

EKOLOGIE LESA

Pracovní sešit do cvičení č. 3: Koloběhy látek v lesních ekosystémech



Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR InoBio – CZ.1.07/2.2.00/28.0018

Úvod

- Cyklický pohyb, zejména prvků mezi atmosférou, půdou, vodními plochami a organizmy.
- Koloběh látek je možno sledovat na různých úrovních.
- Lesní ekosystémy jsou napojeny na globální cyklus uhlíku, dusíku i na koloběh síry.

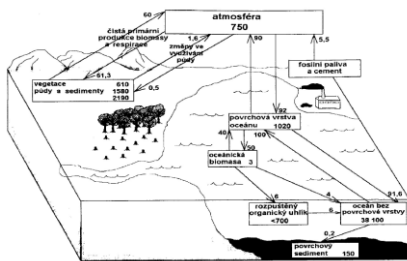
Typy koloběhů (Kimmins, 1988)

- geochemický koloběh
- biogeochemický koloběh
- biochemický koloběh

Koloběh uhlíku

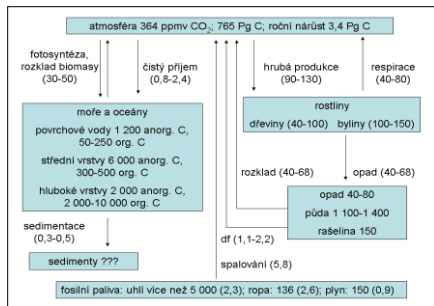
- Uhlík je společně s dusíkem, kyslíkem a vodíkem základním stavebním prvkem všech živých systémů. Je ústředním prvkem veškeré biomasy, a tak i základem života na Zemi.
- Lesní ekosystémy Země obsahují dohromady 90 % uhlíku obsaženého v biomase terestrických ekosystémů a z toho téměř polovina je v biomase tropických deštných lesů.
- Půdní humus reprezentuje významnou akumulaci uhlíku ve většině ekosystémů, protože tady uhlík zůstává nezoxidovaný po staletí. Je důležitým dlouhodobým zdrojem uhlíku v ekosystému.

Globální cyklus uhlíku

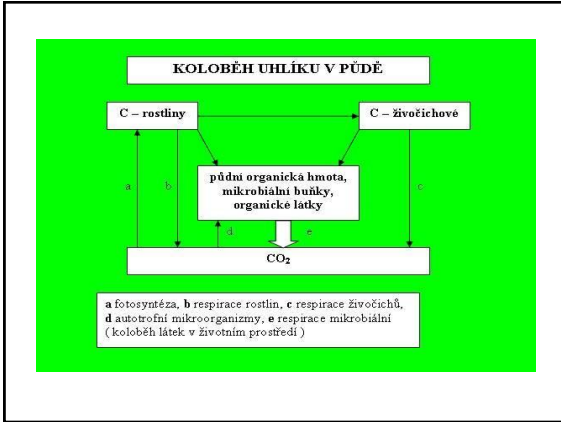


Globální cyklus uhlíku na Zemi. (Houghton, 1999)

Globální cyklus uhlíku



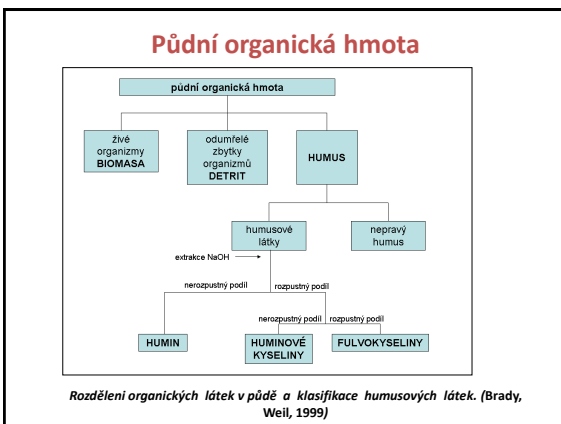
Paul, Clark 1996, převzato Šimek 2003



Půdní organická hmota
(Soil Organic Matter, dále jen SOM)

Souhrn všech neživých organických součástí půdy

- **Humusové látky (humic substances)** - humusové kyseliny, fulvokyseliny a huminy - stabilní, vysokomolekulární látky (60-80 % půdní organické hmoty)
- **Nespecifické sloučeniny (nonhumic substances)** - cukry, organické kyseliny, aminokyseliny, celulóza, chitin, lignin, a další sloučeniny) - labilní, nízkomolekulární látky (20-30 % půdní organické hmoty)



Faktory ovlivňující SOM

- Klimatické parametry
- Typ vegetace (charakter opadu)
- Charakter půdy a nadložního humusu (podmínky dekompozice)
- Způsob obhospodařování lesa

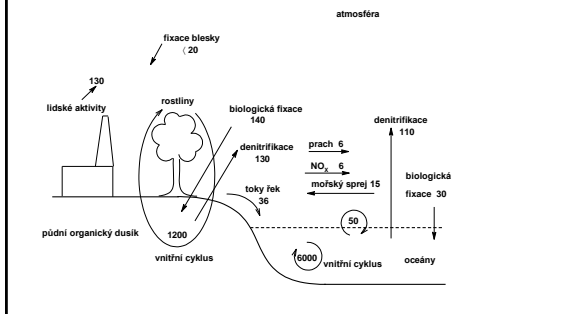
Význam SOM

- Pool (zásobník) organických látek v půdě - přenos atmosférického uhlíku
- Účast v chemických a biologických procesech
- Transport živin v půdě
- Koloběh prvků v ekosystému
- Zvětrávání minerálů a transport těžkých kovů
- Přenos uhlíku mezi organickým a minerálním horizontem půdy
- Příznivý vodní, vzdušný a tepelný režim půdy
- Zvyšování úrodnosti půdy
- Zvyšování sorpční kapacity půdy

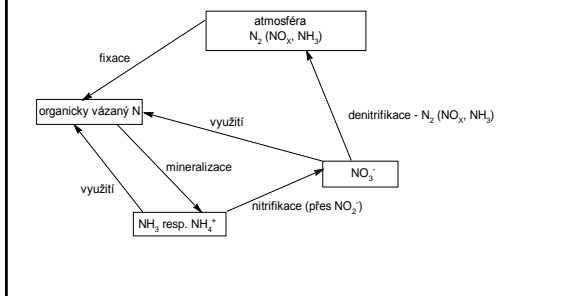
Koloběh dusíku

- Dusík je jednou z hlavních živin.
- Dusík je nezbytný pro tvorbu biomasy a životní funkce buněk všech organismů.
- Dusík je složkou bílkovin (aminokyseliny), ribonukleových (RNA) deoxyribonukleových (DNA) kyselin, chlorofylu, chitinu, peptidoglykanů a enzymů.
- Rostliny i mikroorganismy přijímají dusík ve formě iontů, nitráty (NO_3^-), nitrity (NO_2^-) a amonné ionty (NH_4^+). Bakterie a sinice mohou asimilovat molekulární dusík (N_2).
- Půdy obsahují značné množství dusíku, ale rostliny a mikroorganismy mnoho dusíku odčerpávají.

Globální cyklus dusíku roční toky v mil. tun dusíku



Zjednodušené schéma cyklu dusíku (biochemický cyklus)



Zdroje dusíku v ekosystému

- Suchý a mokřý spád
- **Fixace molekulárního dusíku**
- **Mineralizace organické hmoty**
- Hnojiva

Fixace

- **Fixace atm. dusíku** - fixace atm. dusíku půdními bakteriemi – přímá přeměna atm. dusíku na organicky vázaný dusík – pouze některé rostliny.
- $\text{N}_2 + 8\text{H}^+ + 6\text{e}^-$ (+ energie, nitrogenasa) $2\text{NH}_3 + \text{H}_2$
- Bakterie *Rhizobium* – žijí v symbióse s luskovitými rostlinami na jejich kořenech.
- Některé mikroorganismy – *Azotobacter*, *Clostridium* – přeměňují vzdušný dusík na NH_3 .
- V menší míře probíhá **fixace oxidací atmosférického N_2 při blesku** (energie výboje štěpí vazby O_2 resp. N_2) za vzniku NO a pak přeměna na NO_2 a oxidace až na dusičnany přijatelné rostlinami).
-

Mineralizace

- **Mineralizace** - mikrobiální rozklad (hnití) organicky vázaného dusíku na amoniak resp. amonný kation (statková hnojiva)
- $\text{R-NH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4 + \text{R-OH} + \text{OH}^-$
- amonná forma - amonifikace (amonizace)
- opakem procesu je **imobilizace** – asimilace minerálních forem dusíku a jejich zabudování do organických látek biomasy organizmů.

Ztráty dusíku z ekosystému

- **Volatilizace amoniaku**
- **Vyplavování dusíkatých látek**
- Emise plynných sloučenin dusíku
- Odnos dusíku v biomase rostlin
- Odnos dusíku erozí

Volatilizace amoniaku

- Vypařování (těkání) plynného NH_3 z půdy a vody do atmosféry
- $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$ (plyn)
- Volatilizaci podporují vyšší teploty a nedostatek jílových minerálů a humusových látek
- hnojení močovinou, bezvodým čpavkem a organické hnojiva (hnůj, kejda, močůvka)

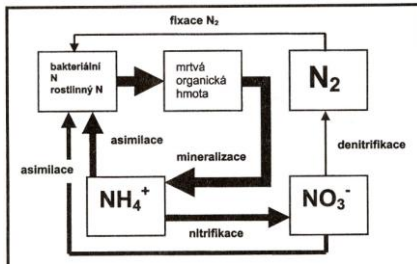
Vyplavování dusíku

- Významný mechanismus ztrát dusíku z půdy
- Vliv na eutrofizaci vod a nepřímo na acidifikaci
- Až několik desítek $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$

Přeměny dusíku v ekosystému

- **Asimilace**
- **Nitrifikace**
- Asimilace a disimilační redukce NO_3^- na NH_4^+
- **Denitrifikace**
- Nerespirační denitrifikace
- Respirace nitrátů
- **Fixace amoniaku**
- Tvorba plynných sloučenin

Přeměny dusíku v ekosystému



Mineralizace organických dusíkatých látek. (Blackburn, 1983)

Asimilace dusíku organizmy

- Rostliny a mikroorganizmy - forma amoniakální (NH_4^+) i nitrátová (NO_3^-)
- Většina rostlin dává přednost NH_4^+ a pak teprve NO_3^- a NO_2^-

Nitrifikace

- Oxidace **amonné** formy na **nitrit a nitrát**
- Biologická přeměna organických a anorganických sloučenin dusíku z redukovaných forem na oxidovanější
- $NH_4^+ + 2O_2 = NO_3^- + H_2O + 2H^+$
- klíčový proces
- transformace - nepohyblivá forma x pohyblivá forma
- okyselování
- plynné sloučeniny (NO a N_2O)

Denitrifikace

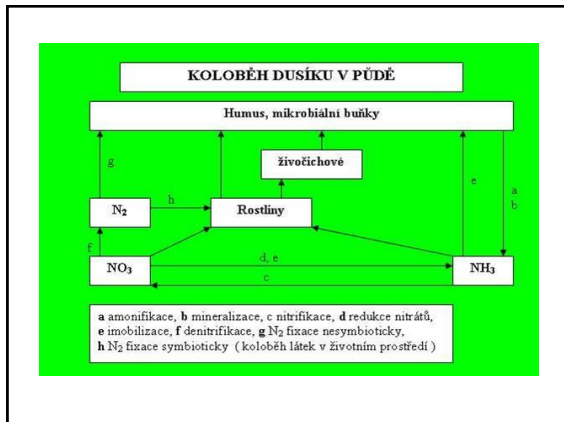
- Denitrifikace - mikrobiální přeměna dusičnanových aniontů zejména na molekulární dusík (ale i na oxidy dusíku a amoniak)
- $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow (\text{NO}) \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2 \rightarrow$
- Přispívá k nárůstu koncentrace oxidu dusného v atmosféře
- Ochuzuje daný systém o dusík, který by mohl být využit jako živina

Nerespirační denitrifikace

- Redukce nitrátů nebo nitritů na oxid dusný (N_2O) za aerobních podmínek
- Bakterie, houby, řasy i sinice

Fixace amoniaku

- Poutání amonnyčch iontů (NH_4^+)
- Jílové minerály (vermikulit, montmorilonit)
- Může být poutáno 10-30 % z celkového obsahu dusíku v půdě

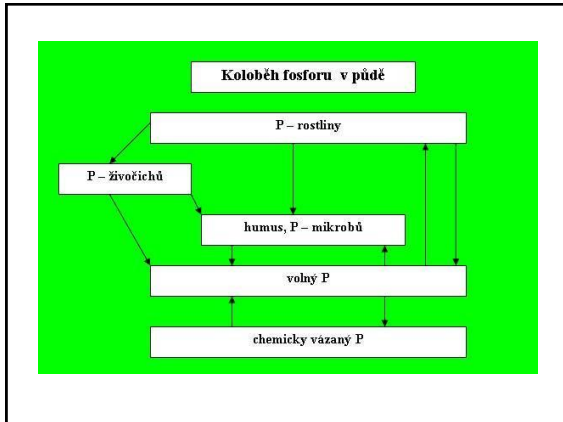


Ostatní koloběhy

- Koloběh fosforu
- Koloběh síry
- Koloběh draslíku
- Koloběh vápníku a hořčíku
- Koloběh železa a manganu
- Koloběh rtuti

Koloběh fosforu

- Nezbytná součást minerální výživy rostlin
- Obsah v půdě - malý
- Formy fosforu - rozpustné, nerozpustné
- Rozpadající se horniny - rozpustné fosforečnany
- Návrat do koloběhu činností mikroorganismů při mineralizaci
- Množství rozpustných sloučenin fosforu se dostává do vod a moří - eutrofizace
- Nepříznivé dopady na kvalit prostředí - vymírání ryb, vodních organismů, ovlivňuje zdraví lidí



Hnojení

- Významnou položku v bilanci rozpustných fosfátů tvoří fosforečnany z **průmyslových hnojiv**, které se vyrábějí z těžných nerozpustných fosfátů (působením kyselin se převádějí na rozpustné formy).
- Dodané rozpustné formy fosforu stačí rostliny spotřebovat jen málo, část je **degradována na nerozpustné fosforečnany** (Ca, Fe, Al) a část je spláchnuta do povrchových vod (ať již jako rozpustné nebo jako nerozpustné částice).

Fosfor ve vodách

- **Zdrojem fosforečnanů v povrchových vodách jsou dnes hlavně průmyslová hnojiva, detergenty** (přídavek polyfosfátů na změkčování vody) a odpady z kanalizací.
- **Fosforečnany jsou transportovány říčními toky do moří**, kde rozpustné formy umožňují **růst fytoplanktonu**.
- **Usazováním částic nerozpustných fosforečnanů a odumírajících organismů vznikají opět fosfátové sedimenty.** (Tok fosforu řekami do oceánů představuje asi 21 milionů tun ročně, z toho 1 milion v rozpustné formě.)

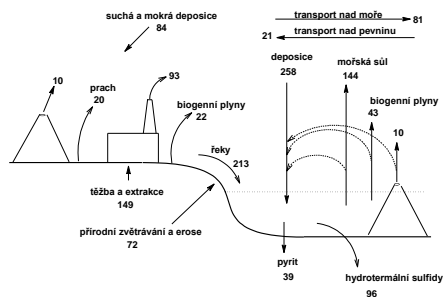
Eutrofizace

- V důsledku hnojení průmyslovými hnojivy, používání detergentů s polyfosfáty a vypouštěním odpadních vod (obsahují fosfáty z exkrementů a organických zbytků) jsou vodní nádrže, jezera a rybníky přehnojeny fosforem (obdobně i dusíkem) – **antropogenní eutrofizace**.
- Dochází k nadměrné tvorbě organické hmoty (řasy); při jejím rozkladu klesá koncentrace kyslíku rozpuštěného ve vodě a úhynu aerobních organismů. Obdobně dochází i k přehnojování mořských zálivů i celých moří.
- Důsledky eutrofizace....

Koloběh síry

- **Nezbytná živina**
- Síra v půdě vázána v **organických látkách**
- Přeměny síry - **oxidační a redukční reakce** prováděné mikroorganismy v půdách sedimentech i vodách
- Síra tvoří řadu **plynných sloučenin** (organické, anorganické)
- Významný **zásobník síry - atmosféra**
- Nadbytek síry - znečištění, vysoké koncentrace síry a dusíku - **kyselé deště**

Globální cyklus síry - roční toky v milionech tun síry



Síra v atmosféře

- Do atmosféry vstupují přírodní nebo antropogenní cestou
- H_2S jako biogenní plyny, vulkanická činnost, průmyslové emise (např. výroba koksu)
- SO_2 při spalování (fosilní paliva i biomasy), požáry, vulkanická činnost
- Dochází k jejich oxidaci až na S^{VI} – síranové aerosoly. Oxidace $\text{SO}_2 \rightarrow \text{S}^{\text{VI}}$ v atmosféře (i při výrobě kyseliny sírové) není jednoduchý proces

Oxidace síry

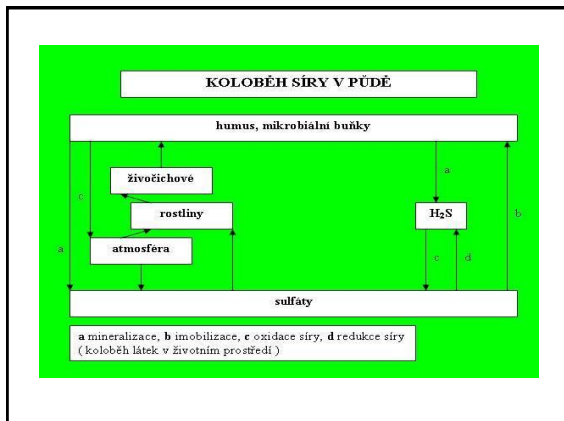
- **Postupná oxidace v atmosféře**
- $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{HSO}_4^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$
- Sloučeniny S jsou z atmosféry deponovány mokřím (kyselé deště) nebo suchým spadem na zemském povrchu - v půdě a ve vodách.

Síra v litosféře a půdě

- Na zemském povrchu jako sírany hlouběji jako sulfidy (hlavně jako pyrit FeS_2)
- Sulfidy (např. v důlních odpadech - hlušina) jsou na zemském povrchu oxidovány na sírany
- **Mineralizace** - organicky vázaná síra se v mrtvé organické hmotě rozkládá mikrobiálně na H_2S (při anaerobních podmínkách)
- $\text{S}_{\text{org.}} + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- = \text{H}_2\text{S}$
- Rostliny asimilují S ve formě rozpustných síranů. (Síra je přítomna v některých aminokyselinách - cystein)

Síra ve vodách

- **Hydrosféra** přítomna především jako kyselá sírany a sírany.
- V půdě a ve vodách (bažiny, mokřady) za anaerobních podmínek mikrobiálně redukována za vzniku H_2S (i dimethylsulfid a dimethyldisulfid) – biogenní plyny.
- Řekami splachována rozpustné sírany **do moří**.
Tvorba fytoplankton - organická S.
- Tvorba biogenních plynů - do atmosféry
- Tvorba sulfidů – do litosféry




Koloběh uhlíku, dusíku a síry ve smrkovém, bukovém a smíšeném porostu na Dražanské vrchovině

Ladislav Menšík, Tomáš Fabiánek, Jiří Kulhavý

příkladová studie



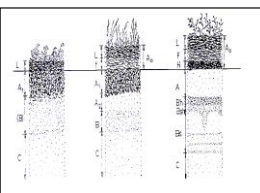
Pedologický kruh



Odběry byly provedeny na podzim po opadu listí roku 2004 a 2005 v 10 opakováních na ploše 0,5ha.

Formy nadložního humusu


mul	moder	mor
-----	-------	-----



C/N >15	10-15	8-12
pH 3,5-4,5	4,0-5,5	5,5-7,0


Forma nadložního humusu

Smrkový porost




Moder

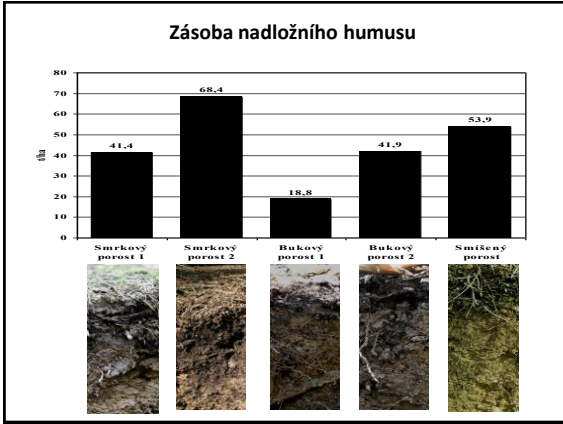
Smíšený porost

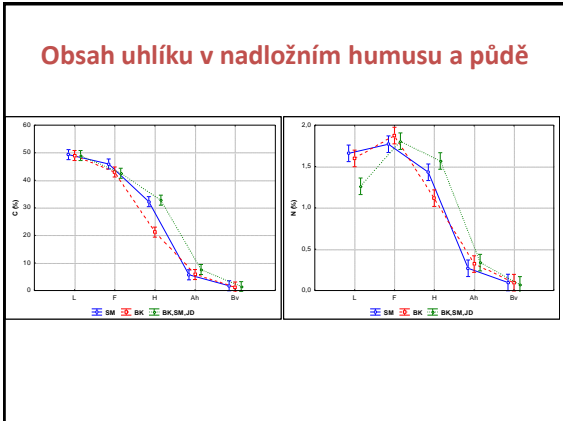


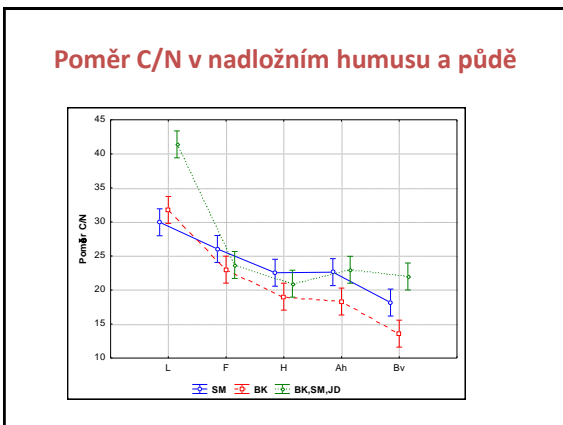
Mull-moder

Bukový porost



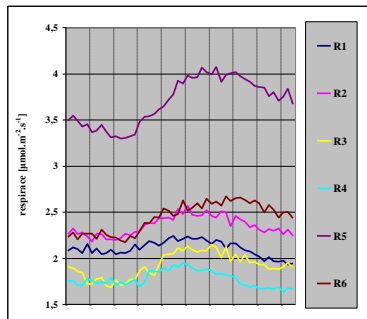






Rychlost respirace v 6-ti komorách (24.08.2009 - denní

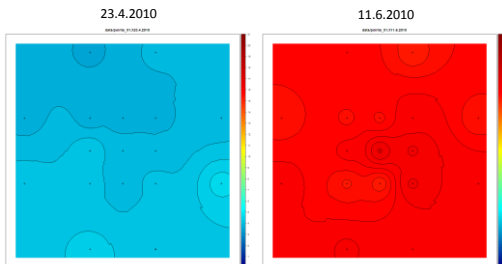
průběh)



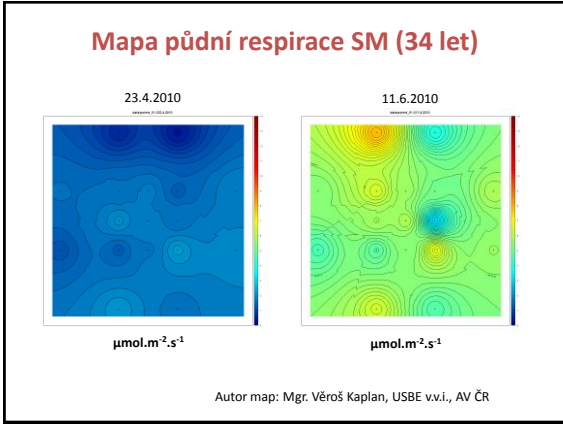
Množství vyrespirovaného uhlíku z půdy

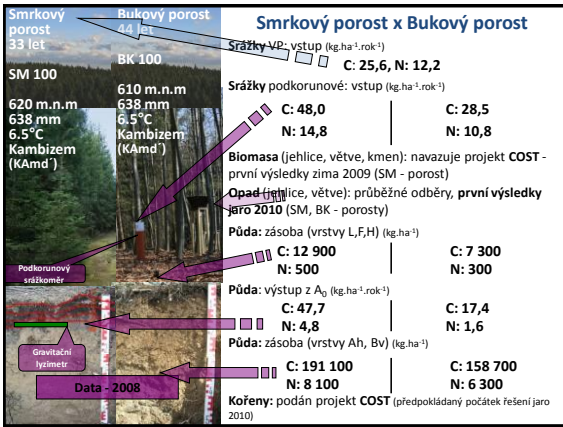
		IV	V	VI	VII	VIII	suma
CO ₂	spruce t.ha ⁻¹ .month ⁻¹	1,25	2,40	2,59	2,60	3,29	12,14
	beech gap t.ha ⁻¹ .month ⁻¹	1,31	2,17	2,79	2,92	3,41	12,61
C	spruce t.ha ⁻¹ .month ⁻¹	0,341	0,63	0,70	0,68	0,89	3,26
	beech gap t.ha ⁻¹ .month ⁻¹	0,35	0,57	0,76	0,77	0,93	3,39

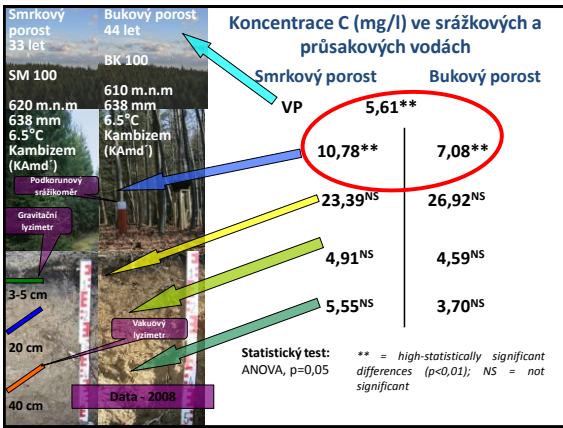
Mapa půdní teploty (°C) SM (34 let)



Autor map: Mgr. Věroš Kaplan, USBE v.v.i., AV ČR



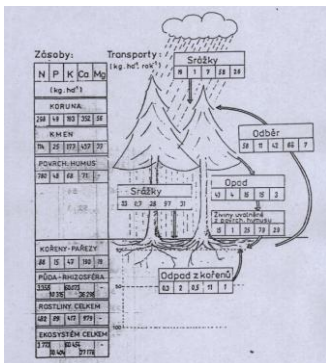




Výsledky - bilance uhlíku (C) a dusíku (N) rok 2008

Zastoupení (%)	SM 100	BK 100
Věk (let)	33	44
Zásoba nadložního humusu (kg/ha)	36 800	22 000
Zásoba C (vrstvy L,F,H) - (kg/ha)	12 900	7 300
Zásoba C (vrstvy Ah,Bv) - (kg/ha)	191 100	158 700
Zásoba N (vrstvy L,F,H) - (kg/ha)	500	300
Zásoba N (vrstvy Ah,Bv) - (kg/ha)	8 100	6 300
Celková zásoba C - půda (kg/ha)	204,1	158,7
Celková zásoba N - půda (kg/ha)	8,6	6,5
Srážky nad porostem - C (kg/ha)	25,6	25,6
Srážky nad porostem - N (kg/ha)	12,2	12,2
Srážky pod porostem - C (kg/ha)	48,0	28,5
Srážky pod porostem - N (kg/ha)	14,8	10,8
Výstup C z A0 (kg/ha)	47,7	17,4
Výstup N z A0 (kg/ha)	4,8	1,6
Koncentrace C v půdě (mg/l)	4,9-5,5	3,7-4,5
Koncentrace N v půdě (mg/l)	0,1-0,2	0,1-0,2

Koloběh hlavních elementů v ekosystému jehličnatého lesa.



ANALÝZA AKUMULACE A CHEMICKÉHO SLOŽENÍ HUMUSOVÝCH HORIZONTŮ V POROSTECH S ROZDÍLNÝM ZASTOUPENÍM DOUGLASKY NA ŽIVNÝCH STANOVIŠTÍCH ŠLP KŘTINY A KYSELÝCH STANOVIŠTÍCH ŠP HŮRKY

L. Menšík, J. Kulhavý, P. Kantor,



INVESTICE DO KVALITNÍ VĚDELEKAR

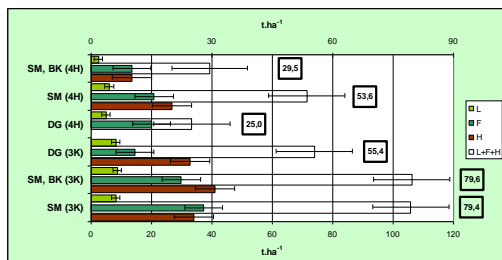
Charakteristika výzkumných ploch

Varianta - Lokalita	Věk	Dřevinná skladba	Půdní typ	Lesní typ
Varianta 1 - ŠP Hůrky	65	SM 100	Kambizem modální oligotrofní	3K - kyselá dubová bučina (kyselé stanoviště - řada)
Varianta 2 - ŠP Hůrky	65	SM 80, BK 20		
Varianta 3 - ŠP Hůrky	65	DG 100		
Varianta 4 - ŠLP Křtiny	60	DG 100	Kambizem modální mezotrofní	4H - hlinitá bučina (živné stanoviště - řada)
Varianta 5 - ŠLP Křtiny	60	SM 100		
Varianta 6 - ŠLP Křtiny	60	SM 70, BK 30		

Výsledky

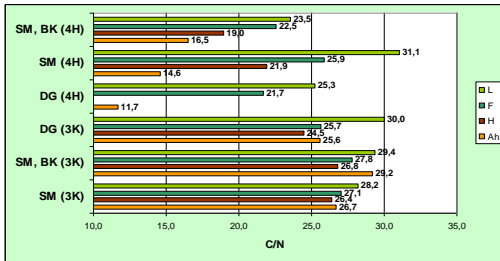


Zásoba povrchového humusu



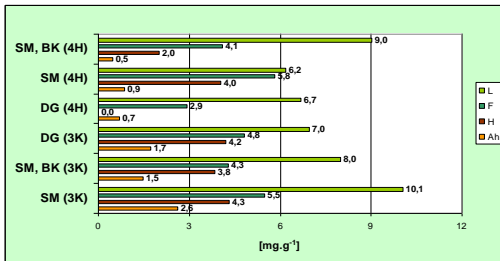
Nejnižší zásoba v porostu DG na živném stanovišti 25,0 t.ha⁻¹, nejvyšší akumulace v porostu SM a porostu SM, BK na kyselém stanovišti 79 t.ha⁻¹ - statisticky významný rozdíl.

Poměr C/N



Nejnižší poměr C/N v nadložním humusu v horizontu H je porostu SM, BK (19) a v porostu SM (22) na živném stanovišti, nejvyšší je v porostu SM, BK a v porostu SM (26) na kyselém stanovišti.

Obsah DOC



Vyšší obsah DOC v porostech na kyselých stanovištích může znamenat větší riziko pro okyselování půdy.



Acidifikace a nutriční degradace lesních půd



Acidifikace - základní pojmy

- **Acidita půdy** - vztah mezi množstvím bazických kationtů a množstvím kyselých Al iontů ve výměnném komplexu.
- **Termín acidifikace**, jak byl aplikován na půdní systémy, vlastně znamená komplexní řadu procesů, které nelze popsat kvalitativně jediným indexem. Proto byly zavedeny pojmy **kapacity a intenzity**.

Zdroje a principy zakyselování lesních půd

- **Interní zdroje**
- **Externí zdroje**

Interní zdroje

Interní zdroje H^+ zahrnují:

- akumulaci kationtů (s výjimkou NH) v biomase,
- disociaci CO_2 nebo organických aniontů,
- asimilaci aniontů,
- slabou disociaci kyselin,
- vyluhování organických aniontů,
- uvolňování aniontů zvětráváním,
- zpětné „zvětrávání“ kationtů (vysrážení) v půdě.

Externí zdroje

- Externí zdroje zahrnují vstup H^+ kyselou depozicí.
- Nejhojnější znečišťující látkou jsou oxid siřičitý (33%), popílek z tuhých paliv (28%), ale v regionálním měřítku se stále více uplatňují oxidy dusíku (14%) a jejich vliv na kyselost srážkové vody se postupně začíná přibližovat vlivu SO_2 .
- Kyselé atmosférické depozice vstupují do ekosystému v různých formách a různými cestami.

Externí zdroje - pokračování

- Nejčastější silné kyseliny v kyselých srážkách jsou H_2SO_4 a HNO_3 .
- Příležitostně také jiné minerální kyseliny např. HCl , H_3PO_4 nebo organické kyseliny např. kyselina mravenčí, kyselina octová.
- Jiné organické kyseliny, např. H_2CO_3 , která vzniká rozpouštěním atmosférického CO_2 ve vodě.
- Atmosférické depozice zahrnují nejenom srážky, ale i pevné a plynné složky.

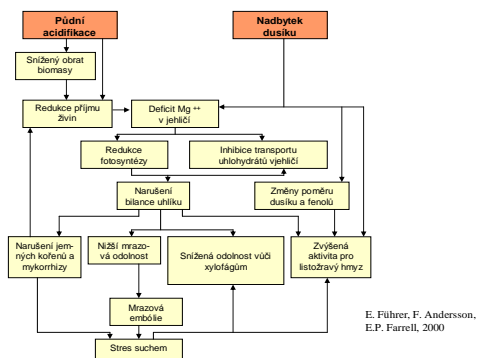
Externí zdroje - pokračování

- Významnými plynnými složkami jsou SO_x , zvláště SO_2 , NO_x a NH_3 .
- Pevné depozice mohou obsahovat soli jakýchkoliv kyselých aniontů nebo bazických kationtů.
- Celková acidifikační kapacita připadající těmto zdrojům může být rovna nebo může dokonce převyšovat acidifikační kapacitu přímých srážek.

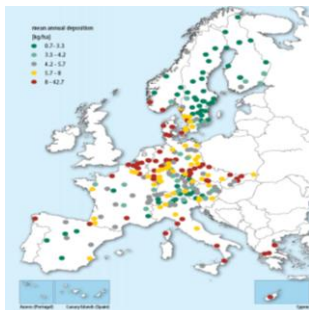
Důsledky acidifikace (zakyselování)

- snižuje hodnotu pH vody a půdy,
- vytváří nerovnováhu mezi ionty,
- snižuje nasycenost sorpčního komplexu bázemi,
- roste obsah rozpuštěného hliníku ve vodě,
- dochází k kvalitativním a kvantitativním změnám humusu,
- dochází k vyplavování draslíku, snižuje se přijatelnost fosforu rostlinnými společenstvy,
- dochází k narušení mykorrhizy,
- dochází k zpomalení rozkladu celulózy,
- je příčinou nahrazování živných kationtů Ca^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} a Cd^{2+} ,
- další důsledky.

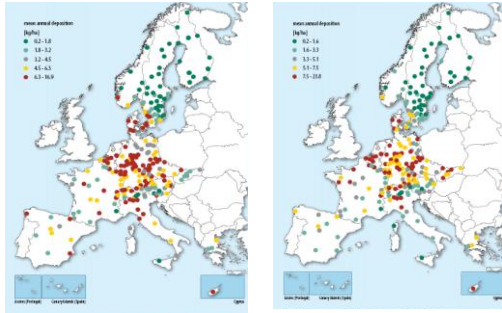
Důsledky acidifikace pro lesní ekosystém



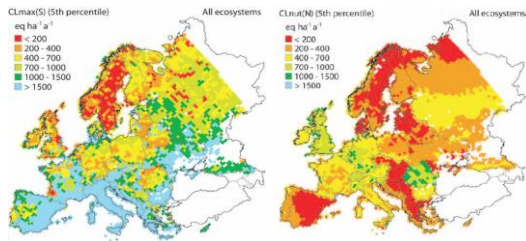
Průměrná podkorunová depozice síry ($\text{SO}_4\text{-S}$), 2003-2005, 249 ploch (ICP Forest 2008)



Průměrné podkorunové depozice nitrátů ($\text{NO}_3\text{-N}$ – v levo) a amonijaku ($\text{NH}_4\text{-N}$ – v pravo), 2003-2005, 249 ploch (ICP Forest 2008)

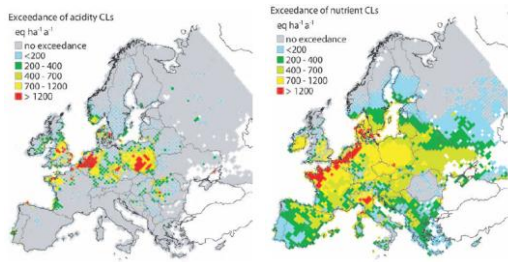


Kritické zátěže



Kritické zátěže acidity (vlevo) a dusiku (vpravo) v Evropě (ÁGREN 2009)

Překročení kritických zátěží



Oblasti kde jsou překročeny kritické zátěže pro acidity (vlevo) a dusík (vpravo) v roce 2000 (Ágren 2009)

Území poškozené acidifikací a eutrofizací v roce 2000 a výhled na roky 2010 a 2020 (ÅGREN 2009)

ACIDIFIKACE								
	2000		2010CLE		2020CLE		2020MTFR	
	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²
EU 27	19	368,100	11	213,100	9	174,300	2	38,700
Evropa	11	464,500	7	295,600	6	253,400	1	42,200

EUTROFIZACE								
	2000		2010CLE		2020CLE		2020MTFR	
	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²
EU 27	74	1,198,700	69	1,117,700	64	1,036,700	28	453,500
Evropa	49	1,893,400	48	1,854,700	47	1,816,100	17	656,900

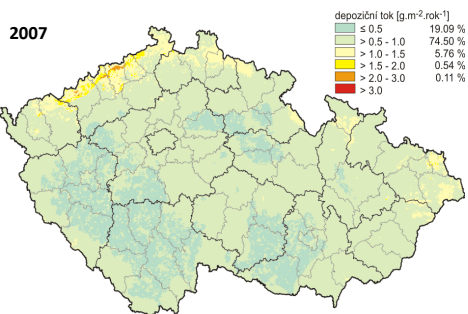
CLE - podle legislativy v roce 2010 a 2020

MTFR - maximální technické (nápravná) opatření do roku 2020

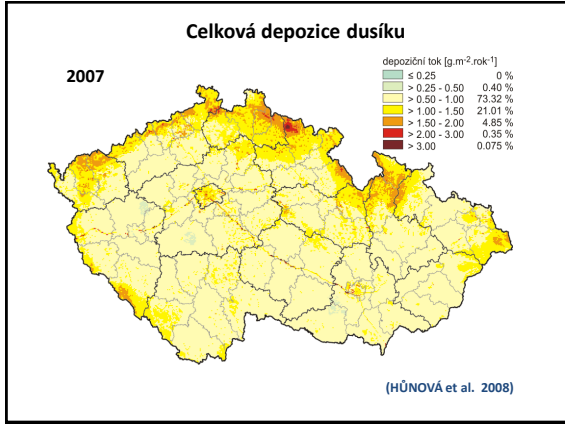
THE CZECH REPUBLIC

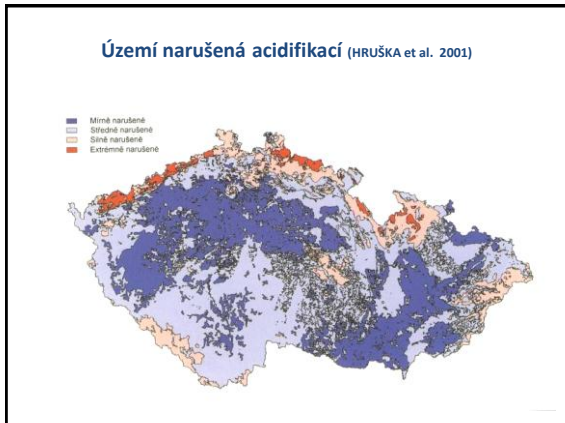
- Long-term effect of acid deposition in mountain regions
- Exceeding the critical loads (acid neutralization capacity) in forested areas
- About ¼ forest land is affected by acidification and nutritional degradation (about 0.7 million ha)
- Highest level of acid inputs (more than 7 kmol.(H⁺).ha⁻¹.year⁻¹) was measured in period 1960-1980 - Krušné hory Mts., Krkonoše Mts., Jeseníky Mts., etc.
- At present the **critical loads** for acidity are still exceeded by more than 0.2-1.2 kmol.(H⁺).ha⁻¹.year⁻¹, for nutritional nitrogen 0.7-1.2 kmol.(H⁺).ha⁻¹.year⁻¹

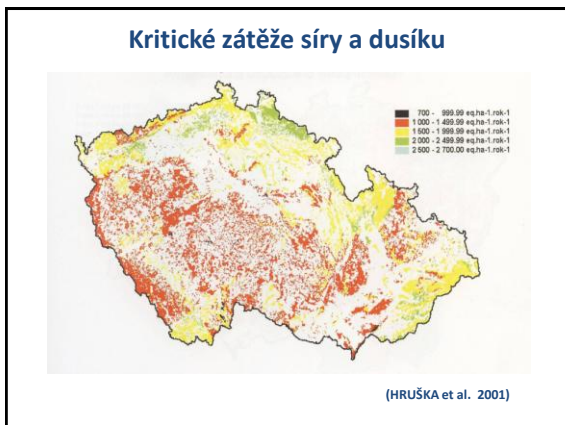
Celková depozice síry



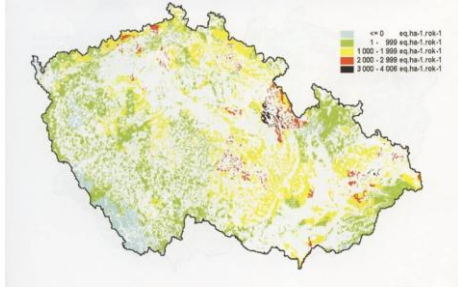
(HÜNOVÁ et al. 2008)





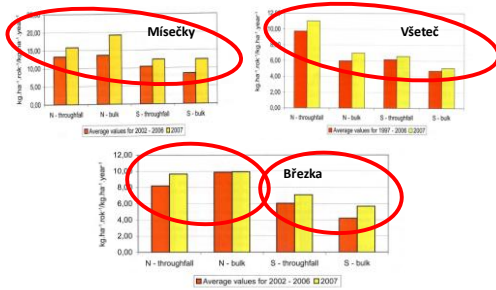


Překročení kritických zátěží síry a dusíku



(HRUŠKA et al. 2001)

Depozice dusíku a síry v České republice



Depozice dusíku a síry v roce 2007 s porovnáním průměrných hodnot za období (BOHÁČOVÁ et al. 2009)
