atmosféry tam, kde jsou mokřady nebo půdy saturované vodou po většinu roku. Existuje několik zdrojů a sinků metanu, mezi kterými jsou nejdůležitějším zdrojem mokřady a důležitým sinkem nezamokřené oblasti. Mokřady pokrývají asi 6 % souše (ang. marshes, swamps, peatbogs, mines), přírodní mokřady jsou dnes zodpovědné asi za 1/5 celkového ročního vnosu metanu do atmosféry. Odvodnění mokřadů vede ke snížení emisí CH<sub>4</sub>, ale na druhou stranu způsobuje oxidaci akumulované organické hmoty.

Anaerobní podmínky jsou vytvářeny rovněž při pěstování rýže (*Oryza sativa*) na rýžových polích (paddy). Zaplavování rýžových polí následované vznikem anaerobních podmínek a produkcí metanu je zodpovědné za 1/6 ročních emisí metanu do atmosféry. Intenzita emisí metanu byla na rýžových polích vyčíslena v rozmezí 0,44 – 0,5 g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/den. Hodnoty emisí z přírodních mokřadů se pohybují v rozmezí od 2 do 100 mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/den.

## Půdní respirace

Edafon zahrnující mikro až makrofaunu dýchá a produkuje CO<sub>2</sub>. Vysoké koncentrace CO<sub>2</sub>, které nezřídka přesahují 10 až 100 násobně koncentrace ve volné atmosféře je výsledkem dýchání půdní bioty a rostlinných kořenů. Vysoké koncentrace CO<sub>2</sub> jsou důsledkem zbrzděné difúze plynů mezi půdou a atmosférou.

## Oxidace a mineralizace

Jedná se hlavní formu emisí C z nezamokřených půd a odvodněných mokřadů. Globální emise C z půd je rovna 60 Pg za rok. Způsoby obhospodařování půdy, které zesilují oxidaci SOC zahrnují orbu a vytváření aerobních podmínek odvodňováním mokřadů.

### *Emise CH<sub>4</sub> z rýžových polí (rice paddy soils)*

Emise CH<sub>4</sub> z rýžových polí mohou být vyčísleny dvěma způsoby: - na základě produkce rýže, - na základě rozlohy rýžových polí.

Produkce CH<sub>4</sub> (g) = sklizeň rýže (g) x emisní faktor

Produkce CH<sub>4</sub> (g) = organická hmota zapravená do půdy (g) x emisní faktor

Produkce CH<sub>4</sub> (g) = rozloha sklizených ploch x poměrná část roku s metanogenezí x emisní faktor

Pro získání věrohodných výsledků metanových emisí pomocí metody kalkulující s rozlohou rýžových polí je zapotřebí dobře odhadnout dobu, po kterou probíhá metanogeneze na zaplavených polích, aby bylo možné vypočítat celkovou plochu polí, ať už v regionálním či globálním měřítku; měřit a kvantifikovat rychlost produkce metanu; stanovit emisní faktor. Emisní faktor se obvykle vyjadřuje v g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/den.

Metoda založená na datech o sklizni rýže poskytuje obvykle hodnoty o 15 až 20 % nižší než metoda využívající rozlohu osetých polí.

Globální odhady emisí CH<sub>4</sub> se pohybují v rozmezí 70 až 100 Tg metanu za rok v závislosti na výpočetní metodě.

#### *Emise C z organických půd*

Organické půdy mohou být zásadním zdrojem CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> pro atmosféru. Rašeliniště účinně akumulují uhlík; odvodnění rašelinných půd však vede k rychlým emisím v důsledku oxidace a mineralizace. Ačkoliv jsou stará, vyzrálá rašeliniště důležitým rezervoárem uhlíku, metody pro sekvestraci C v rašeliništích nejsou dosud dokonale propracovány. Nabízí se měření změn výšky povrchu rašeliniště, pokud je k dispozici pevný bod (např. skalní výchoz) na který lze měření navázat. Jako referenční bod lze použít také kovové desky, které se pohřbí do rašeliny. Je však třeba desku pohřbít dostatečně hluboko do rašeliny nebo do podloží, aby se vyloučil její nechtěný pohyb. Následně se zjišťuje přírůstek mocnosti organické vrstvy v časových horizontech 10 až 20 let. Zapotřebí je s dostatečnou přesností určit objemovou hmotnost rašeliny.