

Biogeochemické koloběhy – tok hmoty v lesním ekosystému

Přednáška B-Les



Osnova

- Definice a principy
- Typy a charakteristika koloběhů
- Bilance živin (vstupy, výstupy a zásoby)
- Koloběh uhlíku
- Koloběh dusíku
- Koloběhy ostatních minerálních prvků
- Příklady, aplikace

Definice

- **Biogeochemickými** koloběhy rozumíme soubor reakcí, kterými je prvek (sloučenina) přeměňován a transportován v určitém systému mezi pevnou, kapalnou a plynnou fází
- Cyklický pohyb prvků mezi atmosférou, půdou (vodními plochami) a organizmy = **biogeochemické** koloběhy (také **tok hmoty**).
- Lesní ekosystémy jsou napojeny na globální cykly prvků v prostředí.
- Jednotkami jsou kg/ha/rok resp. látkové množství v chemekv (kmol, mol)

Význam

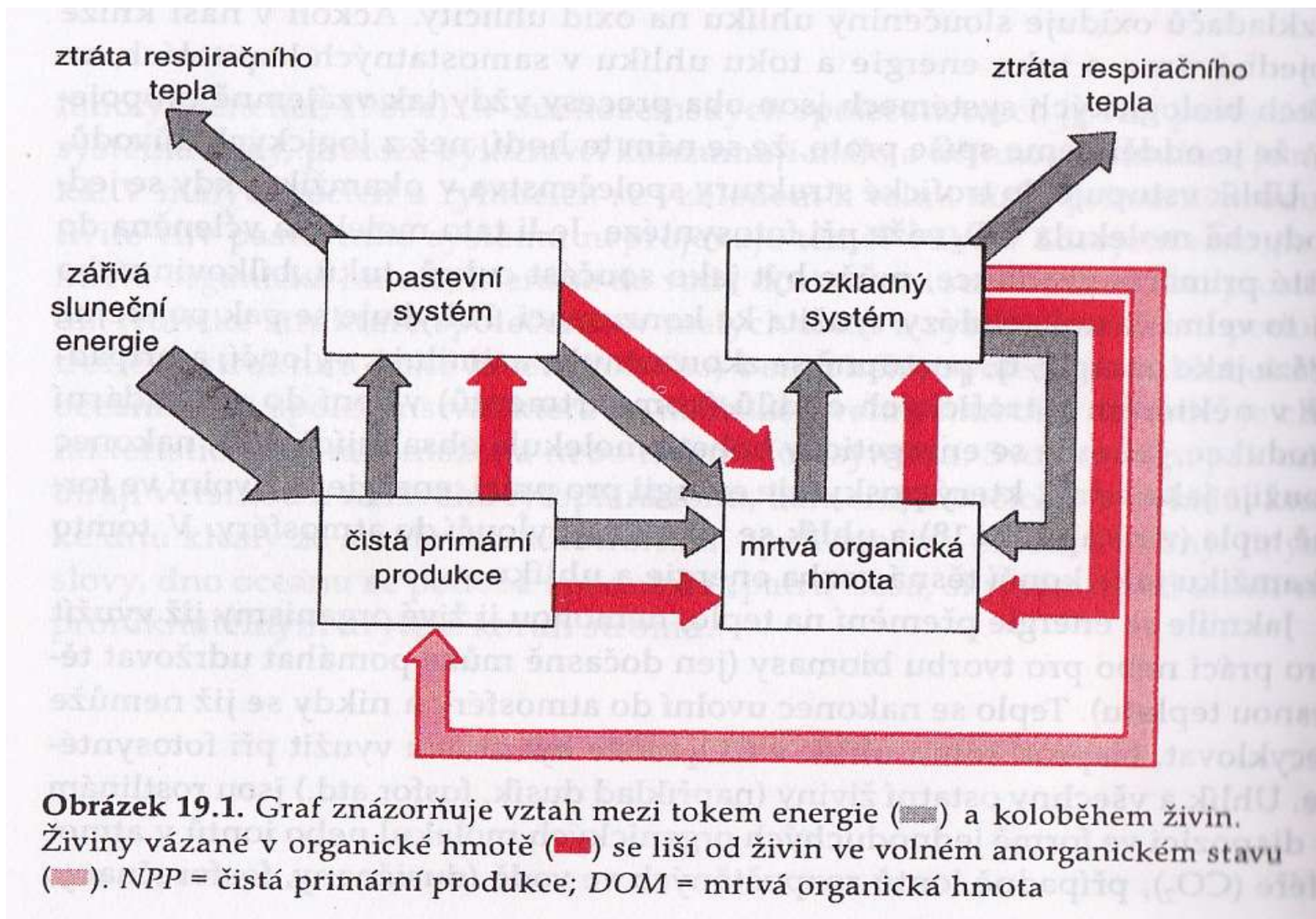
- V ekologii - poznání biotických a abiotických procesů v lesních ekosystémech, bilance prvků-makro: C,H,O,N,P,S,Ca,Mg,K,Cl, mikro: Fe,Mn,Zn,Cu,B,Mo , ostatní: Si,Na,Al,Co,Ni, kritické procesy, transport a ukládání prvků, trofické vztahy (příjem – biomasa – konzumenti, destruenti – mineralizace - návrat), ekologická stabilita
- V praktických aplikacích - hodnocení rizik lesnických výrobních technologií, energetická biomasa, maximalizace produkce, minerální výživa, hnojení, kvalita vodních zdrojů, polutanty v prostředí, acidifikace a nutriční degradace půdy...,

-

Princip biogeochemických koloběhů

- **Zásobníky živin** (zásoby)
 - **anorganický** (litosféra př. vápník , atmosféra př. C-CO₂, N-NO_x, hydrosféra př. N-dusičnany, P – fosforečnany, C – kyselina uhličitá)
 - **organický** (biomasa živých organismů, primární a sekundární produkce, C-cukry, celulóza, N-bílkoviny, P-ATP..)
 - **odumřelá biomasa** (organické zbytky - detrit, humusové látky)
- **Toky** (vstupy a výstupy)
- Podle zaměření (malý, velký, globální)

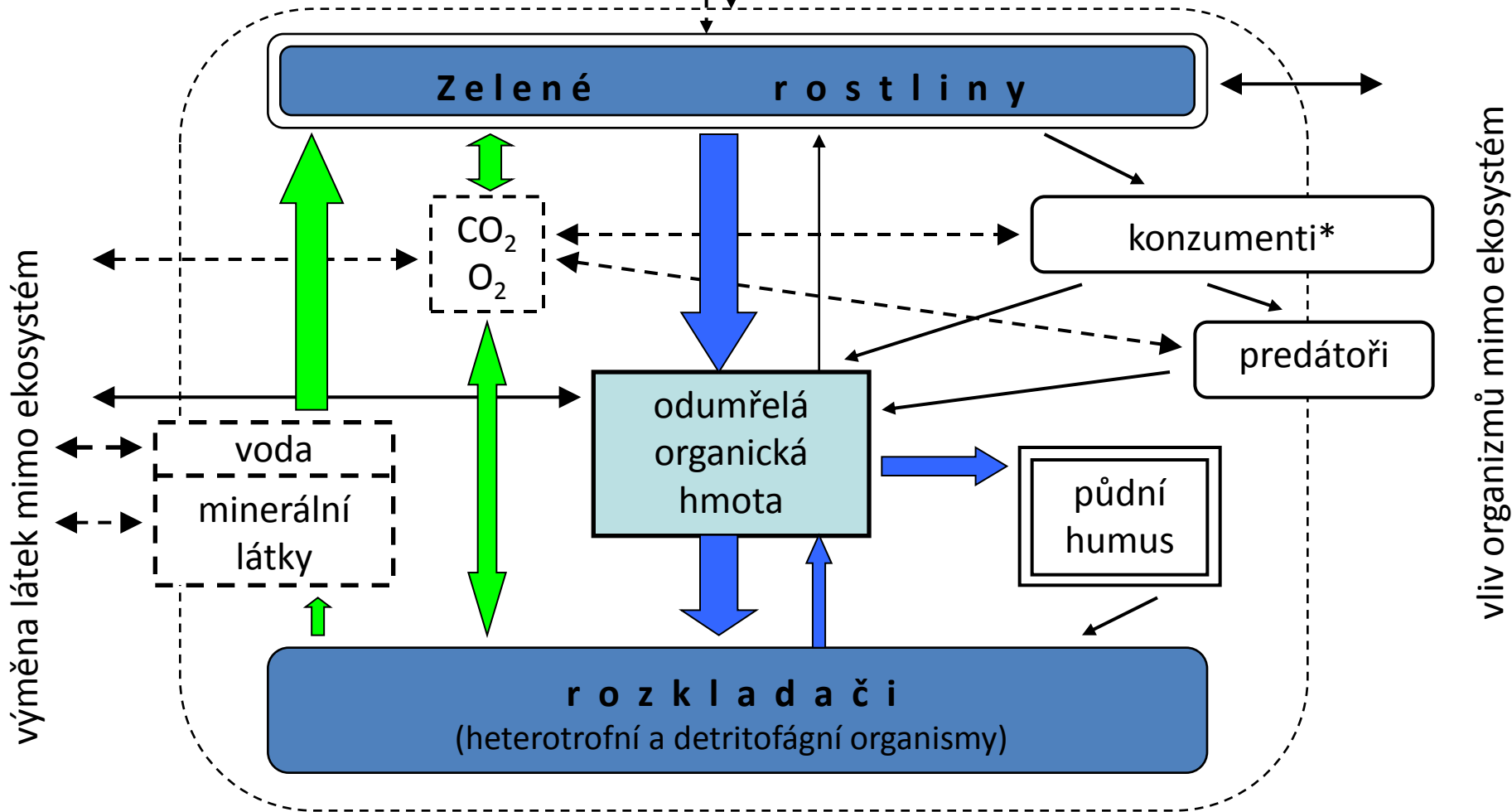
Tok energie a koloběh živin



FUNKČNÍ VZTAHY V EKOSYSTÉMU

solární energie

(Ellenberg, 1971)

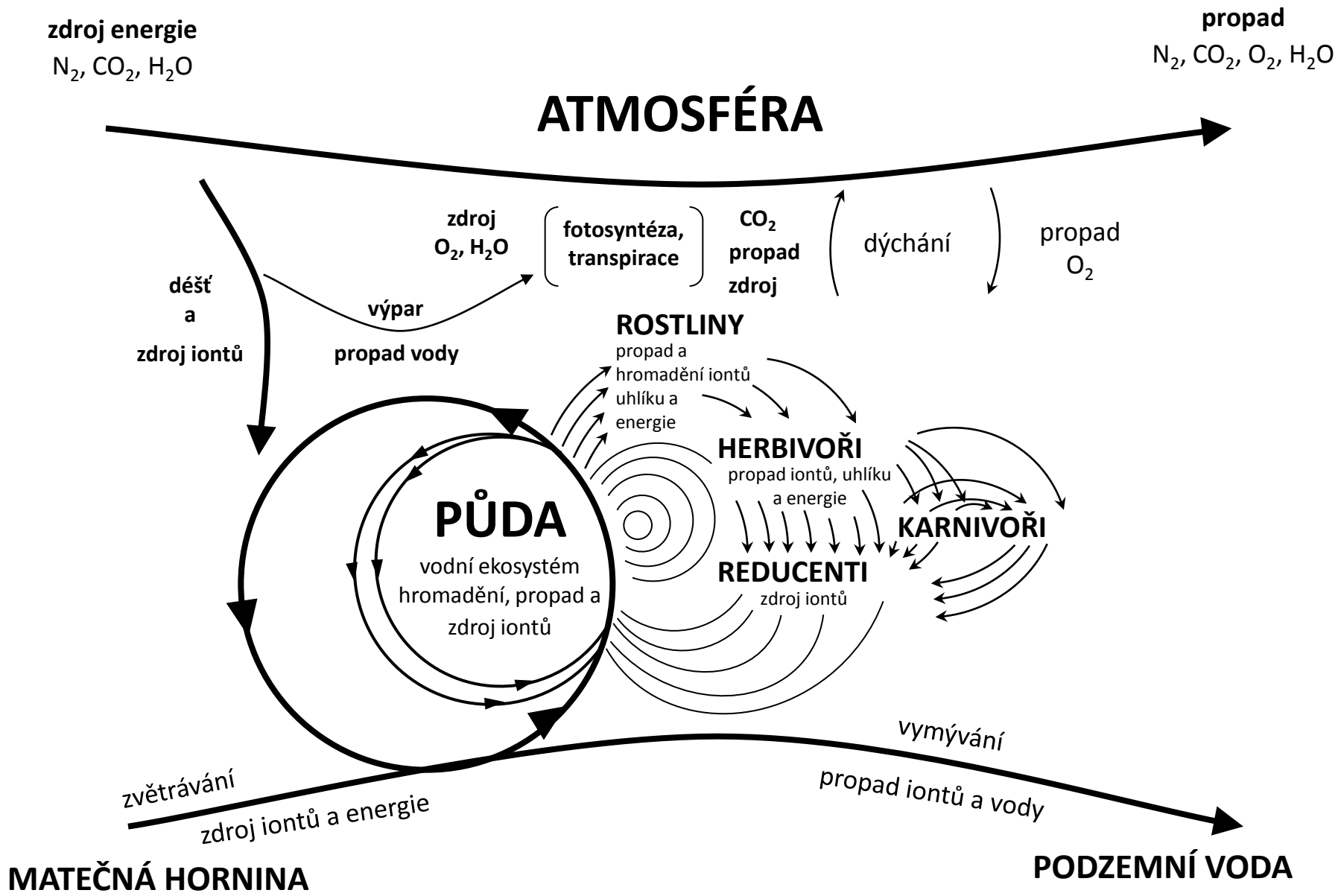


výměna látek mimo ekosystém

vliv organismů mimo ekosystém

- primární producenti
- sekundární producenti (fytofágové, predátoři, rozkladači)
- lehce rozložitelná odumřelá organická hmota
- nerozložitelná odumřelá organická hmota

- minerální látky
- výměna organických látek
- výměna minerálních látek nebo energie
- ohraničení ekosystému



Model biogeochemických cyklů a energetických toků v ekosystému

(Schulze a Mooney, 1993)

Typy koloběhů

- **geochemický koloběh (geologický)**
v rámci litosféry, fyzikální zvětrávání, transport prvků, eroze, sopečné eroze
- **biogeochemický koloběh**
atmosféra - organismy - litosféra
- **biochemický koloběh**
v rámci rostliny (translokace)

Geochemický koloběh

- Transport (pohyb) prvků mezi ekosystémy (sopečná činnost, fyzikální zvětrávání, větrná a půdní eroze, sedimentace.)
- Koloběh neprobíhá opakovaně stejnou cestou (živina vynesena z určitého ekosystému a již se nevrací, anebo po velice dlouhé době).
- Prostorové měřítko geologických cyklů je obecně velké.

Biogeochemický koloběh

- Výměna prvků v rámci ekosystému s účastí živé složky (makroprvky, mikroprvky).
- Prostorové měřítko biogeochemických cyklů je relativně menší, většinou se jedná o odběr elementů jednotlivými rostlinami, porostem a jejich návrat do půdy nebo transportované vodou (povodí).
- Časová dimenze biogeochemického koloběhu je mnohem kratší než u geochemických koloběhů, i když se značnou variabilitou pro jednotlivé živiny nebo ekosystémy.

Biochemický koloběh

- Redistribuce (translokace) prvků v rámci jednotlivého organismu.
- Přesun „konzervace“ živin v rostlině např. přesunutím živin z orgánu s krátkou životností (např. listy opadavých dřevin) do jiných orgánů před jejich opadem.
- Mobilizace živin uložených ve starších pletivech do nově rostoucích vegetačních orgánů.
- Procesy probíhají v kratších intervalech a jsou součástí aktivních metabolických procesů.

Zdroje živin (vstupy)

- Vstup a transport prvků srážkami a suchým spadem (př. N 5-30 kg/ha/rok, S 5-40 (100) kg/ha/rok, Ca 2-20 kg/ha/rok..(výsledek antropogenního ovlivnění)
- Vstup biologickou fixací (olše až 80 kg N/ha/rok, nesymbiotická fixace 1-2 kg/ha/rok)
- Vstup prvků zvětráváním (Ca, Fe, Mg,P, K) – 10-50 kg/ha/rok (plagioklas, živce, biotit...)
- Vstup prvků opadem a dekompozicí organické hmoty (dekompozice, mineralizace) – N -60, K-40, Ca 65, Mg 12, P-5 kg/ha/rok
- Vstup prvků z podzemní vody
- Aplikace hnojiv

Výstupy živin (ztráty)

- Vyluhování a transport živin (odtok) s vodami
- Přenos minerálních částic erozí (půdní, větrná)
- Volatilizace do atmosféry
- Využívání (odnímání) biomasy
 - hrabanka (minulost)
 - dřevo
 - těžební zbytky
- Konzumace
- Disturbance (požár, vichřice, hmyzí gradace)

Zásoby (zásobníky) živin

- nadzemní biomasa (jehličí, větve, kmen, pařezy..), biomasa –(sušina) 100-300 kg/ha
tj. 400 kg N, 200 kg K, 500 kg Ca, 60 kg P, 35 kg P
- podzemní orgány (biomasa)
- nadložní humus (2,0-10,0 t/ha) např. 100-600 kg N/ha
- půda
- hornina, půdotvorný substrát

Konkrétní údaje viz. příloha a ve cvičení

Bilance živin

- Úhrn zisků a ztrát (vstupů a výstupů)
- Vyrovnaná bilance: $vstupy = výstupy$
- $Vstupy \geq výstupy =$ akumulace živin
- $Vstupy \leq výstupy =$ degradace, ochuzení
- **Význam** : hodnocení produktivity ekosystému, charakteru minerální výživy, antropogenního zatížení, volba technologií, hodnocení fyziologických procesů apod.

Příklad (vstupy, zásobníky, výstupy)

Prvek	Hlavní vstup do ekosystému	Hlavní zásobník uvnitř ekosystému	Hlavní výstup z ekosystému
C	jako CO ₂ fotosyntézou	biomasa primárních producentů, odumřelá organická hmota, půdní humus	jako CO ₂ dýcháním do atmosféry
N	atmosférické srážky opad, dekompoziční procesy mikrobiální fixace z atmosféry	biomasa půda - anorganický (NO ₃ , NH ₄), méně organický	denitrifikací do atmosféry jako N ₂ , sklizeň biomasy odtokem
K, Ca, Mg aj. minerální prvky	atmosférické srážky zvětrávání hornin, opad, dekompoziční procesy	půda, horniny, minerály, rostliny, živočichové	sklizeň biomasy, odtokem

Antropické vlivy a koloběh elementů

- Vstup elementů ze znečištěného ovzduší (průmyslové imise)
- Volba hospodářských postupů (těžba, obnova, výchova)
- Vodohospodářské úpravy v aluviích (úprava toků a odstranění záplav, odvodnění..)
- Příklady - smrková monokultura, lužní les (ve cvičení)

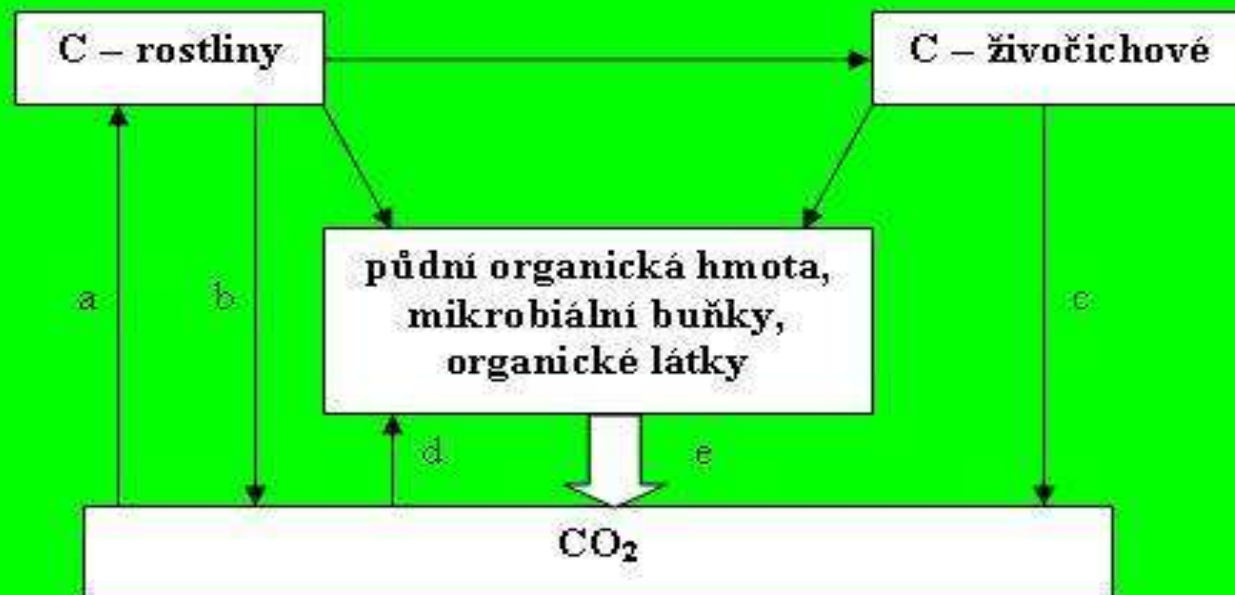
Koloběh uhlíku

- Uhlík je společně s dusíkem, kyslíkem a vodíkem základním stavebním prvkem všech živých systémů (asimilace, tvorba biomasy)
- Uhlík jako CO₂, CO, C – grafit, diamant), uhličitany, metan
- Význam rozkladných procesů (návrat CO₂ do atmosféry)
- DOC ve srážkách a v půdních vodách
- V rostlinné biomase cca 45 – 52 %C
- koncentrace CO₂ v ovzduší 370 ppm
- roční nárůst 1,5 ppm
- zásoba v biosféře 740 Pg C . rok⁻¹ 1Pg=10¹⁵

Koloběh C – lesní ekosystém

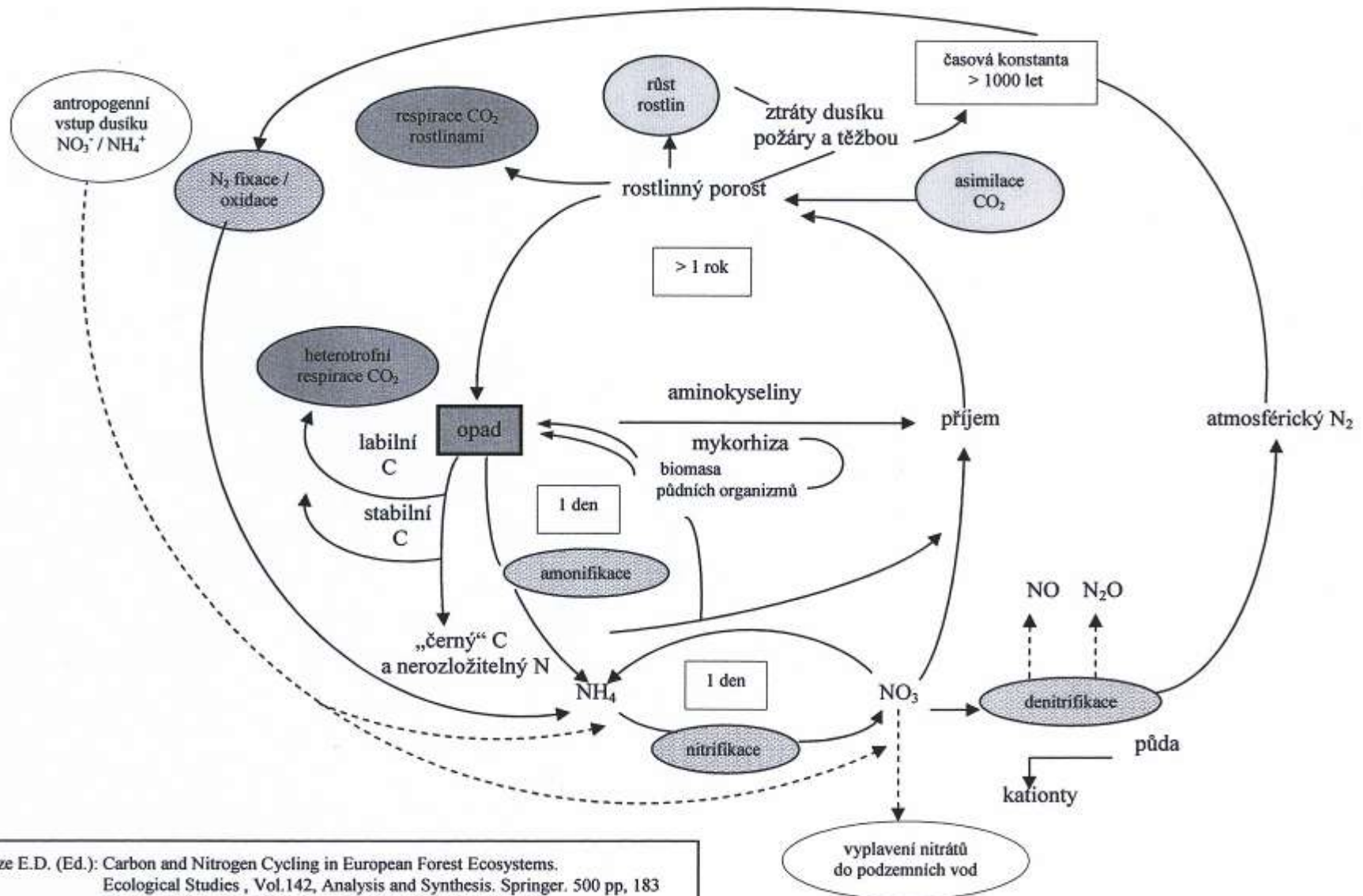
- Přenos mezi ovzduším (CO₂), biomasou (C), opadem (C), půdní organickou hmotou (C) (fotosyntéza – respirace)
- **Lesní ekosystémy** obsahují až 90 % uhlíku obsaženého v biomase terestrických ekosystémů
- Půda a půdní humus reprezentují hlavní zásobník uhlíku v ekosystému
- **Mikrobiální rozklad** složitějších polymerních látek (celulóza, lignin, proteiny..). Význam půdních mikroorganismů
- Růst koncentrace CO₂ v ovzduší – vztah k produktivitě, GKZ

KOLOBĚH UHLÍKU V PŮDĚ



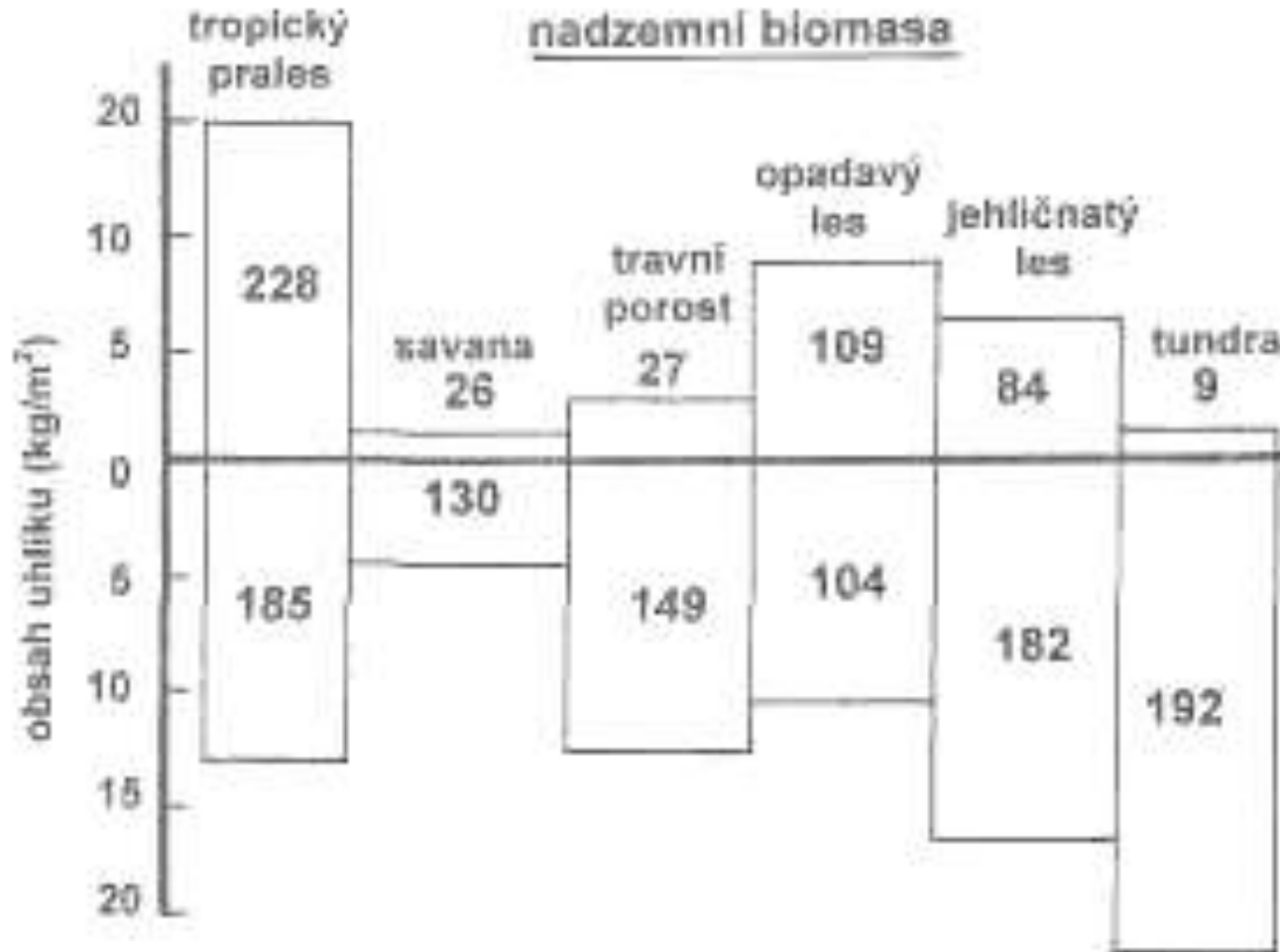
a fotosyntéza, **b** respirace rostlin, **c** respirace živočichů,
d autotrofní mikroorganismy, **e** respirace mikrobiální
(koloběh látek v životním prostředí)

Koloběh C a N v lesních ekosystémech



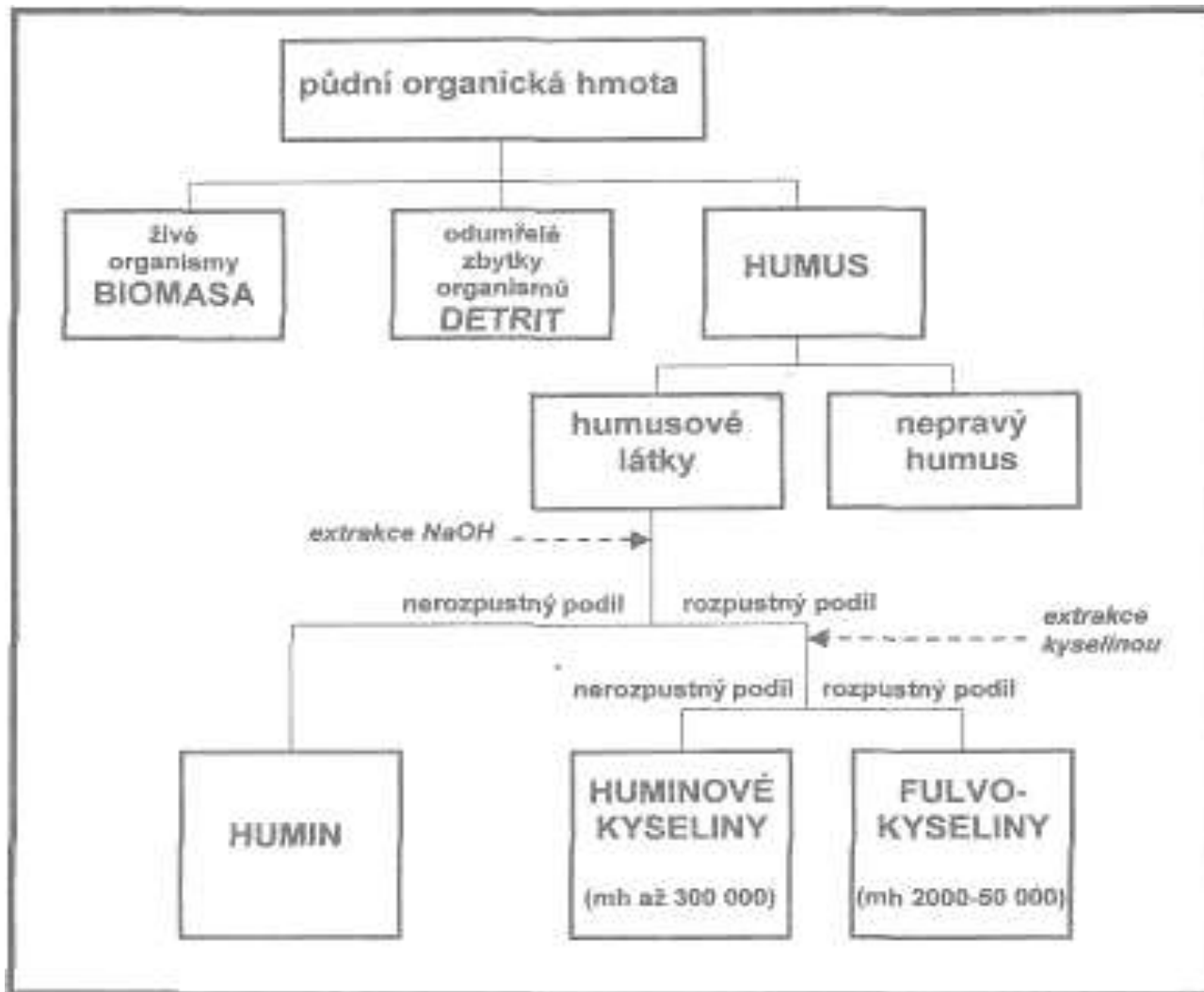
Zdroj: Schulze E.D. (Ed.): Carbon and Nitrogen Cycling in European Forest Ecosystems. Ecological Studies, Vol.142, Analysis and Synthesis. Springer. 500 pp, 183 Figures, 106 Tables, ISSN 0070-8356, ISBN 3-540-67239-7, <http://www.springer.de>

Uhlík v nadzemní biomase a v půdě



Obsah uhlíku v nadzemní biomase a v půdě v různých typech ekosystémů. (ANDERSON, 1991, cit. in COYNE, 1999, převzato ŠIMEK, 2003)

Půdní organická hmota



Rozdělení organických látek v půdě a klasifikace humusových látek

Koloběh dusíku

- N – hlavní živina, stavební prvek aminokyselin a bílkovin, ve vzduchu 78%
- Globální cyklus – přenos mezi litosférou, atmosférou a hydrosférou
- Nezbytnost pro tvorbu biomasy a životní funkce buněk všech organismů.
- Příjem N rostlinami v anorganické formě (ionty NO_3^- , NO_2^- a NH_4^+).
- Některé bakterie a sinice mohou asimilovat molekulární dusík (N_2), dřeviny mají omezenou schopnost příjmu N v organické formě.
- Zdrojem N = převážně půda, mineralizace organické hmoty, význam poměru C:N

Nedostatek N

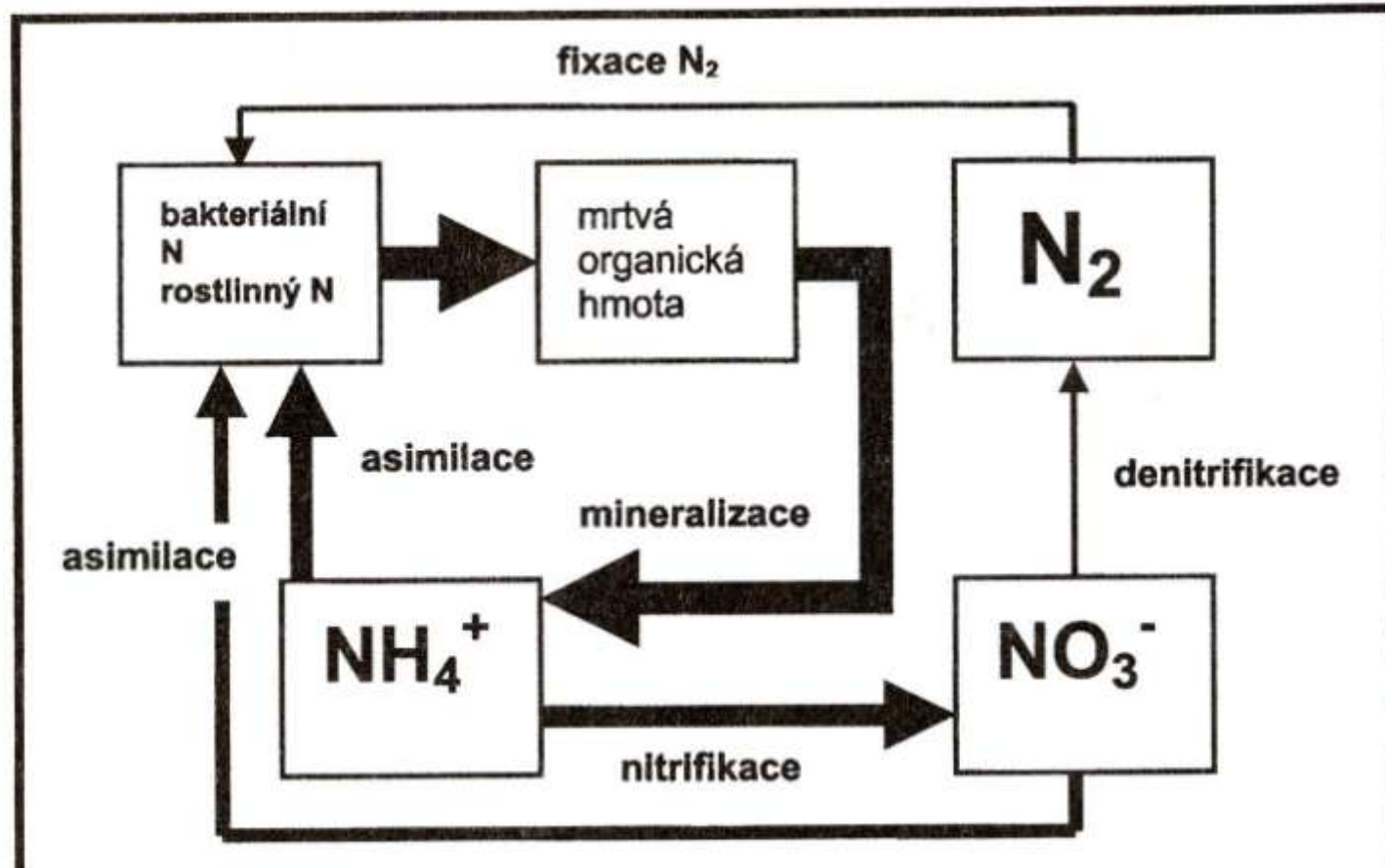
- na **starších jehlicích** a na listech ve spodní
- části koruny je **světle zelené až žluté** zbarvení po celé ploše asimilačních orgánů,
- již latentní deficit má ze následek zeslabení růstu a menší rozměry asimilačních orgánů (jehlic a listů).

Globální cyklus dusíku

Druh zásobníku	Zásobník	Forma	Množství (x 10 ¹² kg N)
vzdušný	atmosféra	N ₂	3 800 000
		N ₂ O	13
		NO ₃ ⁻ , NH ₃ , NH ₄ ⁺ , NO, organické sloučeniny	0,035
terestrický	půda	organické látky (humus aj.)	300
		anorganické sloučeniny (NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺)	16
	rostliny a mikroorganismy	organické i anorganické látky v biomase	11 - 14
	živočichové	organické i anorganické látky v biomase	0,2
oceánský	rozpuštěný N ₂	N ₂	22 000
	rozpuštěný jiný	(NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , N ₂ O, NO ₂ ⁻)	578
	rostliny a mikroorganismy	organické i anorganické látky v biomase	0,3
	živočichové	organické i anorganické látky v biomase	0,17
	mrtvá org. hmota (částice i rozpuštěné látky)	různé organické látky	8 - 30
litosféra	sedimenty	organické i anorganické látky	400 000
	horniny	anorganické sloučeniny, minerály, N ₂	190 000 000
	ložiska uhlí	organické i anorganické látky	120

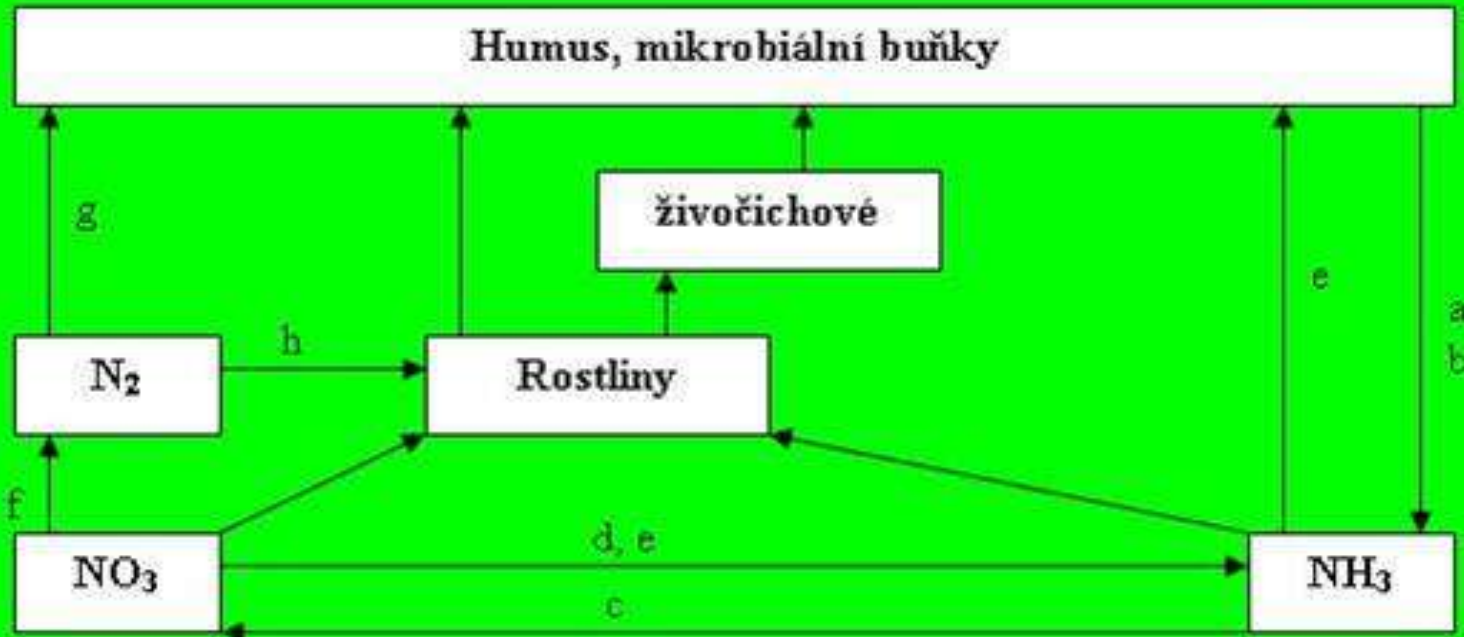
Hlavní zásoby dusíku. (Brock, Madigan, 1988)

Přeměny dusíku v ekosystému



Mineralizace organických dusíkatých látek. (Blackburn, 1983)

KOLOBĚH DUSÍKU V PŮDĚ

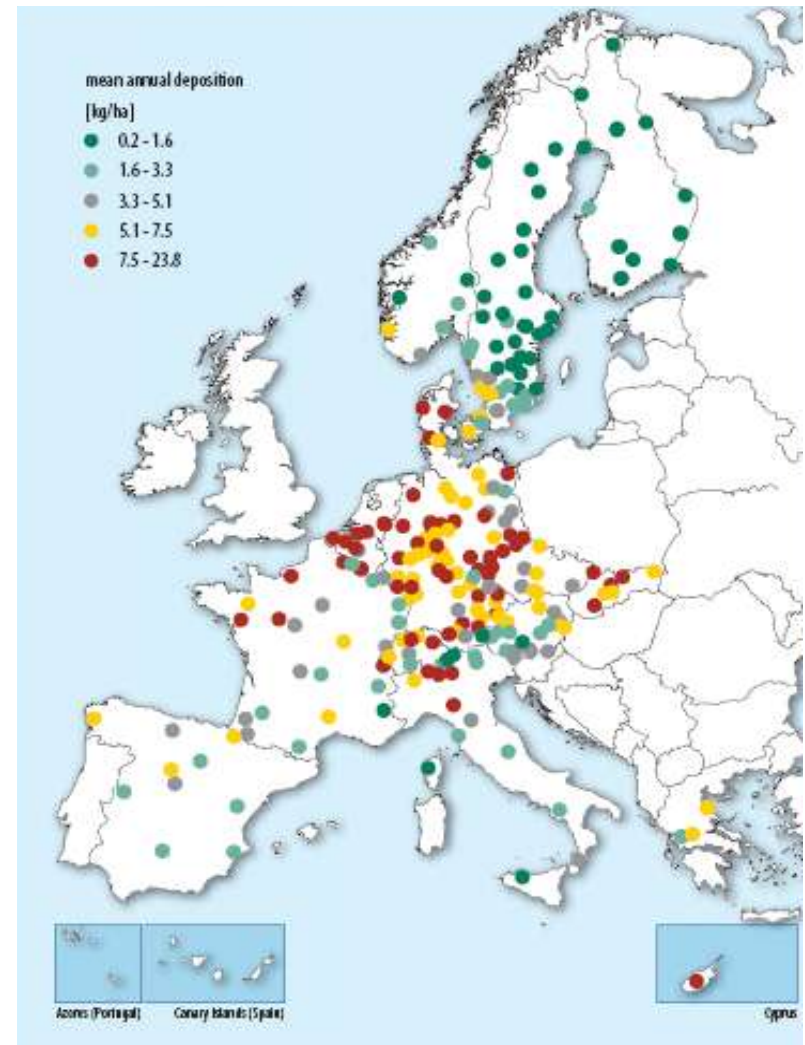
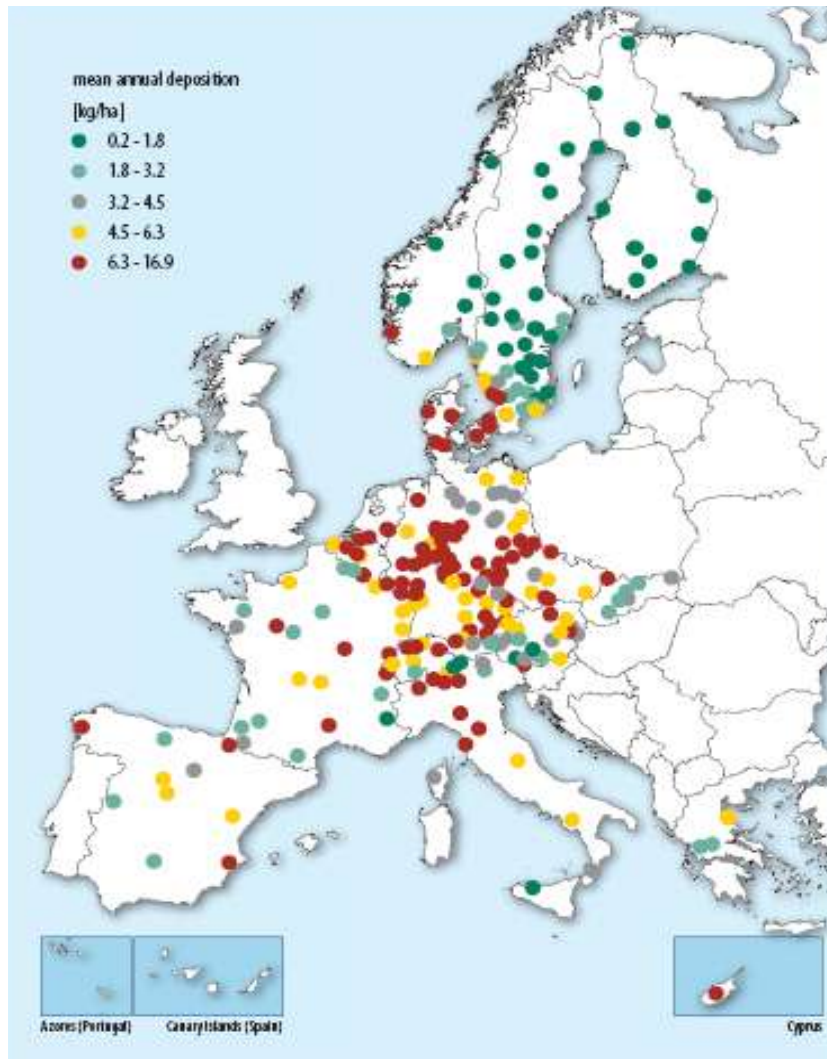


a amonifikace, **b** mineralizace, **c** nitrifikace, **d** redukce nitrátů, **e** imobilizace, **f** denitrifikace, **g** N₂ fixace nesymbioticky, **h** N₂ fixace symbioticky (koloběh látek v životním prostředí)

Zdroje dusíku v ekosystému

- Suchý a mokrý spad (5-60 kg/ha/rok)
- Fixace molekulárního dusíku – prokaryotické bakterie (Azotobacter, Clostridium, Rhizobium), aktinomycety (Frankia) a sinice (Nostoc..)
- Symbioticky nebo volně žijící mikroorganismy (leguminózy+ *Rhizobium*), aktinomycety +*Alnus*, *Eleagnus*...)
- Mineralizace organické hmoty (opak **imobilizace**)
- Sorpční komplex půdy
- Hnojiva

Průměrné podkorunové depozice nitrátů ($\text{NO}_3\text{-N}$ – vlevo) a amoniaku ($\text{NH}_4\text{-N}$ – vpravo), 2003-2005, 249 ploch (ICP Forest 2008)



Ztráty dusíku z ekosystému

- Volatilizace amoniaku – výpar, těkání (např. po hnojení močovinou, mokřady..)
- Vyplavování dusíkatých látek ve formě aniontů (NO_3 , NO_2 ,...) = eutrofizace vod, půdní acidifikace, kationty měně (NH_4)
- Emise plynných sloučenin dusíku (přírozené, antropogenní) – oxid dusný (N_2O), oxid dusnatý (NO) – skleníkové plyny
- Odnos dusíku v biomase rostlin (v závislosti na využívání kultur)
- Odnos dusíku erozí (zemědělství)

Procesy přeměny dusíku

- Asimilace dusíku organismy – příjem NH_4 a NO_3 v .
- Amonizace (NH_4)
- Volatilizace (NH_3)
- Nitritace (oxidace amonné formy na nitrit)
- Nitrifikace (oxidace na nitrát) – pohyblivá forma, eutrofizace, acidifikace..
- Denitrifikace – redukce nitrátu na amonium (zdroj energie) – respirační denitrifikace (**anaerobní** proces) nebo nerespirační denitrifikace (přeměna nitrátů na oxid dusný za **aerobních** podmínek)
- Fixace N (biologický proces) – fixace molekulárního dusíku (redukce N_2 na amoniakální formu)

Dusík v životním prostředí

- Znečištění vod – nitráty (eutrofizace)
- Acidifikace půdy
- Potravní řetězce – otravy (methemoglobinie)
- Emise plynných sloučenin tvorba fotochemického smogu) v troposféře
- Odbourávání ozonu ve stratosféře

Ostatní koloběhy

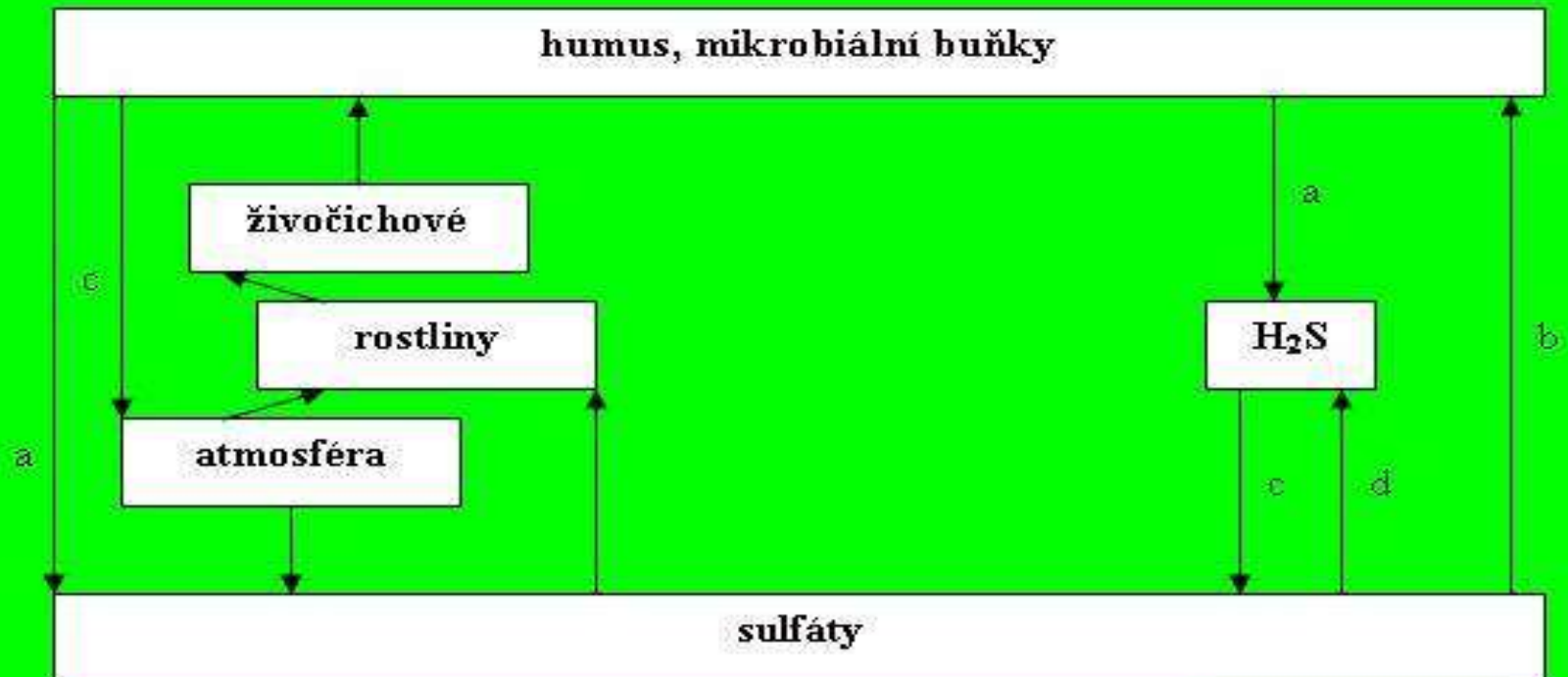
- **Koloběh síry**
- **Koloběh fosforu**
- Koloběh draslíku
- Koloběh vápníku
- Koloběh hořčíku
- Koloběh železa a manganu
- Koloběh rtuti

viz cvičení

Síra

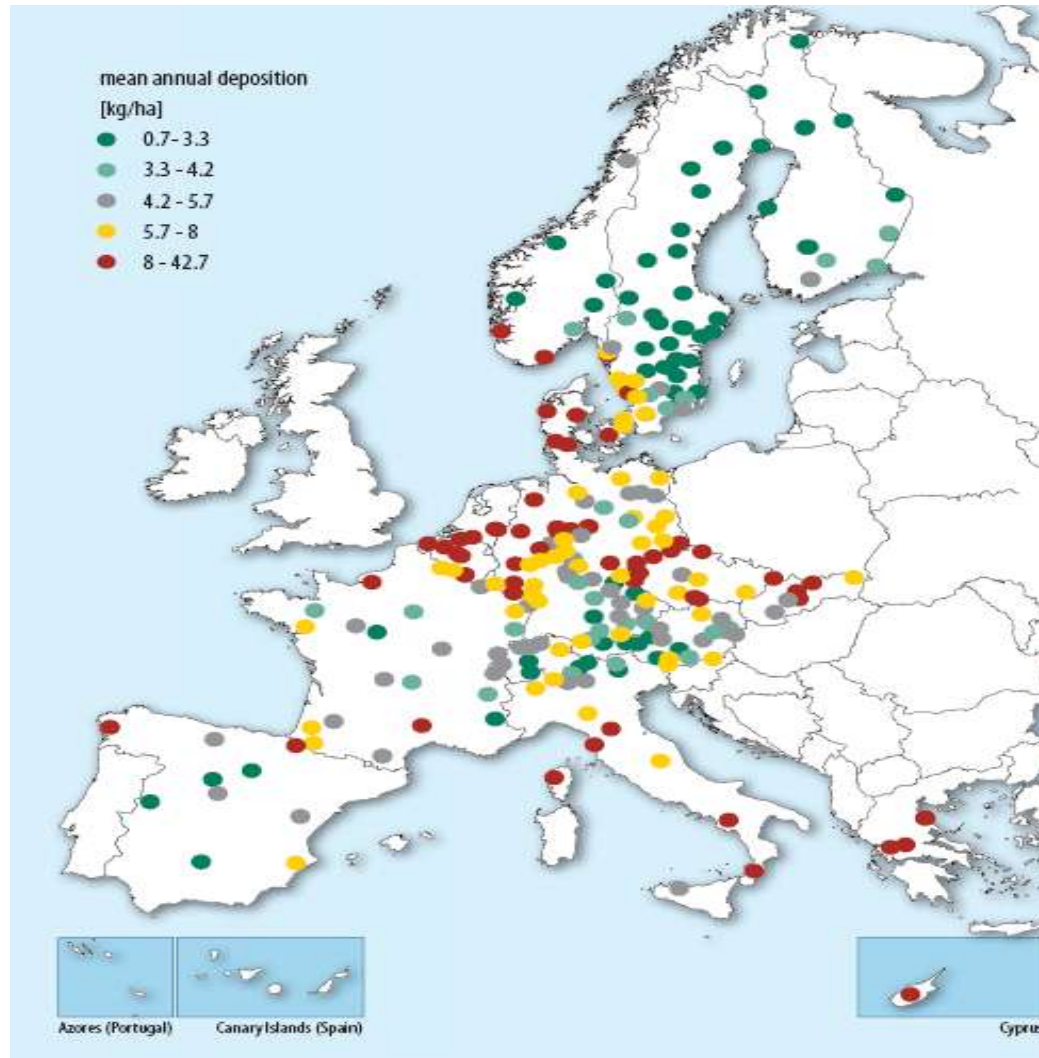
- Důležitá živina
- Obsažena v aminokyselinách (cystein, methionin)
- V anaerobních půdách je výskyt ve formě sulfátů, v anaerobních jako sulfid
- Přeměnu síry zprostředkovávají bakterie (*Desulfuvibrio*, *Thiobacillus*)
- Významným zásobníkem je atmosféra (organické a anorganické sloučeniny)
- Nadbytek síry v prostředí způsobuje okyselování a nutriční degradaci půd
- Nedostatek -světlezelené listy a nervatura je světlejší než pletivo

KOLOBĚH SÍRY V PŮDĚ



a mineralizace, **b** imobilizace, **c** oxidace síry, **d** redukce síry
(koloběh látek v životním prostředí)

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



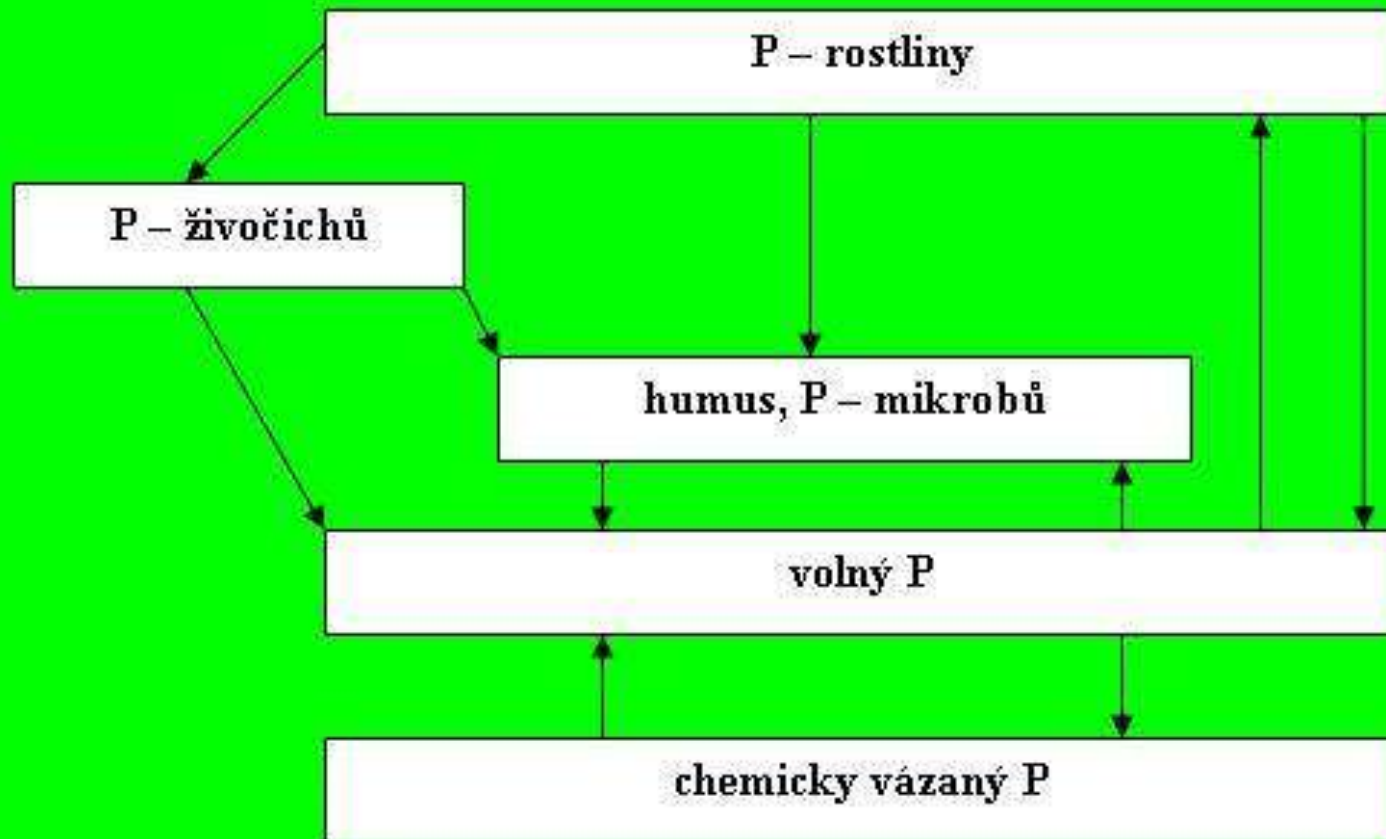
Fosfor

- Důležitá živina
- Obsažena v řadě biomolekul (ATP)
- Obsah v půdě relativně malý, uvolňuje se zvětráváním minerálů
- Sloučeniny fosforu málo rozpustné, obtížně přijatelné pro rostliny.
- Organické sloučeniny jsou mineralizovány enzymy (*fytazy, fosfatázy*)
- Přeměnu síry zprostředkovávají bakterie (*Desulfuvibrio, Thiobacillus*)
- Nadbytek fosforu v prostředí způsobuje eutrofizaci

Nedostatek P

- **typická špinavě tmavo až modrozelená barva**
- **listy na spodní straně čepele často červeně až fialově zbarvené.**
- **Na okrajích listů někdy žlutohnědé až červenohnědé zbarvení**

Koloběh fosforu v půdě



Draslík

- Významná živina
- Obsažen v cytoplasmě a v enzymech
- Obsah v půdě relativně vysoký, uvolňován z primárních a sekundárních minerálů
- Přeměny draslíku převážně chemickou fyzikální cestou

Vápník a hořčík

- Významné živiny
- Zdrojem jsou primární minerály, uvolňovány ve zvětrávacích procesech (biologické, chemické..)
- Vliv na strukturu půd a neutralizaci kyselin
- Nedostatek způsobuje žloutnutí jehlic starších ročníků
- Dodávání do kyselých půd (vápnění, hnojení)



Vápnění lesů v ČR



MINIS
MLU

E DO RO

Kontrolní otázky

- Definice a význam koloběhů živin
- Typy koloběhů
- Princip živinové bilance v lesních ekosystémech
- Koloběh uhlíku
- Koloběh dusíku
- Koloběh ostatních prvků (síra, fosfor..)
- Lesnické aplikace a příklady

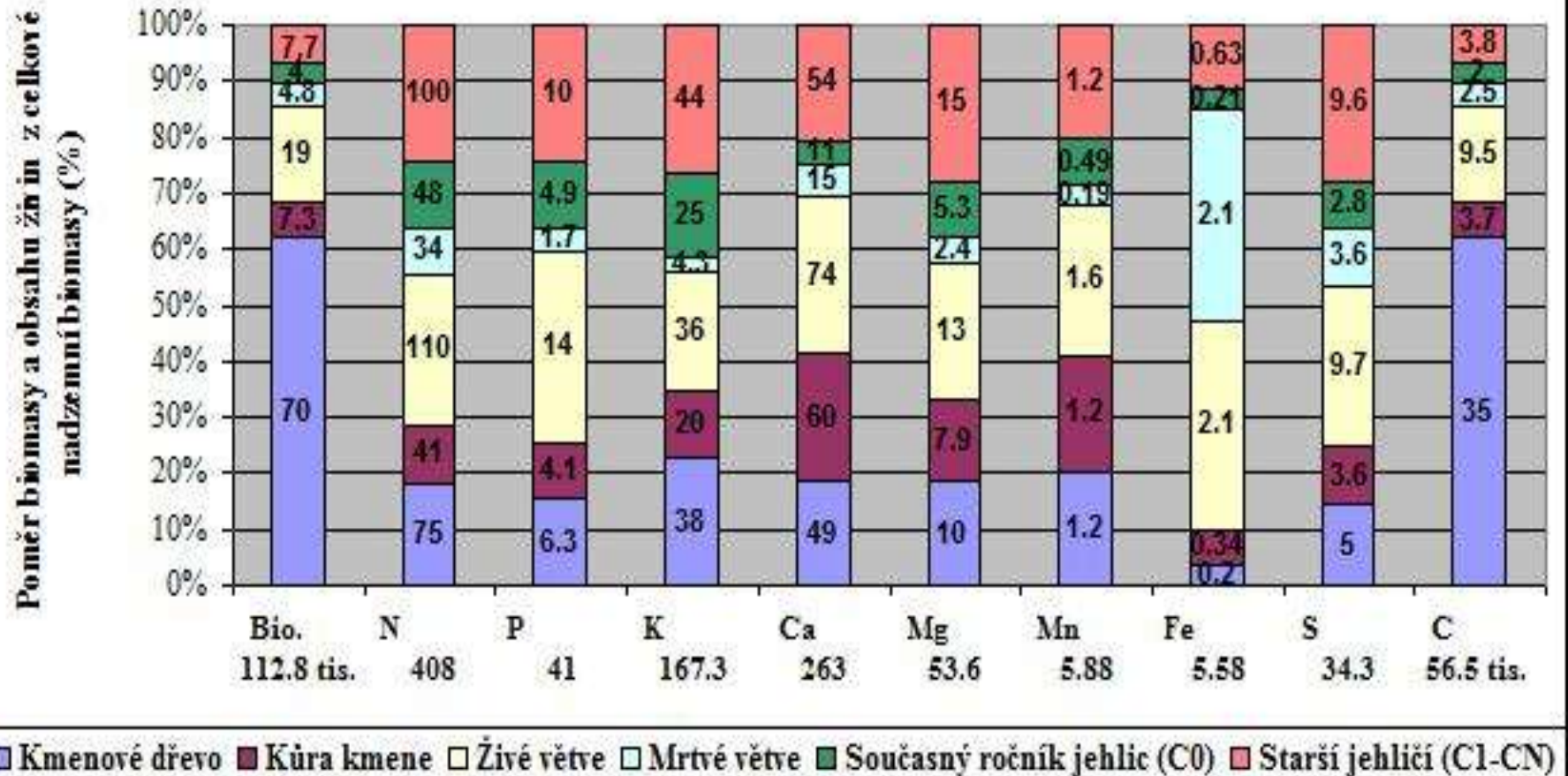
Literatura

- Šimek, M: Biologické procesy a cykly prvků, 2003
- Begon, Harper, Townsend: Ekologie ...(část společenstva), 1997
- Marek a kol.: Uhlík v lesních ekosystémech ČR v měnícím se klimatu, Academia 2011
- Kulhavý a kol.: Ekologie lesa II, kap. Dusík v lesních ekosystémech, Mendelu 2006
- Slavíková J. : Ekologie rostlin, SPN Praha, 1986
- Duvigneaud P.: Ekologická syntéza, Academia. Praha. 1988. 320 s.
- ,Míchal I.: Ekologická stabilita, MŽP Praha 1992

Příklady

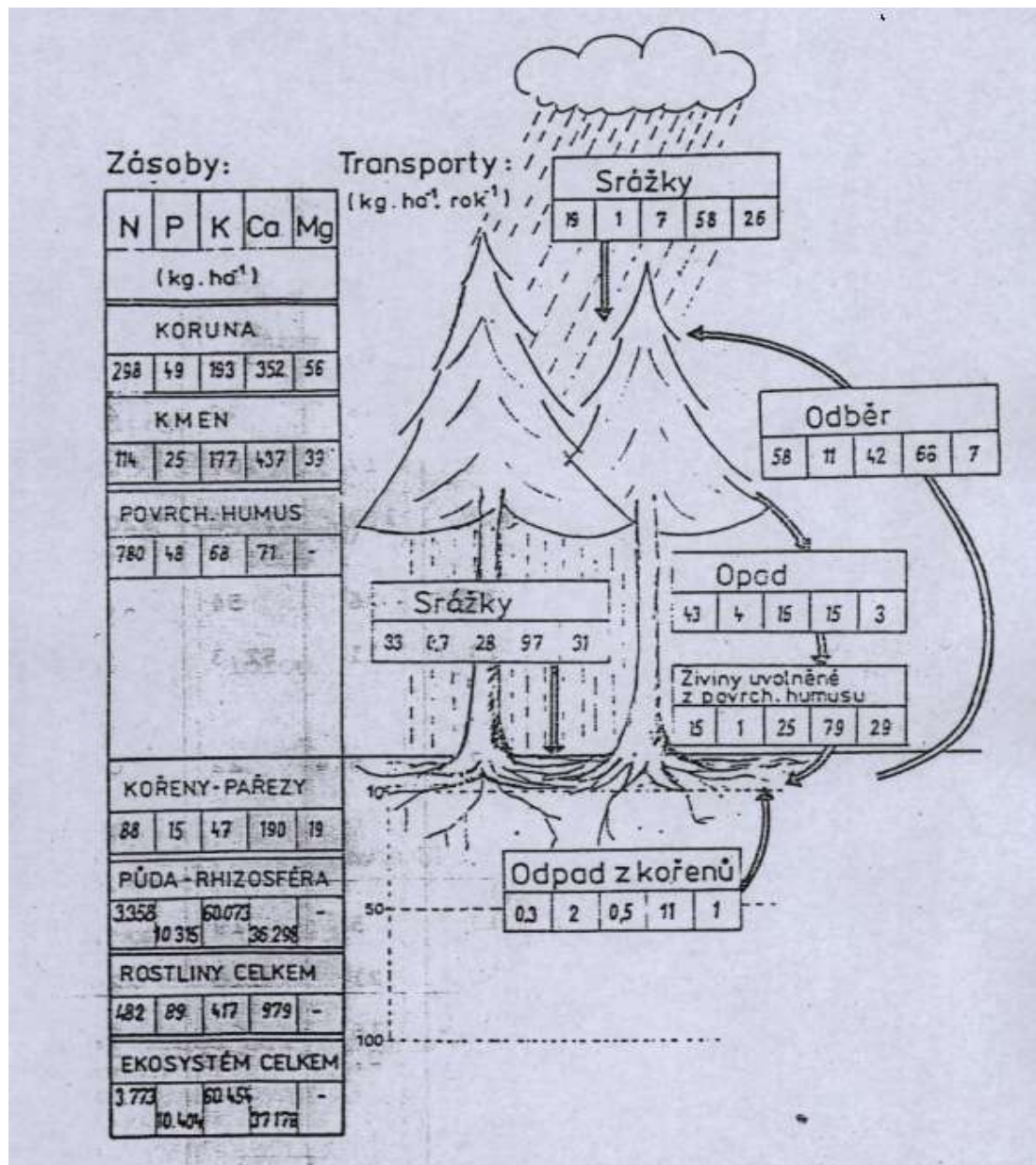
Obsah živin v biomase

Poměr rozdělení biomasy a obsahu živin z celkové nadzemní biomasy
(hodnoty v kg/ha)

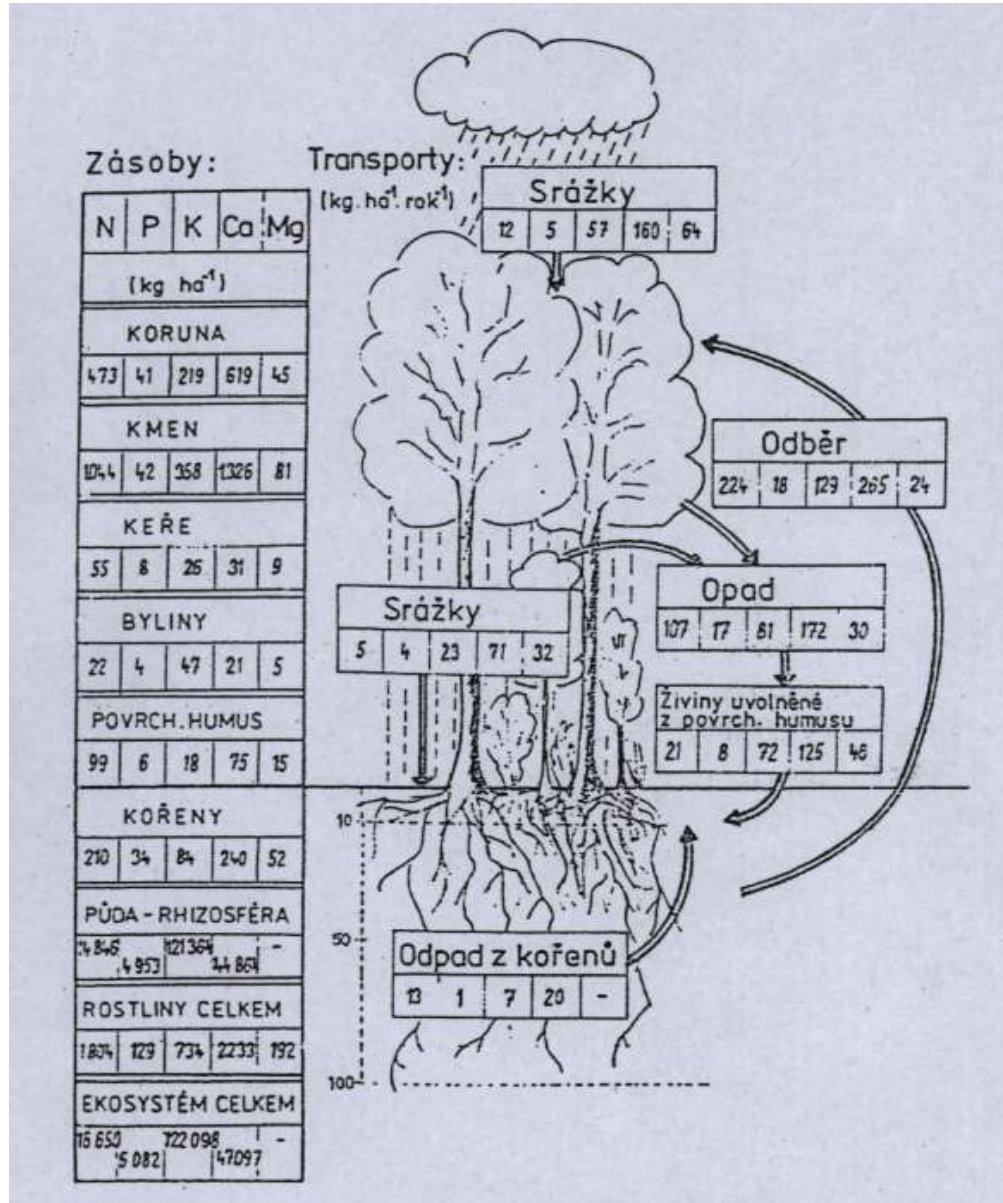


Koloběh hlavních elementů v ekosystému jehličnatého lesa.

Rájec, Dražanská vrchovina (Klimo, 1982)



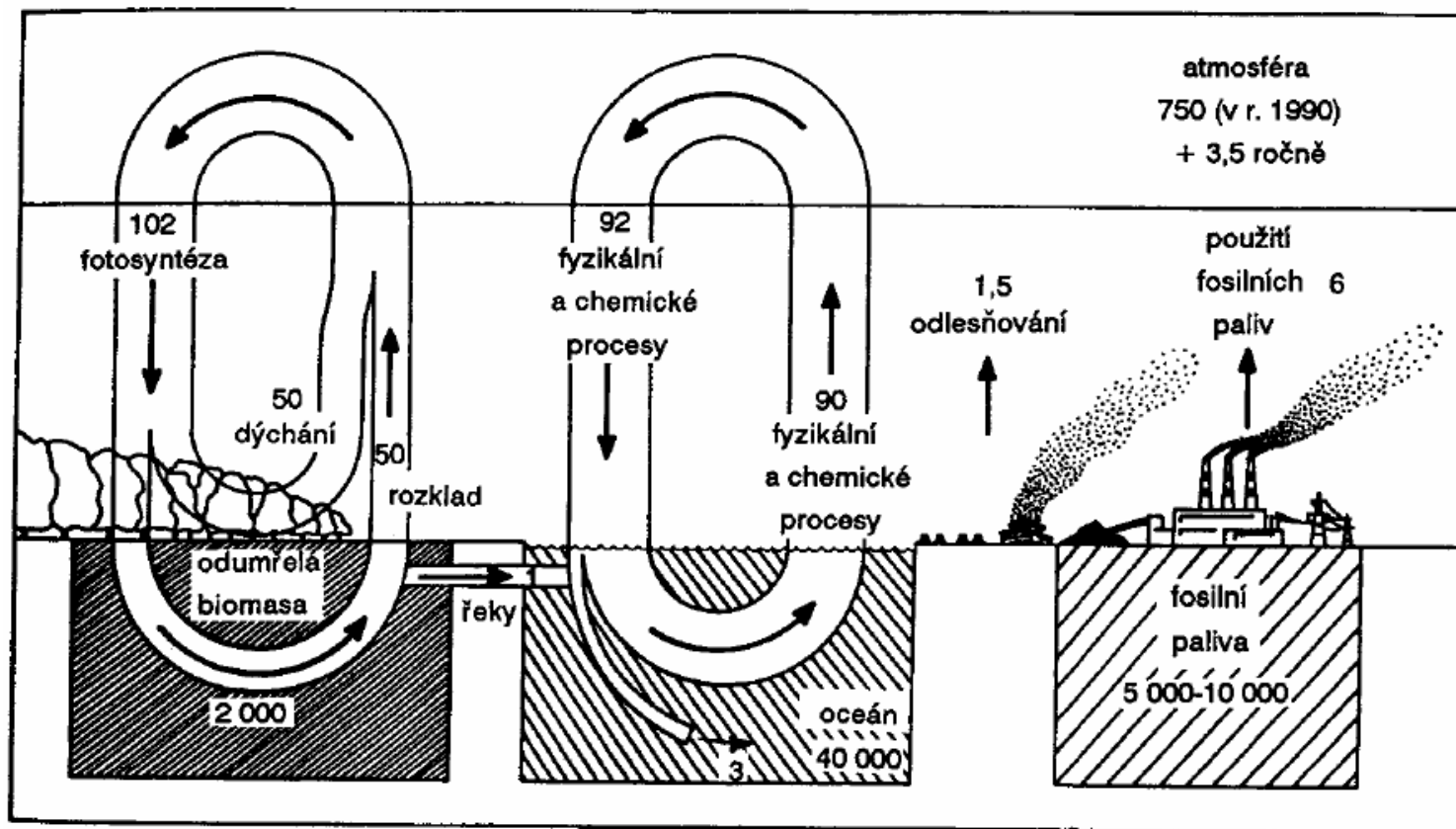
Koloběh hlavních elementů v ekosystému listnatého lesa – lužní les Lednice na Moravě (Klimo, 1982).



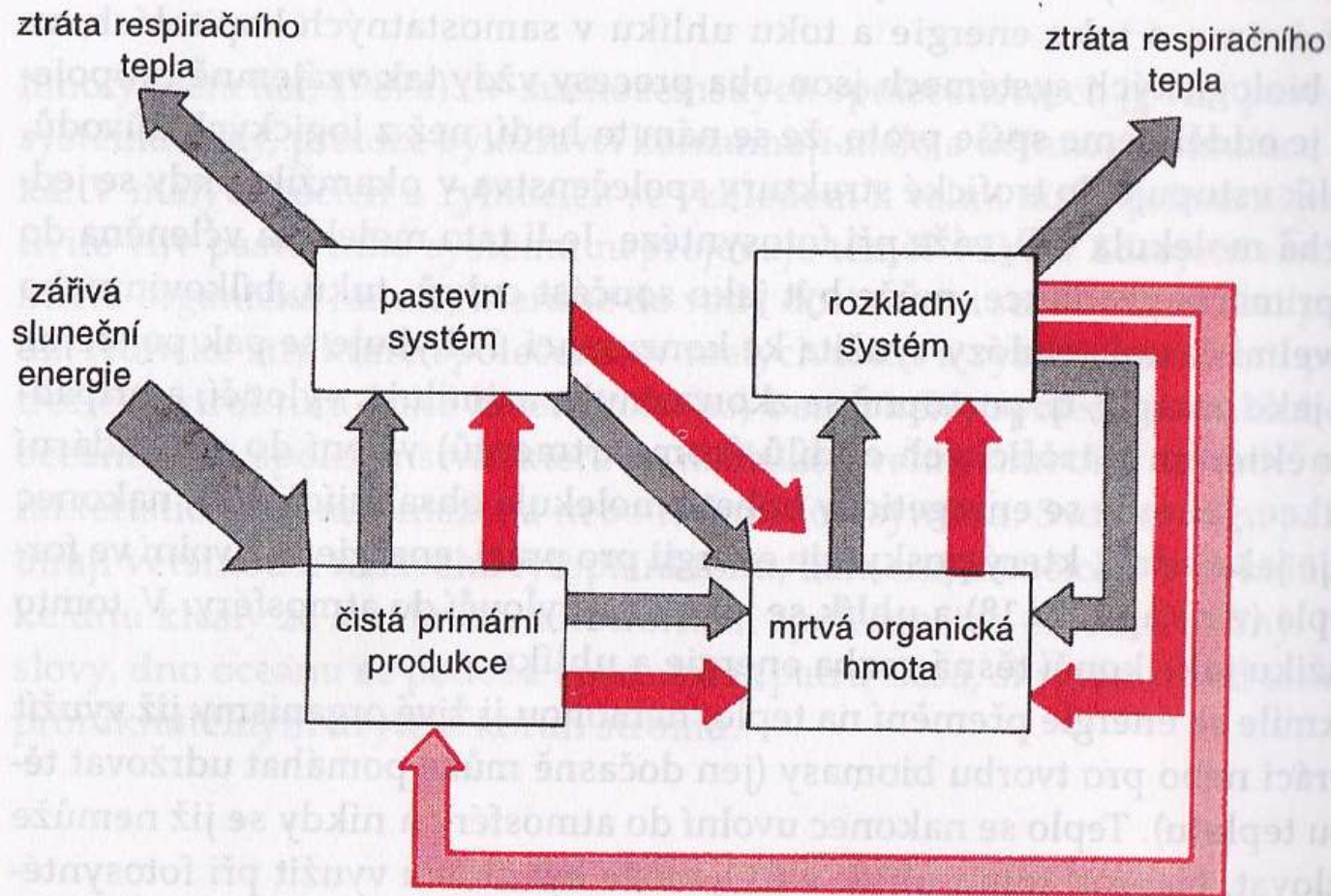
**Struktura zásoby živin v ekosystému smrkového lesa - věk 80-90 let (kg.ha⁻¹),
Drahanská vrchovina, Rájec n.S. (Klimo, 1982)**

	N	P	K	Ca
jehličí	251	42	156	275
větve	47	8	37	77
kmen	115	25	177	437
pařezy	17	3	20	58
nadzemní část	431	78	390	847
kořeny	2	12	27	133
dřeviny	432	89	417	980
L - opad	154	4	12	37
F - drť	276	16	21	20
H - měl	350	27	36	14
Ah	780	48	69	71
Bv do 40 cm	2 578	10 267	59 969	36 228
půda	3 358	10 315	60 038	36 299
ekosystém	3 773	10 404	60 455	37 278

Schéma globálního cyklu uhlíku



Zásoby uhlíku na Zemi (vyjádřeno jako hmotnost uhlíku obsaženého v oxidu uhličitém v miliardách tun nebo gigatunách Gt). (Houngton, 1999)

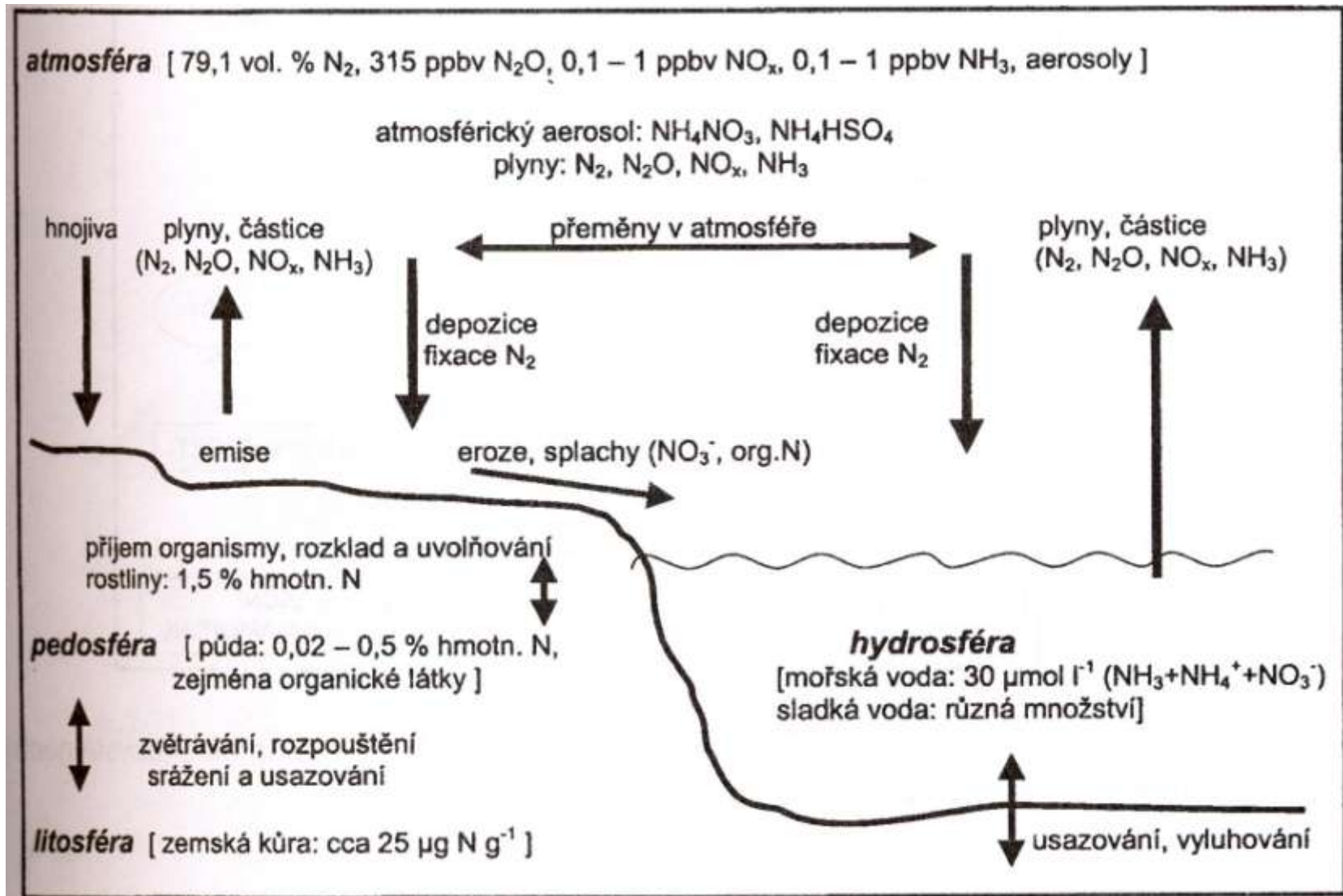


Obrázek 19.1. Graf znázorňuje vztah mezi tokem energie (■) a koloběhem živin. Živiny vázané v organické hmotě (■) se liší od živin ve volném anorganickém stavu (■). NPP = čistá primární produkce; DOM = mrtvá organická hmota

Látková bilance smrkového ekosystému po 150 letech (M_b - suma K, Mg, Ca, $M_a = H^+ +$ kationtové kyseliny, KAK – kationtová výměnná kapacita, BS – sycení bázemi, IE – iontový ekvivalent)
Ulrich, 1979

	K	Mg	Ca	M_b	KAK	M_a	BS
	k mol IE . ha . rok ⁻¹						%
Výchozí stav:							
Zásoba v minerální půdě	13	26	73	112	560	448	20
Zvětrávání za 100 let	+10	+30	+10	+50			
Nová teoretická zásoba v půdě	23	56	83	162	560	398	29
Export biomasy	-10	-23	-10	-43			
Nová teoretická zásoba v půdě	13	33	73	119	560	441	21
Depozice za 100 let	+20	+15	+50	+85		+260	
Nová teoretická zásoba v půdě	33	48	123	204			
Vyplavení za 100 let	-20	-44	-117	-181		-79	
Konečná zásoba v půdě po 100 letech	13	4	6	23	560	537	4

Globální cyklus dusíku

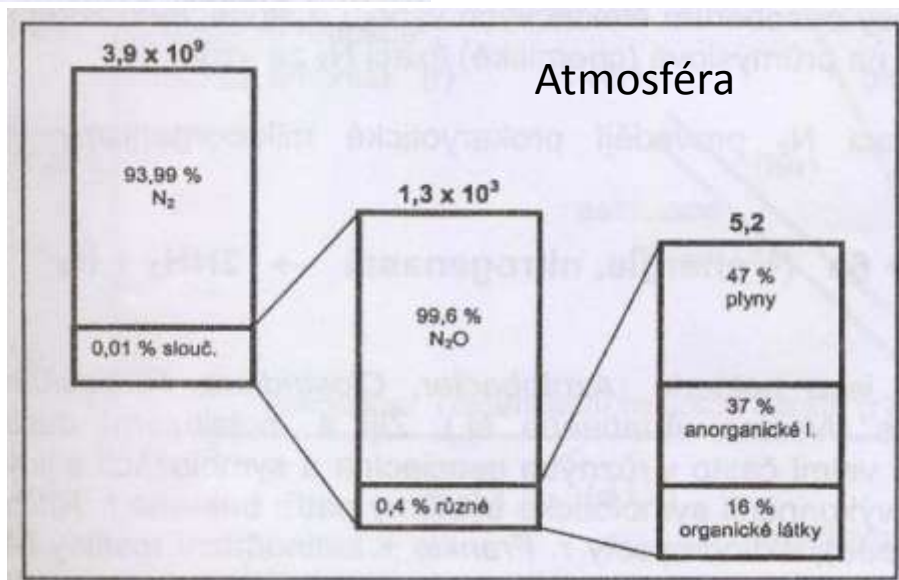
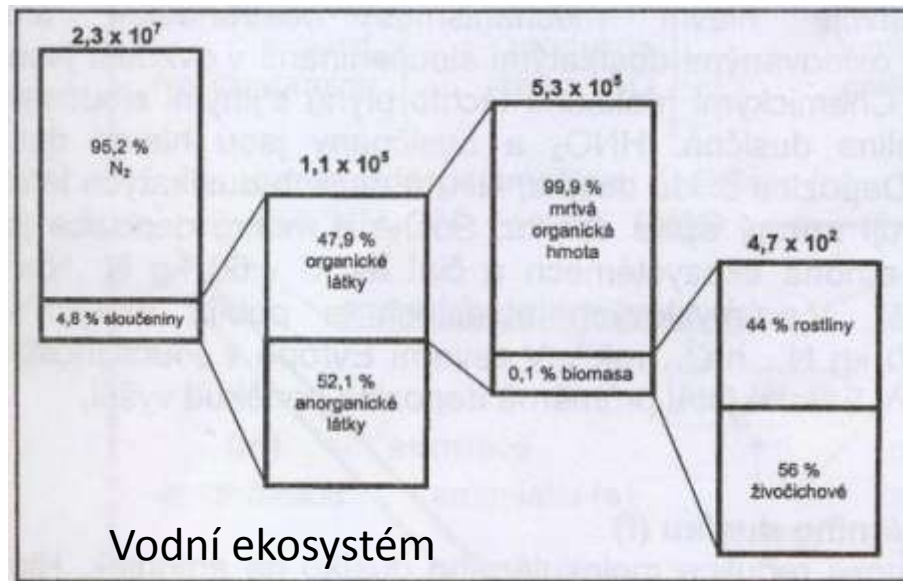
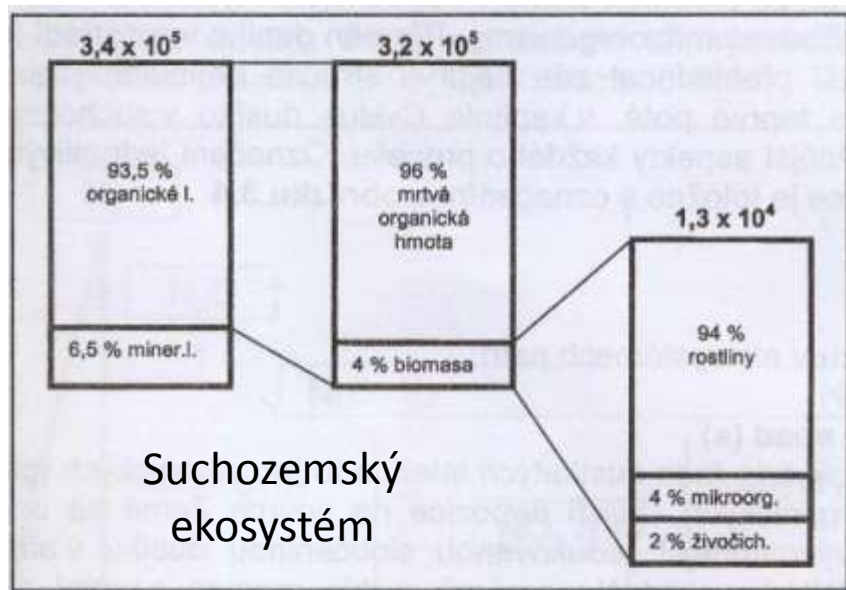


Velké přenosy se uskutečňují mezi pedosférou a atmosférou.

(vanLoon, Duffy, 200; Pierzynski et al., 2000)

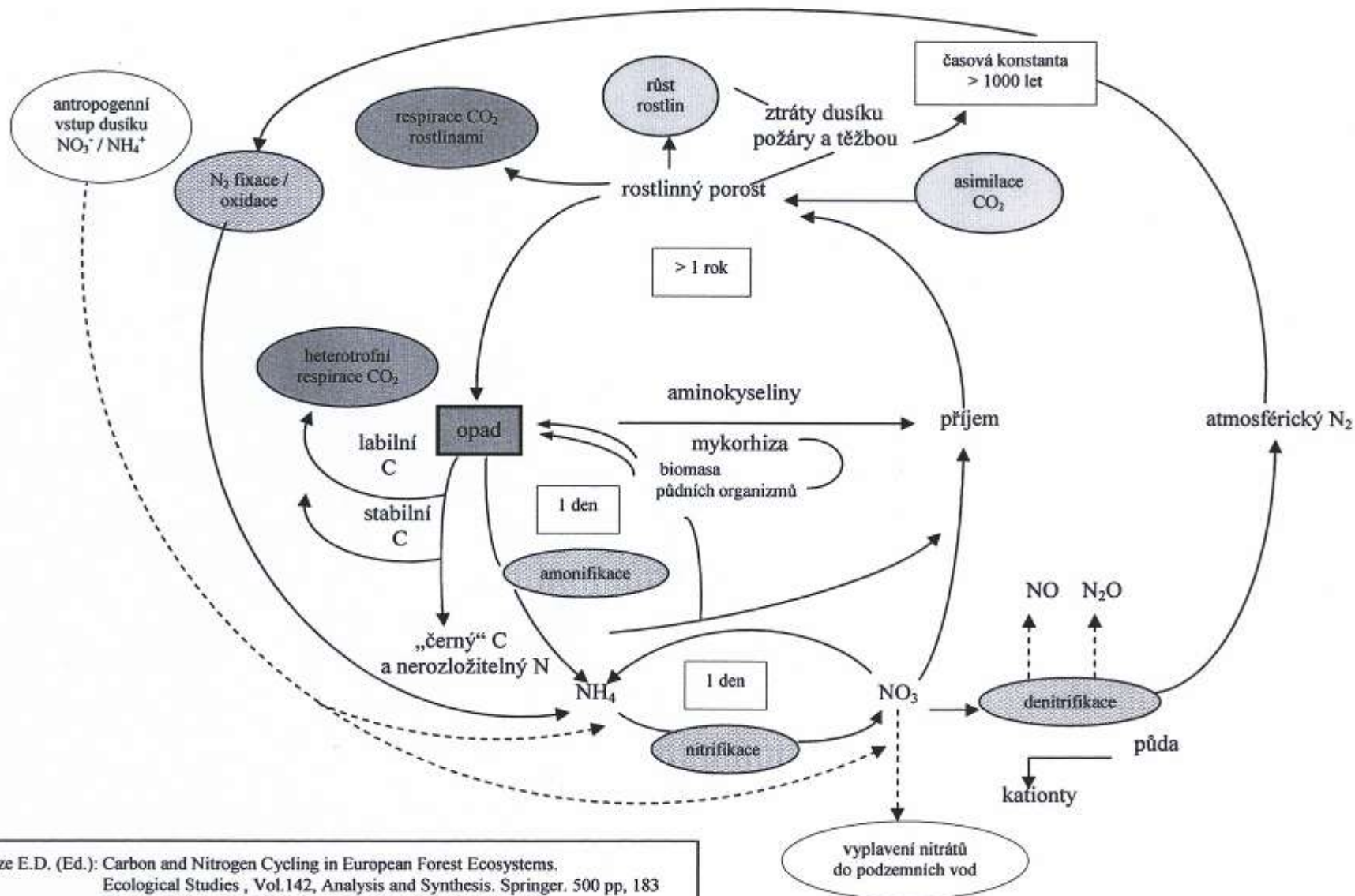
(vanLoon,

Zásoby dusíku v ekosystému



(Soderlund, Rosswall, 1982, Jaffe, 19992)

Koloběh C a N v lesních ekosystémech



Zdroj: Schulze E.D. (Ed.): Carbon and Nitrogen Cycling in European Forest Ecosystems. Ecological Studies, Vol.142, Analysis and Synthesis. Springer. 500 pp, 183 Figures, 106 Tables, ISSN 0070-8356, ISBN 3-540-67239-7, <http://www.springer.de>

Zásoby prvků – lužní les

Lednice , Klimo (1982)

Lednice

Struktura zásoby živin ekosystému lužního lesa (kg/ha)

	N	P	K	Ca	Mg
Koruna stromů větve + listí	473	41	219	619	45
Kmeny stromů	1 044	42	358	1 326	81
Keře, nadz. část	55	8	26	31	9
Byliny, nadz. část	22	4	47	21	5
Suma nadz. částí rostlin	1 594	95	650	1 997	140
Povrch. humus Ø za rok	99	6	18	75	15
Kořeny (stromy, keře, byliny)	210	34	84	240	52
Tot. zásoba v půdě - rhizosféra	14 846	4 953	121 364	44 864	-
Zásoba mimo rhizosféru	9 093	5 085	176 532	76 321	-
Suma rostlin	1 804	129	734	2 223	192
Suma půdy	24 038	10 044	297 914	121 260	-
Suma rostlin a půdy	25 842	10 173	298 648	123 439	-

Zásoba prvků – smrkový porost Rájec n.S.

Klimo, 1982

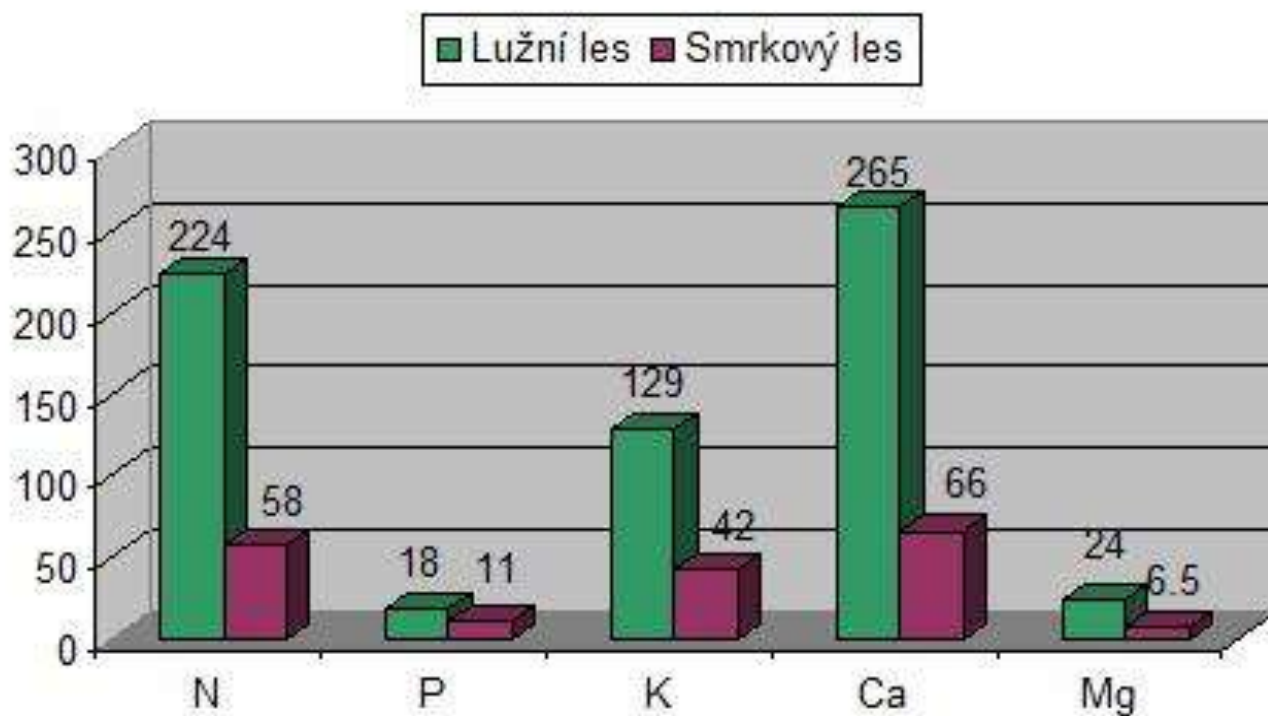
Rájec

Struktura zásoby živin v ekosystému smrkového lesa (kg/ha) – tab. č. 62

	N	P	K	Ca
jehličí	251,2	41,5	156,0	274,9
větve	47,4	8,0	36,8	77,3
kmeny	114,8	25,1	177,4	437,0
pařezy	17,4	3,0	19,7	57,6
Suma nadz. částí	430,8	77,6	389,9	846,8
kořeny	1,6	11,6	27,4	132,7
Suma dřeviny	432,4	89,2	417,3	979,5
A ₀₁ – L	154	4,4	11,7	36,9
A ₀₁ – F	276	16,4	20,5	16,5
A ₀₁ – H	350	27,3	36,3	14,4
Suma A₀	780	48,1	68,5	70,8
6 – 8 cm	906	287	3 445	2 372
8 – 12 cm	590	539	6 635	3 108
12 – 40 cm	1 082	9 441	49 889	30 748
Suma půda	3 358	10 315,1	60 037,5	36 298,8
Suma ekosystém	3 772,6	10 404,3	60 454,8	37 278,3

Odběr bioelementů

Celkový odběr bioelementů (kg/ha/rok)







Množství nadložního humusu a hlavních živin

Lomský. 2008

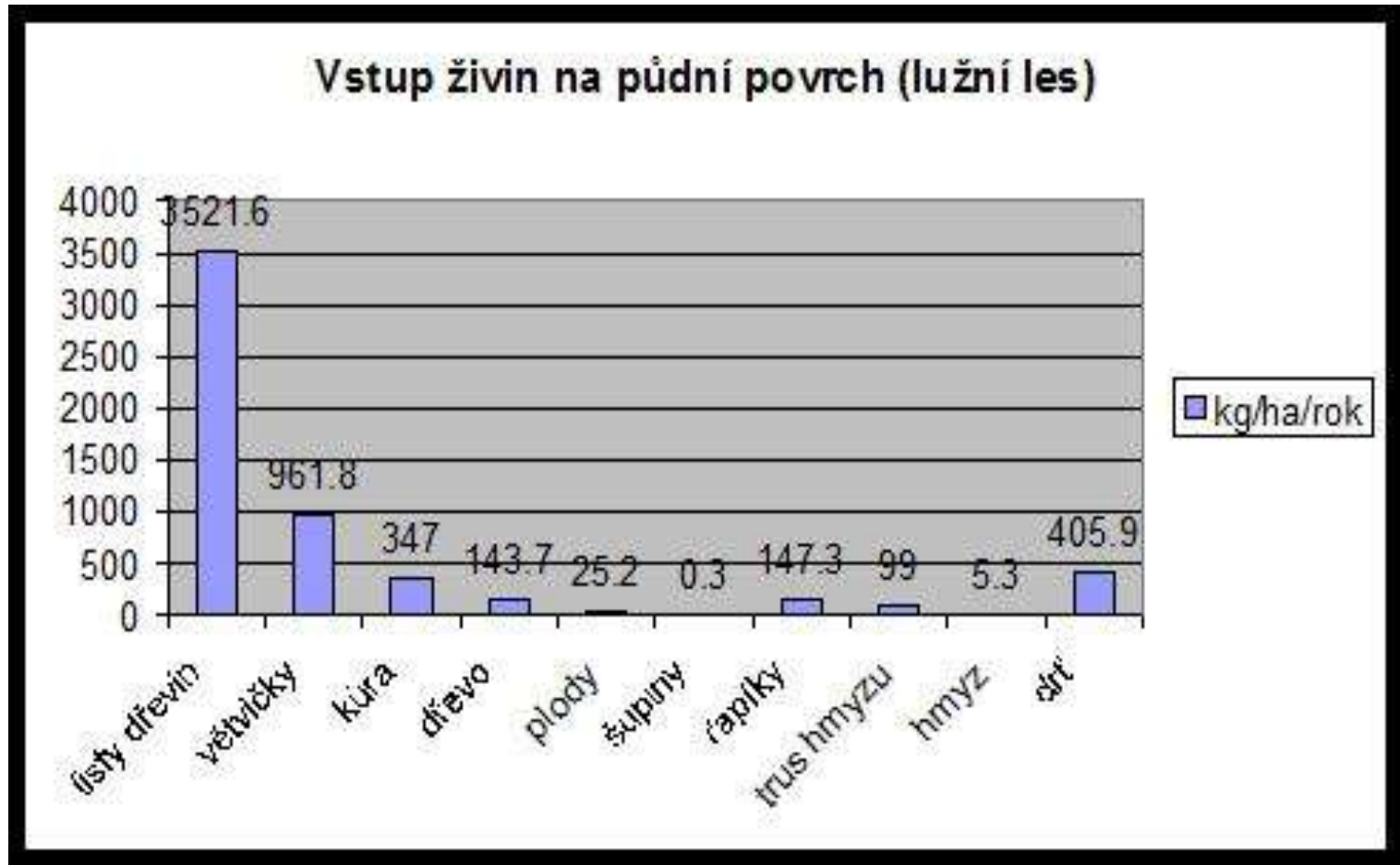
Základní klasifikace, tři hlavní typy – *surový humus, moder a mulový humus*,

Z hlediska výživy podstatné: celkové množství biogenních prvků akumulované v humusové vrstvě;

					Množství živin v kg.ha ⁻¹					
	Mocnost	C:N	pH _{H2O}	Množství t.ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	
Mull	1 cm	8-12	5,5-7,0	5,2 - 20,7	116-403	12-44	10-35	64-229	13-46	
Moder	2-3-cm	12-15	4,0-5,0	35,5 - 51,8	608-890	38-56	25-36	79-116	25-36	
Mor-surový humus	7-15 cm	15-30	3,0-4,0	62,2 - 131,0	990-1700	58-99	79-136	122-210	22-38	
Suchý	5-10 cm	 EVROPSKÁ UNIE	 esf	 MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY	 OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost	800-1114	65-93	45-65	227-324	60-86
										45-134
Zrašeliněný	15 cm			INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ 65,5 - 198	840-2540	67-203	45-135	69-210	134	

Živiny v opadu

Lednice, Klimo (1982)



Odběr prvků smrkovým porostem

Smrkový porost

Odběr elementů smrkovým porostem dle stáří porostu – kg/ha/rok

(Smirnová, 1951) (in Materna, 1970)

element	Stáří porostu				
	24 let	38 let	60 let	72 let	93 let
N	16,2	62,8	59,9	33,0	27,6
Ca	14,8	52,3	33,8	31,5	25,6
Mg	1,8	9,8	6,3	4,6	3,5
P	2,6	12,4	6,4	4,4	3,7
K	5,8	38,7	14,3	11,3	6,9
S	5,9	23,2	14,8	13,8	12,0
Si	4,1	11,9	9,8	10,0	10,5

Vývoj zásoby prvků na holině

Klimo, 1982

Rájec

Vývoj zásoby elementů ve fytomase bylin na pasece po těžbě smrkového porostu – tab. č. 89

Elementy – (kg/ha)

období	N	P	K	Na	Ca	Mg	S	Mn	Fe	Zn	Cu
1977	0,2	0,02	0,03	-	0,1	0,02	0,02	-	0,03	-	-
1979	0,6	0,8	6,8	0,1	0,8	0,7	0,5	0,7	0,4	0,02	0,2
1980	226,3	28,5	18,08	1,3	31,6	24,6	13,3	17,5	6,4	0,9	11,8

1977 – rok provedení těžby

Interferenční vlivy (minerální výživa)

Synergismus - ovlivňování příjmu živin, pozitivní účinek, příjem jedné nebo více živin podporován jinou živinou
např. NO_3^- - K^+ , K^+ - H_2PO_4^- , NH_4^+ - H_2PO_4^- aj.

Antagonismus - negativní účinek, příjem jedné nebo více živin brzděn jinou živinou, např. vysoké koncentrace **Mg a Ca v půdě omezují příjem K**, vysoké koncentrace N omezují příjem S, K, B, Mg, vysoké koncentrace Ca omezují B a dalších prvků.

- antagonismus se projevuje jen při velmi vysokém přebytku daného prvku v půdě

Koloběh uhlíku a dusíku ve smrkovém a bukovém porostu na Dražanské vrchovině

Menšík, Kulhavý, 2010

příkladová studie

Porostní charakteristiky

Porost	Věk	Dřevinná skladba
Smrkový porost	105	SM 100
Smíšený porost	125	BK 55, SM 45
Bukový porost	125	BK 100



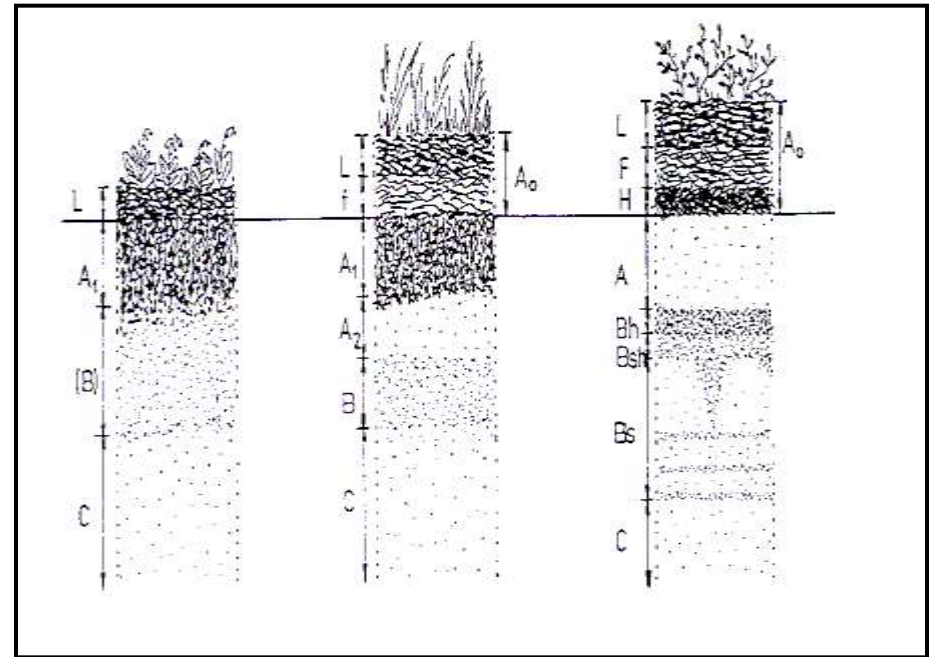
Formy nadložního humusu

Pedologický kruh



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

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



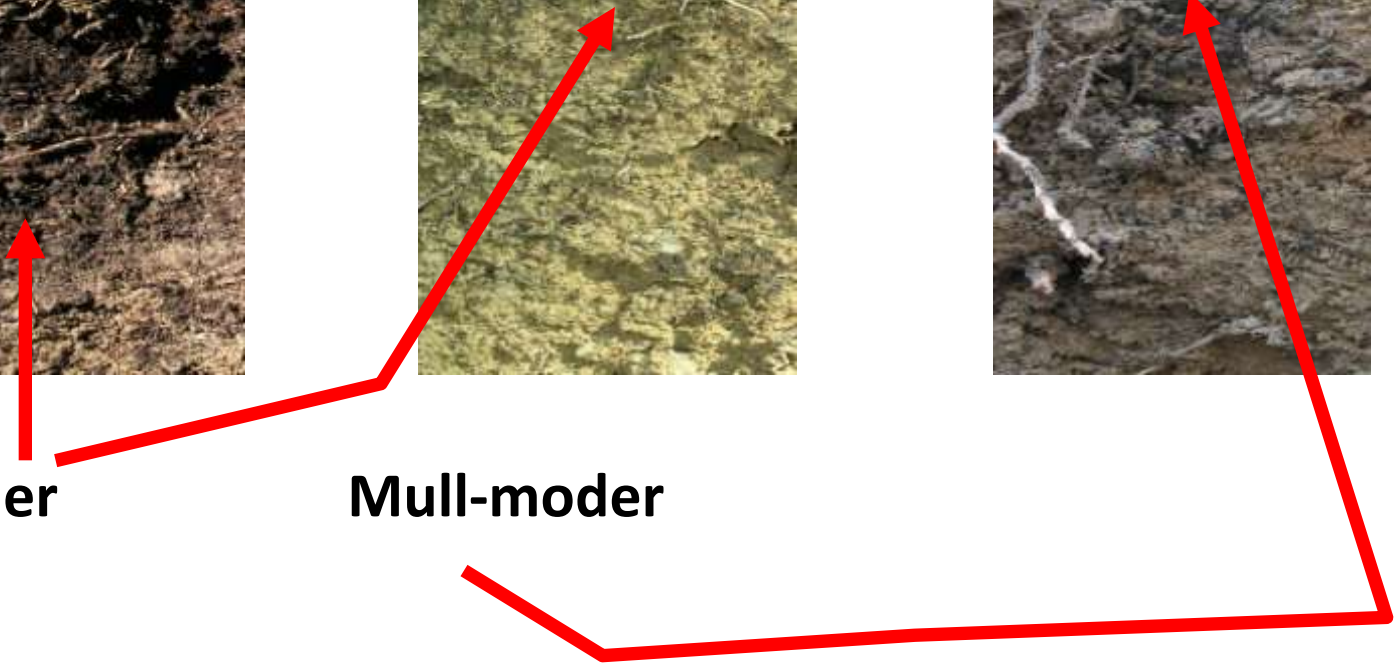
Moder

Smíšený porost

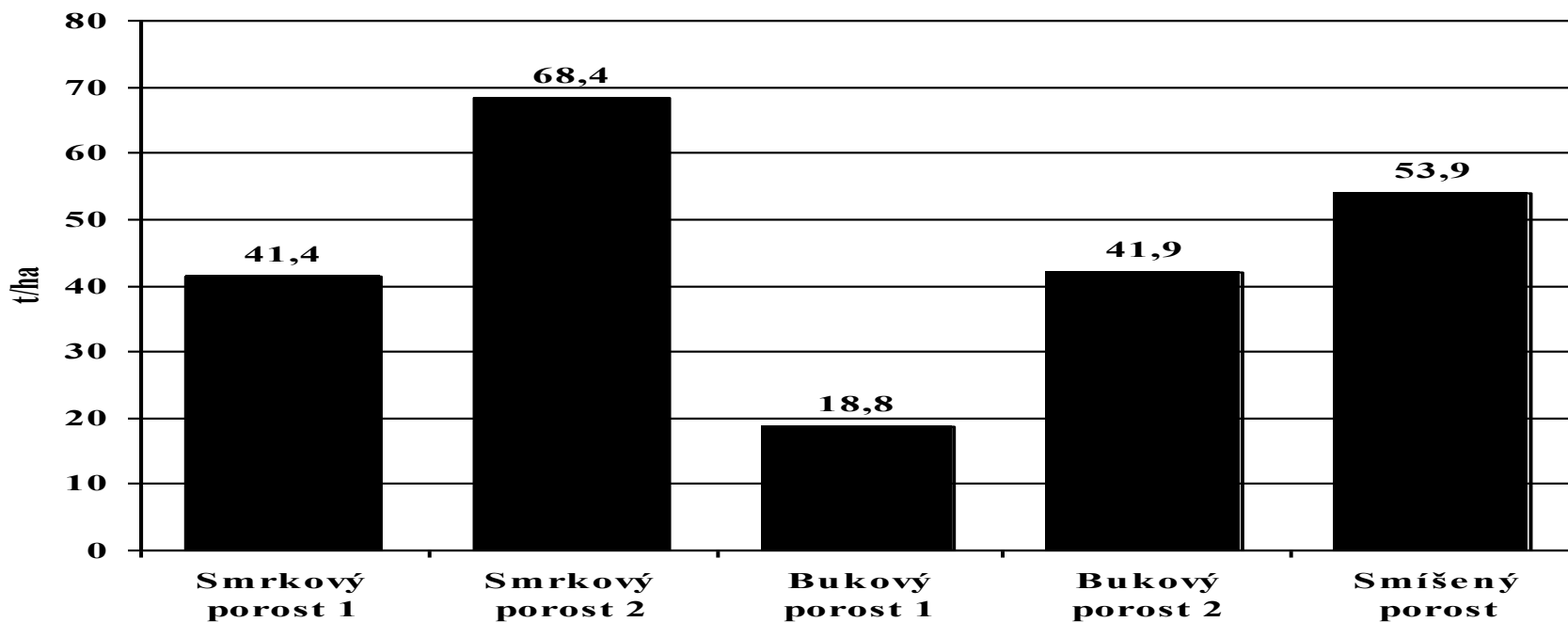


Mull-moder

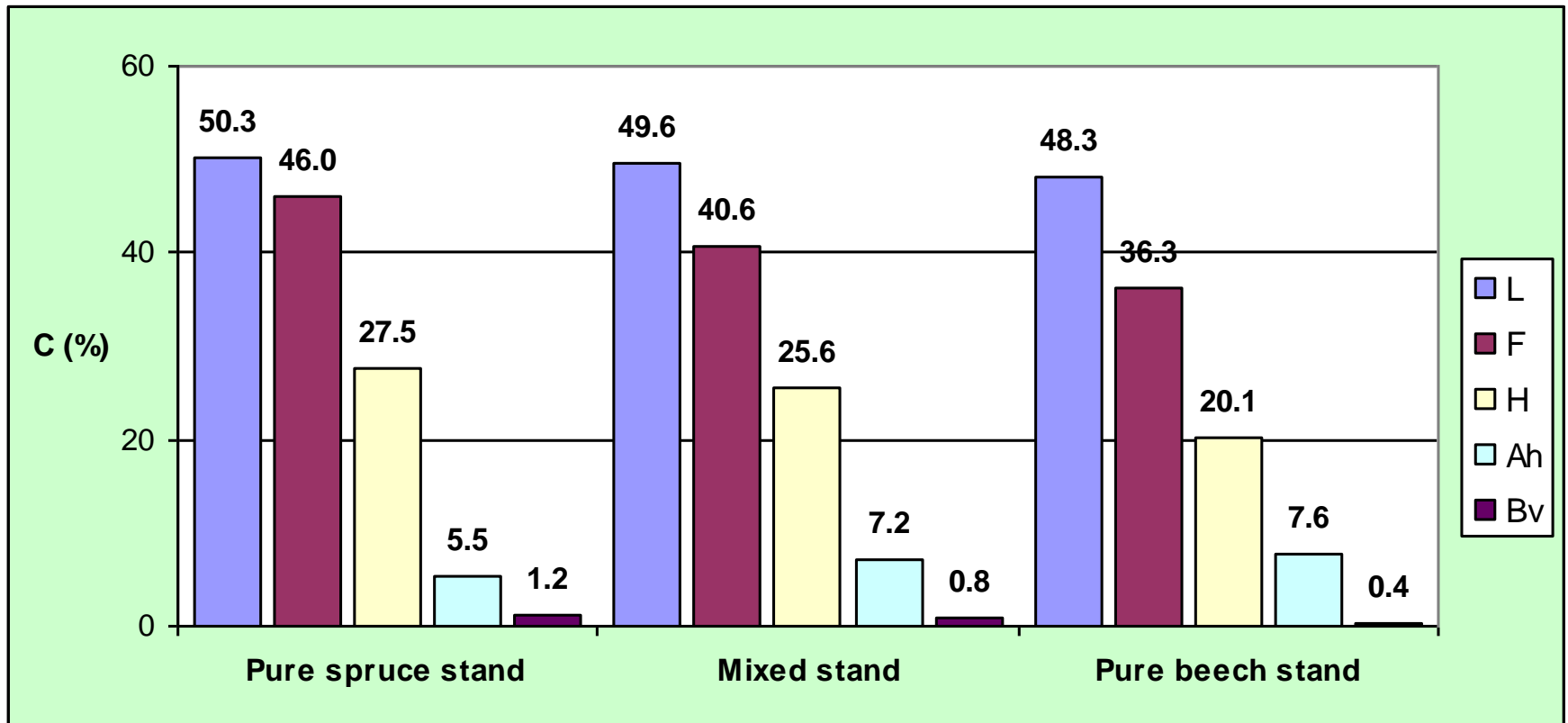
Bukový porost



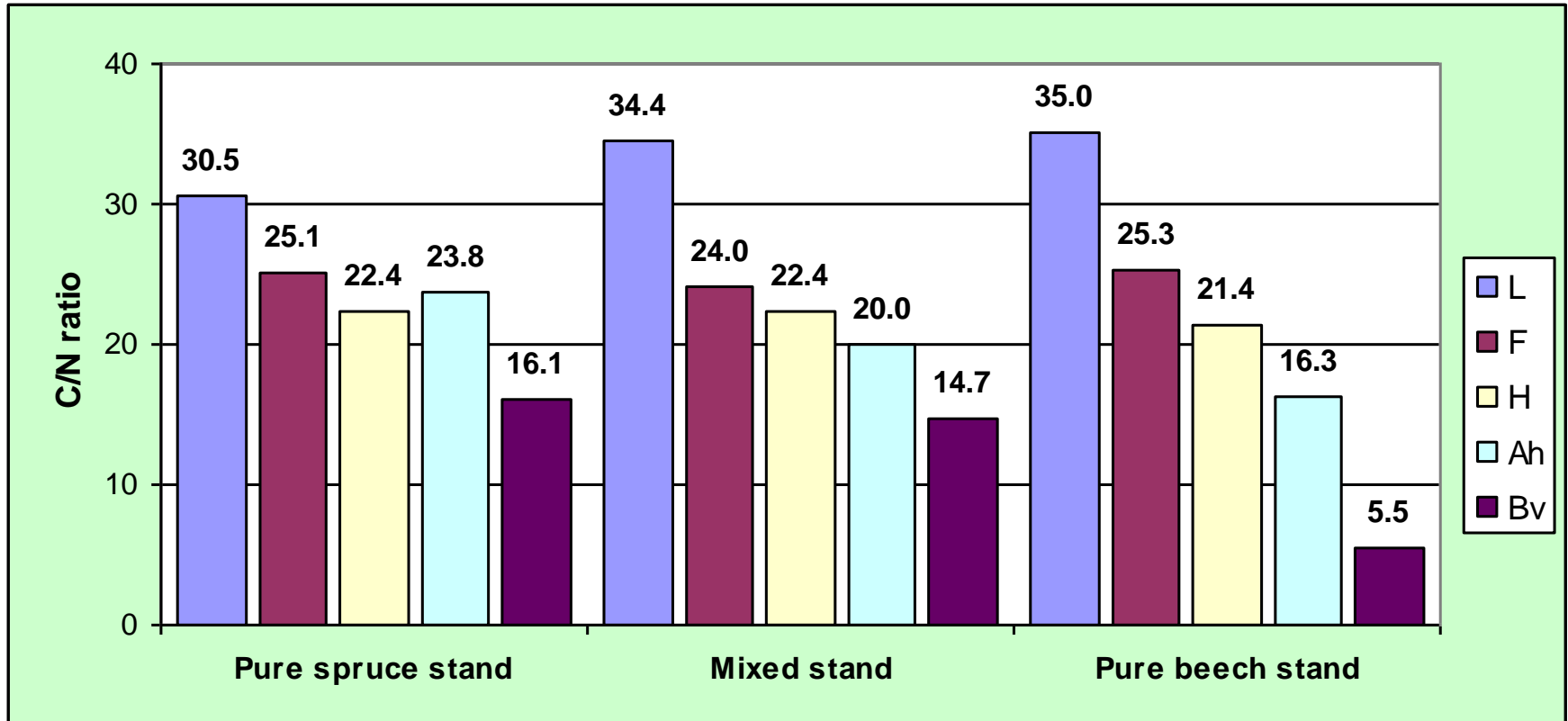
Zásoba nadložního humusu



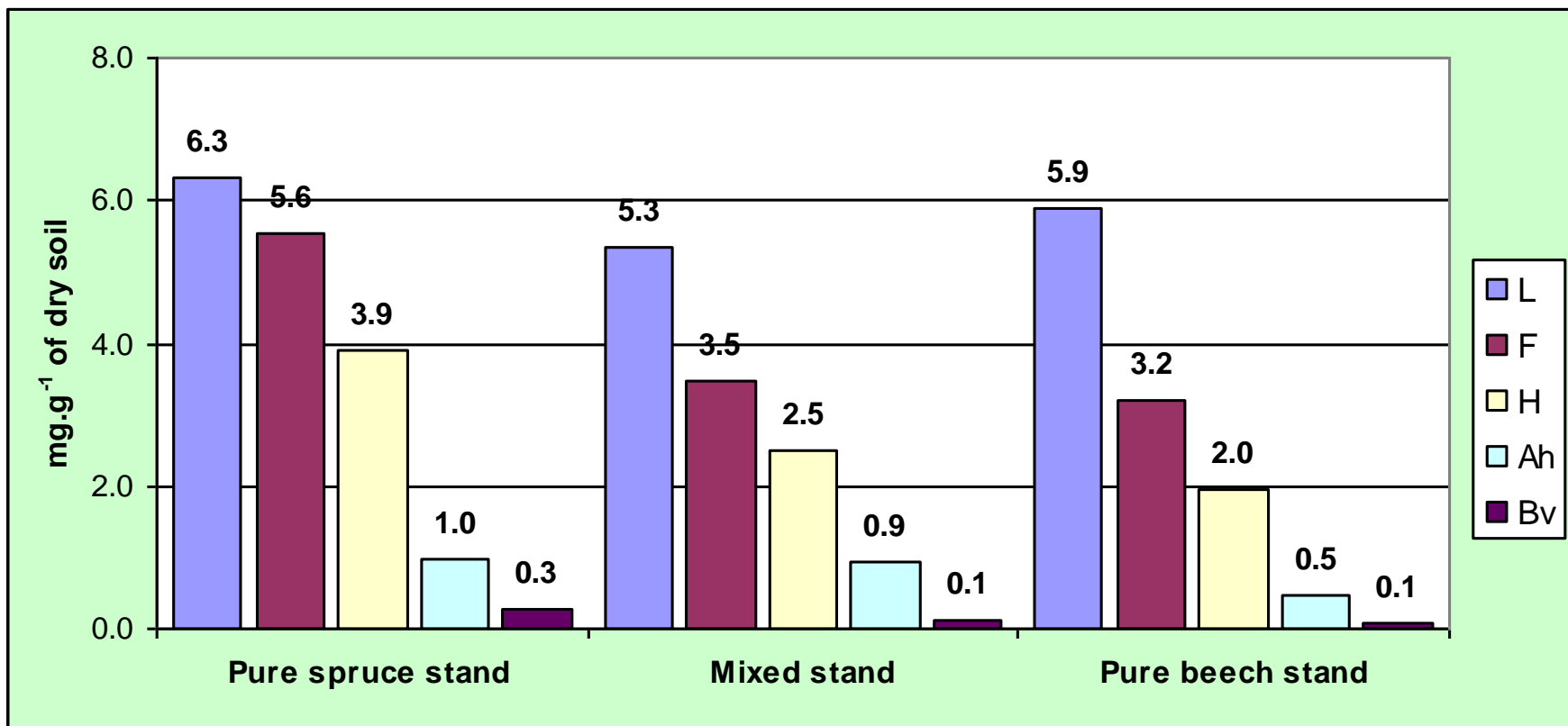
Obsah uhlíku v nadložním humusu a půdě



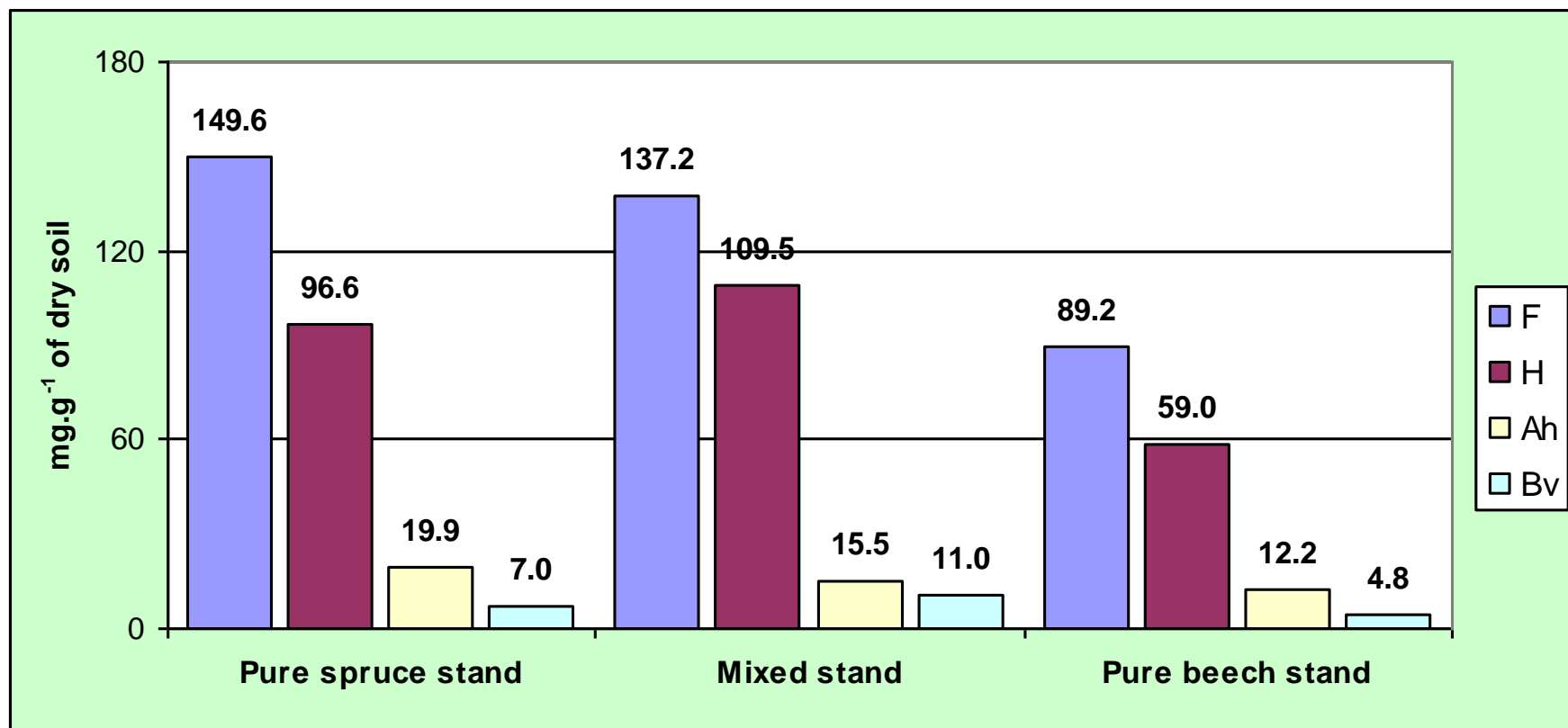
Poměr C/N v nadložním humusu a půdě



Rozpustný organický uhlík (DOC)



Celkový organický uhlík (TOC) humusových látek v nadložním humusu a půdě



Smrkový porost
33 let

Bukový porost
44 let

Koncentrace C (mg/l) ve srážkových a průsakových vodách

SM 100

BK 100

Smrkový porost

Bukový porost

620 m.n.m
638 mm
6.5°C
Kambizem
(KAmđ')

610 m.n.m
638 mm
6.5°C
Kambizem
(KAmđ')

VP

5,61**

10,78**

7,08**

Podkorunový
srážikoměr

Gravitační
lyzimetr

23,39^{NS}

26,92^{NS}

4,91^{NS}

4,59^{NS}

5,55^{NS}

3,70^{NS}

Vakuový
lyzimetr

Statistický test:
ANOVA, p=0,05

** = high-statistically significant differences (p<0,01); NS = not significant

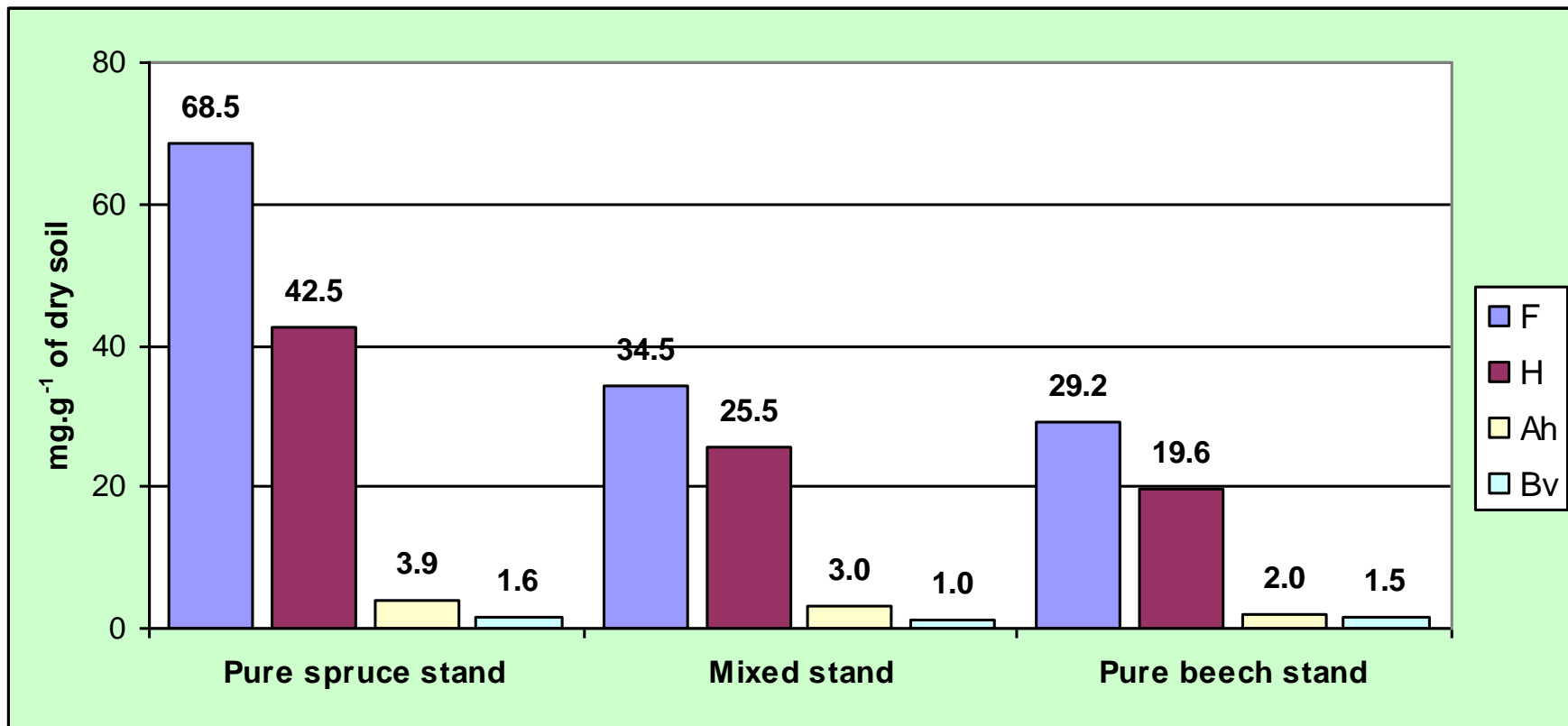
Data - 2008

3-5 cm

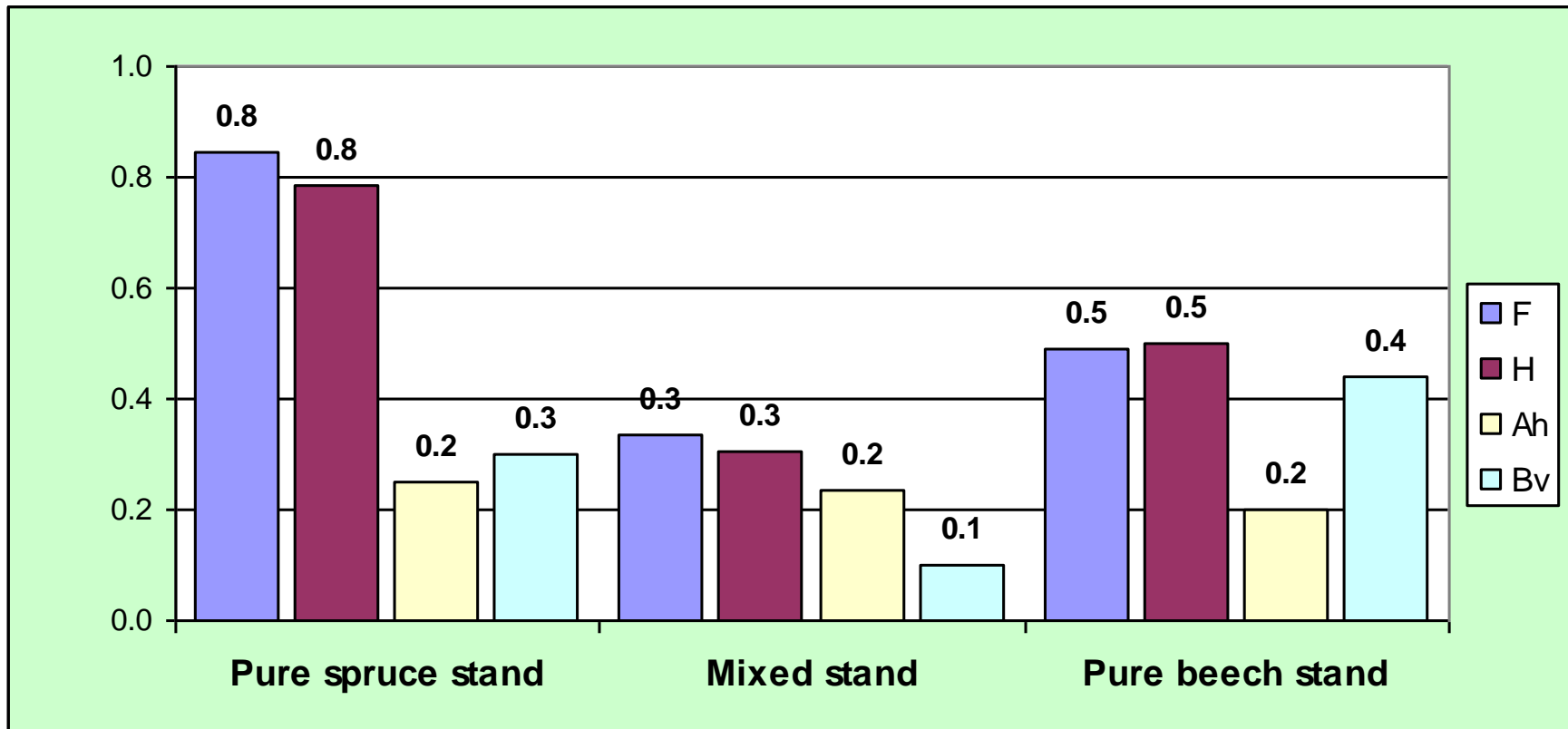
20 cm

40 cm

Celkový organický uhlík (TOC) Huminových kyselin

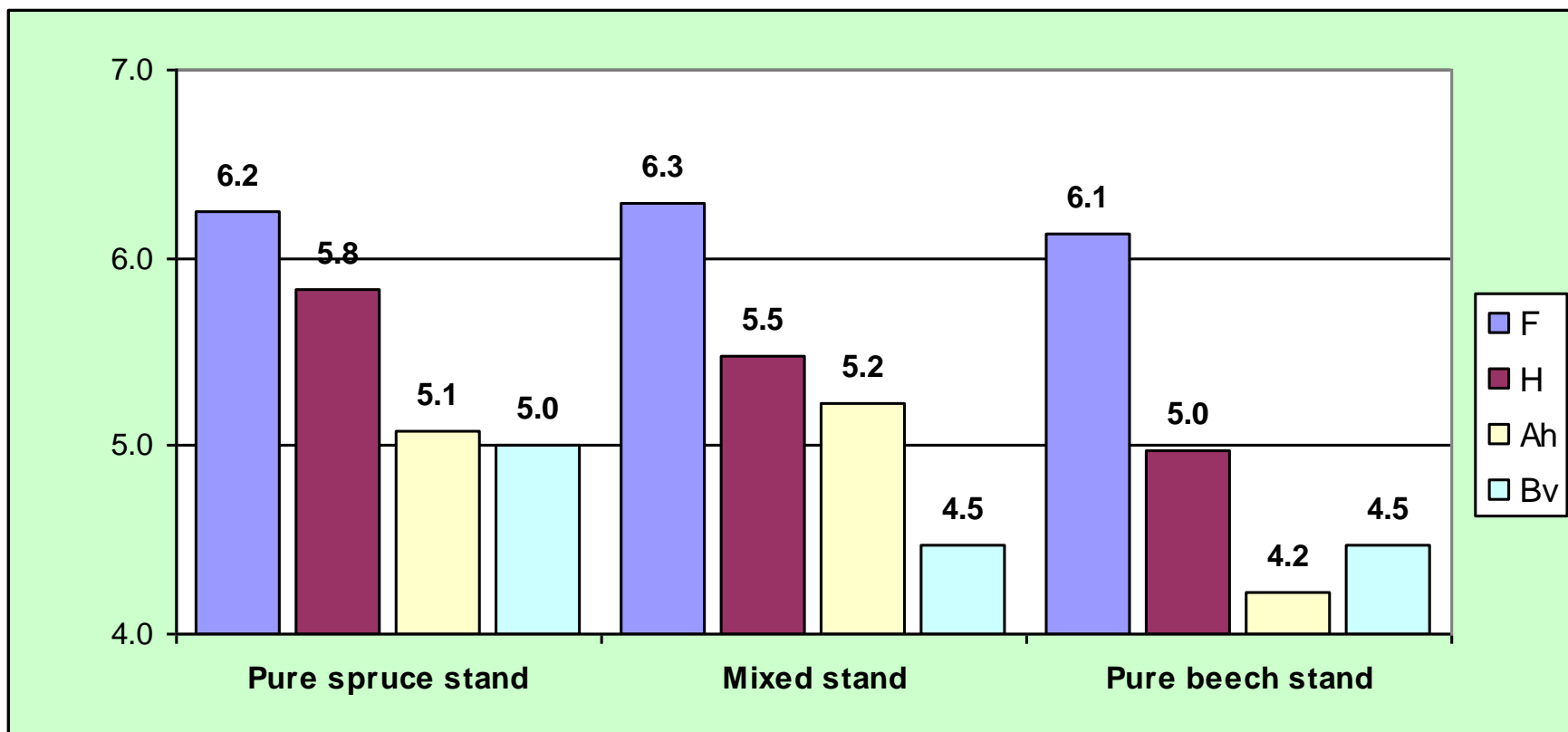


Poměr TOC Huminových kyselin / Fulvokyselin

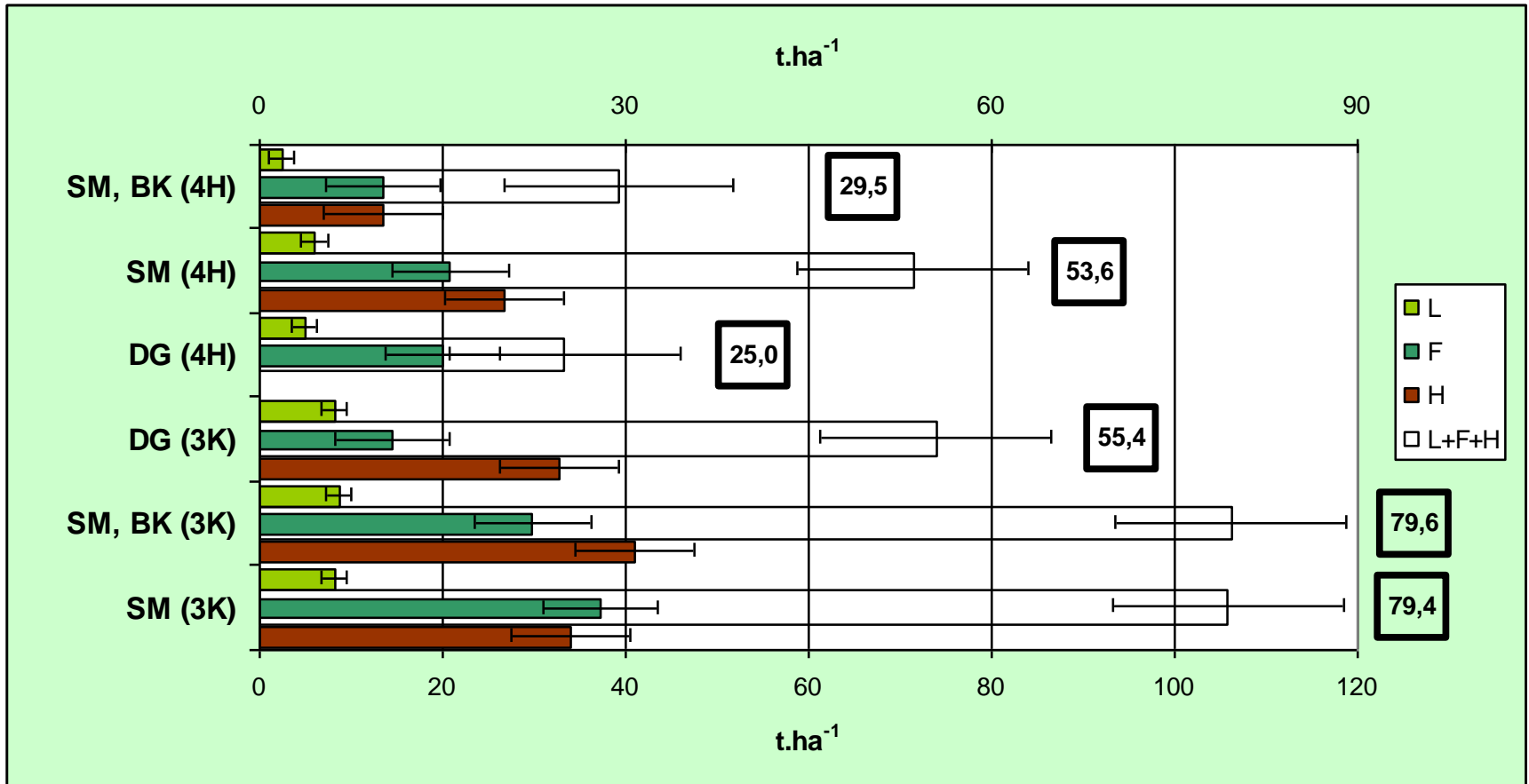


Barevný kvocient Huminových kyselin A

400/600

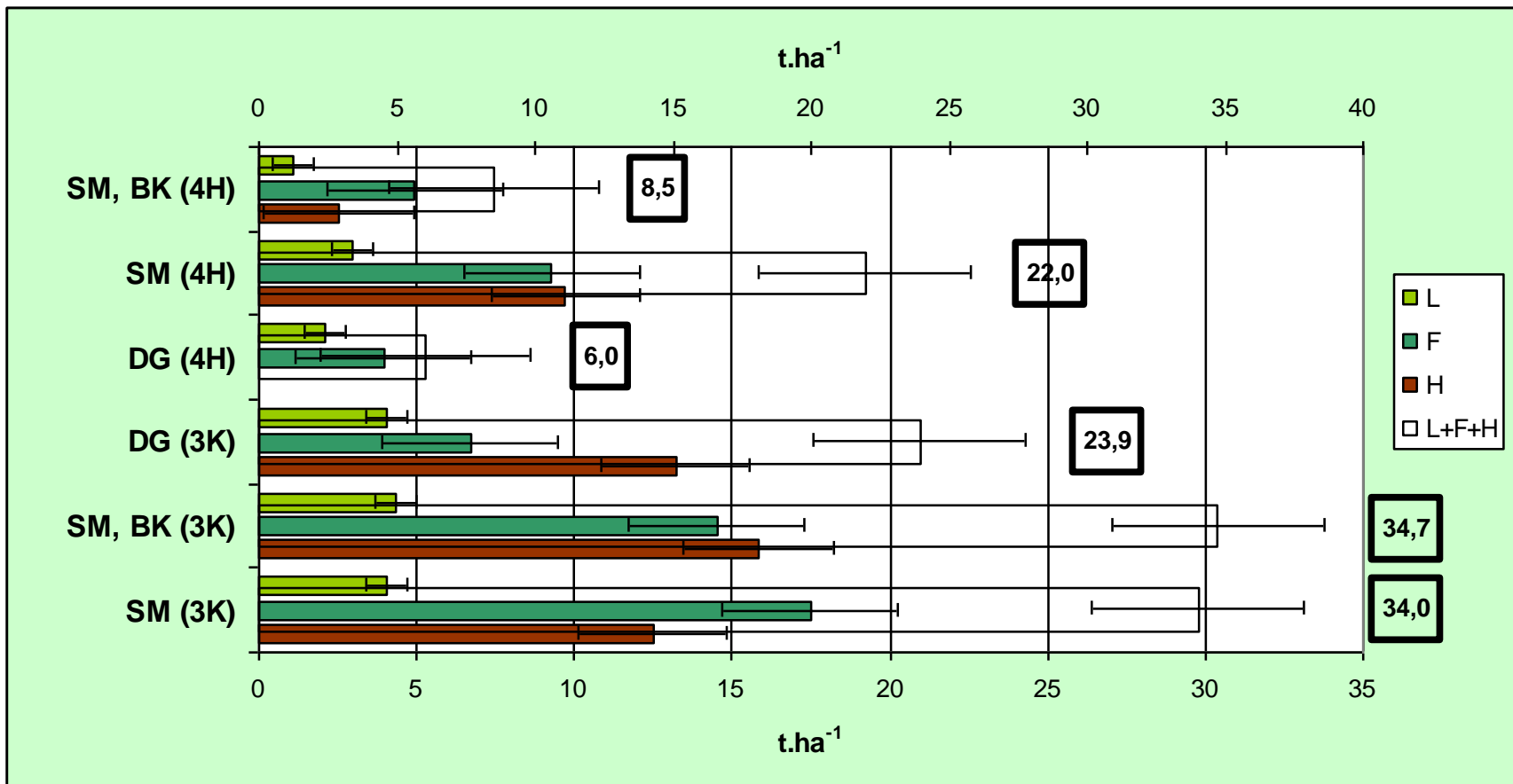


Zásoba povrchového humusu



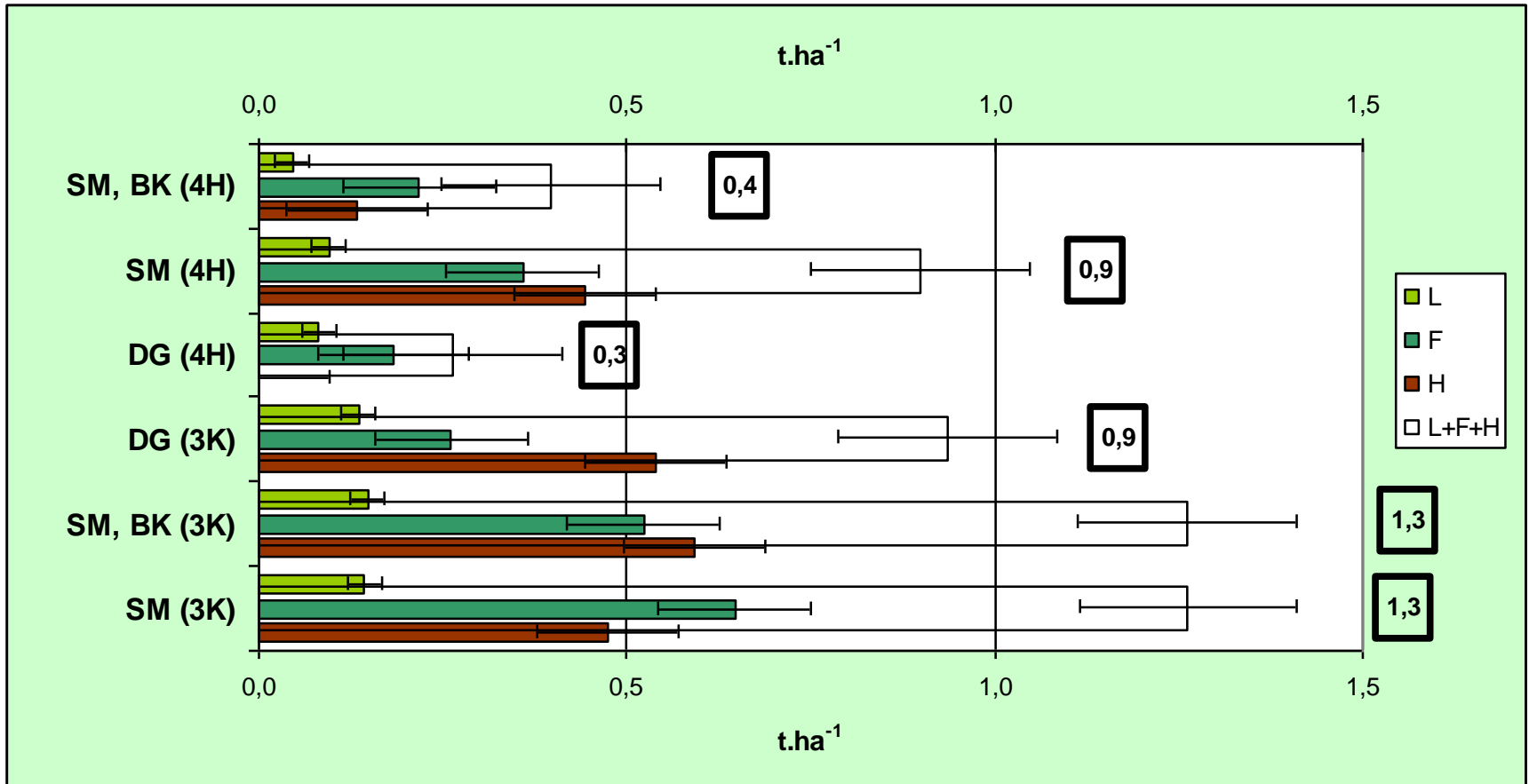
Nejnižší zásoba v porostu DG na živném stanovišti 25,0 t.ha⁻¹, nejvyšší akumulace v porostu SM a porostu SM, BK na kyselém stanovišti 79 t.ha⁻¹ - statisticky významný rozdíl.

Zásoba uhlíku



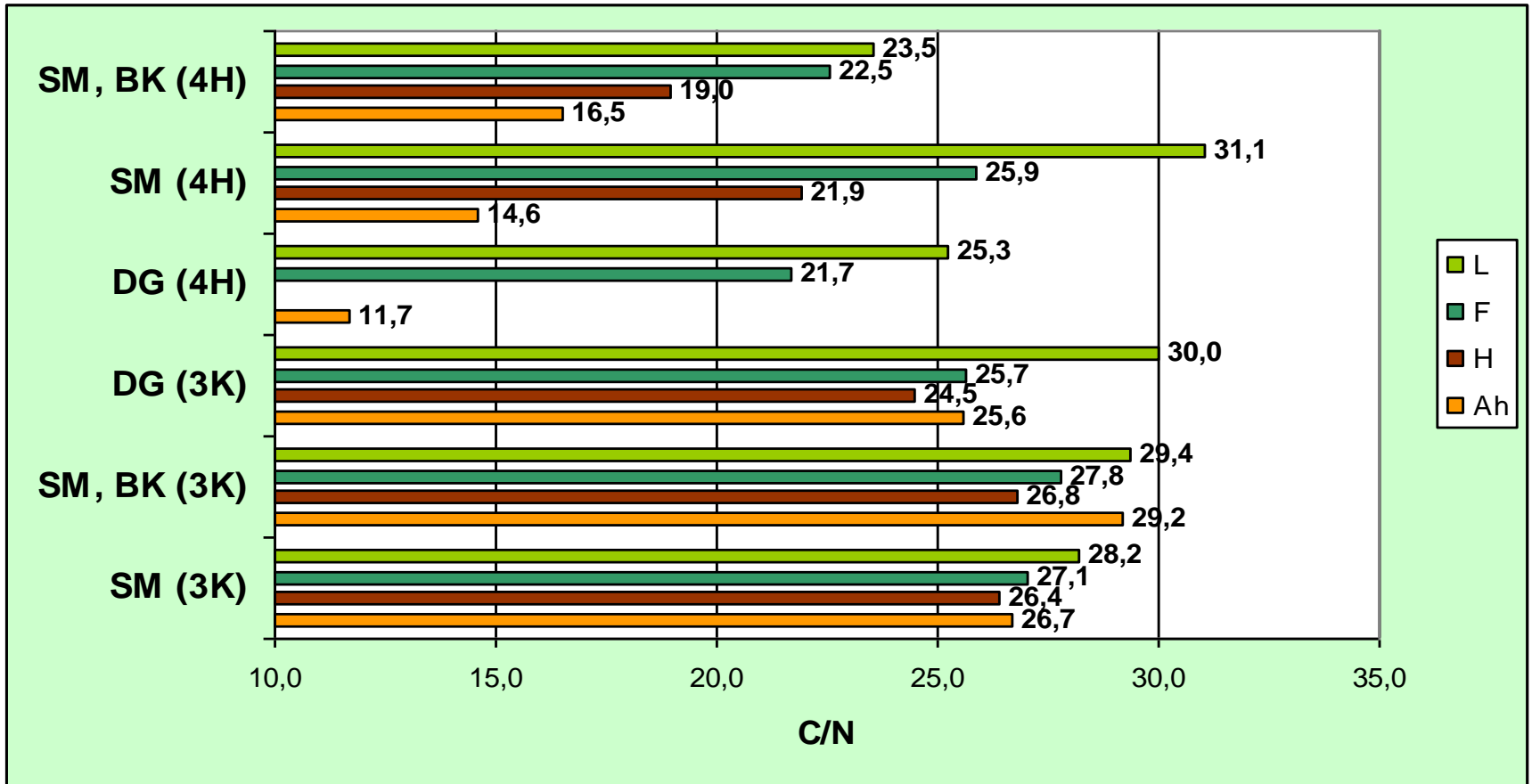
Největší zásoba uhlíku v nadložním humusu je v porostu SM a SM, BK kyselém stanovišti 34,0 t.ha⁻¹. Nejnižší zásoba uhlíku v porostu DG a v porostu SM, BK na živném stanovišti 6-9 t.ha⁻¹.

Zásoba dusíku



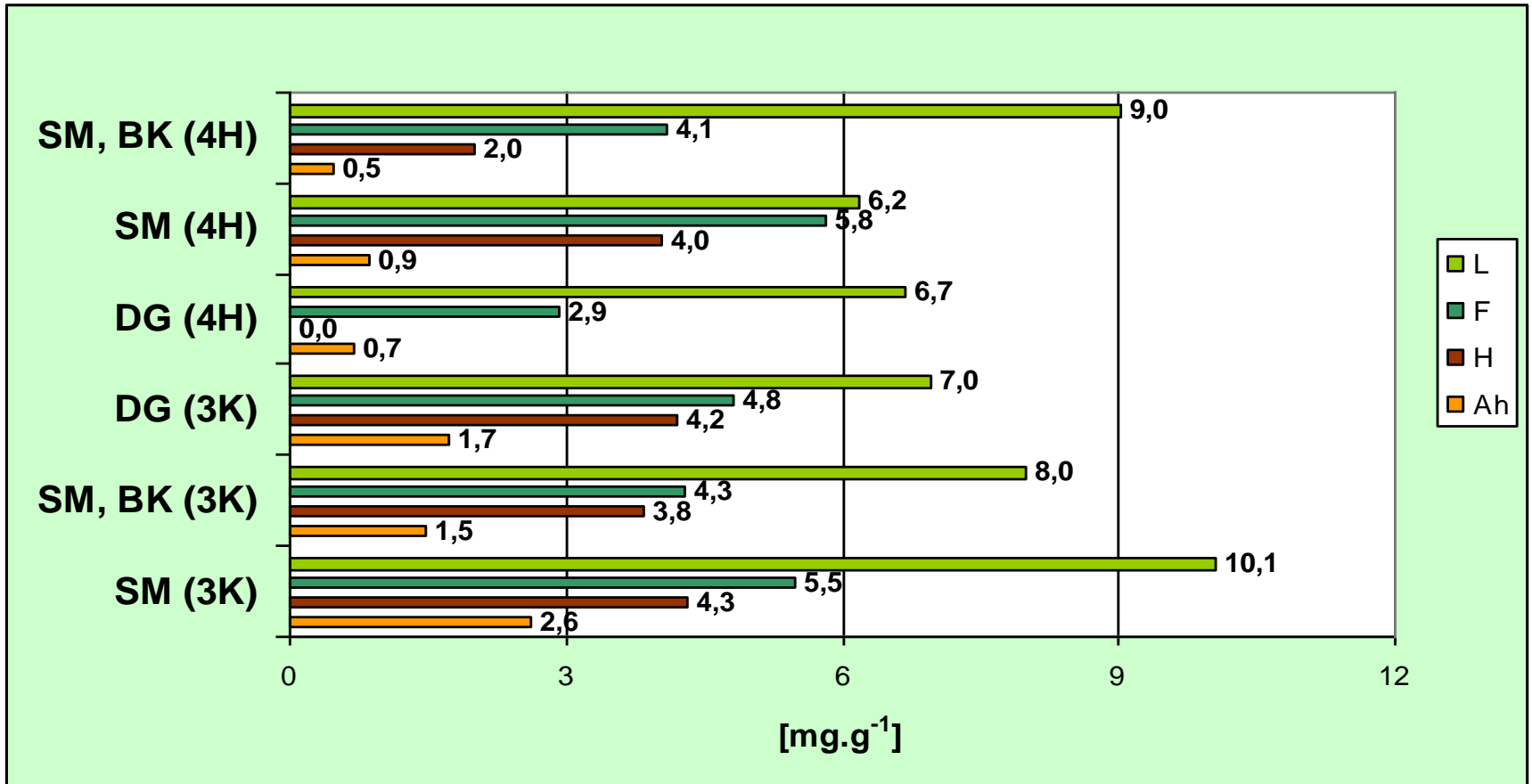
Největší zásoba dusíku v nadložním humusu je v porostu SM a SM, BK kyselém stanovišti 1,3 t.ha⁻¹ dusíku. Nejnižší zásoba dusíku v porostu DG a v porostu SM, BK na živném stanovišti 0,4 t.ha⁻¹ dusíku.

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.

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