

## PŮDNÍ SKELET JAKO ZDROJ PŘÍSTUPNÝCH ŽIVIN V LESNÍCH EKOSYSTÉMECH

### SOIL SKELETON - SOURCE OF AVAILABLE NUTRIENTS IN FOREST ECOSYSTEMS

JAN MATERNA

#### ABSTRACT

The concentration of selected nutrients in the fine earth (particles < 2 mm) and in two fractions of soil skeleton (2 - 10 and 10 - 30 mm) was studied. I used soil samples originated from profiles on very different parent bed rocks, from very poor sandstone to basalt and amphibolite that were very rich on nutrients. The extraction with Mehlich III of the mentioned fractions of soil skeleton resulted in remarkable amounts of phosphorus, potassium, calcium and magnesium as well. In some cases the concentrations in the coarse soil fractions were comparable with the concentrations in fine earth. The concentrations of  $C_{ox}$  and  $N_{tot}$  in the soil skeleton particles were also significant. If we consider the share of soil skeleton on the total amounts of available nutrients in the soil profile, they can play an important part. Therefore it is not possible to neglect this amount in studies concerning distribution of elements and nutrient cycling in forest ecosystems.

**Klíčová slova:** půda, půdní skelet, živiny, zásoby živin

**Key words:** soil, soil skeleton, nutrients, stock of nutrients

#### ÚVOD

Údaje o chemických vlastnostech minerálních složek lesních půd se opírají o posuzování analýz jemnozeme, tj. zrnitostní frakce < 2 mm. Z toho se odvozují celkové zásoby živin a schopnost lesní půdy zajistit v kratších či delších časových úsecích výživu lesních porostů. Ostatní zrnitostní frakce minerální půdy se posuzují spíše jako balast, který snižuje podíl jemnozeme v půdním profilu, a tím i zásoby přístupných živin.

Je několik informací z poslední doby, které takový přístup zpochybňují. Ukazuje se, že i hrubší frakce mohou mít pro zásoby přístupných živin v půdě význam (JONGMANS et al. 1997; KOHLER et al. 2000; BREEMEN et al. 2000). Půdní skelet – částice, které 2mm sítím neprocházejí – může obsahovat pozoruhodná množství přístupných živin (UGOLINI et al. 1996, 2001; CORTI et al. 2002; HEISSNER et al. 2004; KOELE, HILDEBRAND 2008). Živiny jsou obsaženy v materiálu, který je uložen v trhlinkách narušeného povrchu hrubších částic skeletu, čímž jsou tdo jisté míry chráněny před vyplavováním.

V hrubších půdních částicích byly však zjištěny i určité obsahy organického uhlíku i dusíku (BEETS et al. 2011). Podílejí se na tom hyfy ektomykorrhizních hub, které narušují celistvost povrchu hrubších částic (JONGMANS et al. 1997) a jejich zbytky pak vnášejí do skeletu i sloučeniny dusíku a uhlíku (CORTI et al. 2002).

Množství živin takto uložených ve skeletu nejsou zanedbatelná. Z výsledků průzkumu lesních půd ve Schwarzwaldu vyplývá, že koncentrace výměnných kationů ve skeletu mohou být i významně vyšší než koncentrace v jemnozemi (HEISSNER et al. 2004). Rozhodující pak je - a pokusy to potvrdily - že živiny obsažené ve skeletu jsou rostlinami využitelné. UGOLINI et al. (2001) v nádobovém pokusu prokázali využitelnost hořčíku, vápníku i draslíku kulturou trávy *Agro-*

*stis vulgaris* z frakcí půdního skeletu 2 - 13 a 38 - 63 mm. Jemnější frakce (2 - 13 mm) byla rovnocenným zdrojem hořčíku pro kulturu jako jemnozeme (< 2 mm). V laboratorním pokusu pak KOELE a HILDEBRAND (2008) zjistili, že semenáčky smrku mohou využít vápník a hořčík z půdní frakce 2 - 6,3 mm k normální výživě těmito prvky.

Všechny tyto informace ukazují na nezbytnost změnit dosavadní přístup k půdnímu skeletu, pokud jde o jeho úlohu ve výživě rostlin. Zároveň však jsou příliš omezené na to, aby umožnily obecnější pohled na celou problematiku. Je proto nezbytné podstatně rozšířit soubor údajů o koncentracích rostlinných živin včetně stopových a eventuelně i rizikových prvků v různých zrnitostních frakcích, rozšířit poznání o jejich využitelnosti rostlinami, resp. lesními dřevinami, a o jejich významu v ekologii výživy lesních dřevin a porostů. S tím je spojena nutnost metodického propracování odběru, přípravy a analytického zpracování půdních vzorků včetně skeletu. Jde tedy o techniky, časově a samozřejmě i finančně náročný program.

Tento příspěvek se zabývá otázkou, jaký význam mohou mít živiny obsažené ve skeletu v půdních profilech vzniklých na půdotvorných substrátech s výrazně odlišnými obsahy hlavních rostlinných živin.

#### METODIKA

Vzhledem k tomu, že jde o zcela novou problematiku, nejsou k dispozici ověřené, eventuelně dohodnuté pracovní postupy. Ty, které byly použity, vycházejí z požadavku, aby postupy pro získání dalších informací byly pokud možno jednoduché, použitelné při běžných průzkumech stavu půd. Opírají se o výsledky předběžných testů. Nemohou však ještě představovat ustálenou definitivní metodiku.

### Původ vzorků

Byly odebrány vzorky z 8 lokalit. Při výběru šlo především o to, aby se zřetelně lišily co do bohatosti půdotvorného substrátu. Přehled lokalit je v tabulce 1.

### Odběr vzorků

Pro stanovení podílu půdního skeletu na celkových zásobách živin v půdním profilu je nutno brát v úvahu i živiny obsažené v organickém horizontu. Vzorek organického horizontu se odebíral ze dvou plošek 25 x 25 cm do rozhraní s povrchovou vrstvou minerální půdy. Podobně se z definované plochy získal vzorek organominerálního horizontu, tj. povrchové vrstvy minerální půdy na rozhraní s nadložním humusem, obohacené humusovými látkami.

Vzorky minerální půdy se odebíraly podle objemu, přičemž objem odebraného vzorku se zjišťoval podle množství jemného písku, kterým se vyplnil prostor odebraného vzorku, nebo podle objemu polyuretanové pěny (PAGE-DUMROESE et al. 1999). Objem odebraného vzorku se pohyboval mezi 4 – 6,5 dm<sup>3</sup>. Odběry zahrnuly 3 vrstvy minerální půdy po 20 cm do hloubky 60 cm.

### Úprava vzorků

Vzorky nadložního humusu i organominerálního horizontu byly po vysušení zváženy a běžným způsobem připraveny k analýze. Ze vzorků minerální půdy byly před dalším zpracováním odstraněny kořeny. Po vysušení byl celý vzorek zvážen. Jemnozeme byla oddělena obvyklým postupem. Prosetím byla oddělena část skeletu větší než 30 mm a zvážena. S tímto materiálem se již dále nepracovalo. I hrubší frakce sice obsahují určitá množství sledovaných prvků, podle předběžných testů jde však o množství poměrně nízká. V půdách s vysokým podílem hrubší frakce (nad 30 mm) může však její vyloučení určité zkruslení způsobit.

Frakce 2 – 30 mm byla dále prosetím rozdělena na zrnitostní podíl 2 – 10 mm a 10 – 30 mm a zvážena. Rozdělení do ještě úžeji vymezených tříd by bylo žádoucí, zvýšila by se tím však významně celková pracnost. Z objemu vzorku a jeho celkové hmotnosti byla stanovena objemová hmotnost.

Podíl 2 – 10 a 10 – 30 mm se ještě na sítech mechanicky zbavil části povrchových nečistot, které by mohly ovlivnit výsledky analýz a byl promyt destilovanou vodou až do vymizení zákalu. Při vlastní přípravě vzorku skeletu k analýze je nutno dbát na to, aby podíl jednotlivých částic uvnitř frakce odpovídal přirozenému složení, tj. aby například

ve frakci 10 – 30 mm nepřevažovaly neúměrně částice > 20 mm, pokud to neodpovídá přirozenému uložení.

### Analýzy

Vzorky organického a organominerálního horizontu byly zpracovány podle obvyklého postupu, v akreditované laboratoři Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., ve Štrnadlech. Vzorky minerální půdy analyzovaly laboratoře Výzkumného ústavu rostlinné výroby v Praze Ruzyni.

V prvním případě, mimo aktivní a výměnné kyselosti, byly stanoveny celkové obsahy C<sub>org</sub>, N<sub>tot</sub>, dále P, K, Ca, Mg po rozkladu organického materiálu lučavkou královskou. V materiálu z organominerálního horizontu byl stanoven i podíl P, K, Ca, Mg, vyluhovatelný extrakčním činidlem Mehlich III.

Ve vzorcích jemnozeme i obou frakcí skeletu byla stanovena aktivní i výměnná kyselost, koncentrace uhlíku Tjurinovou metodou a dusíku kjehldahlizací a koncentrace P, K, Ca, Mg v extraktu činidlem Mehlich III vytřepáním.

V celkových bilancích se živiny uvolněné z humusu lučavkou královskou považují za přístupné, protože jejich mineralizace z opadu probíhá poměrně rychle, řádově nejvýše v rocích. Množství živin, bazických kationů uvolněných extrakcí činidlem Mehlich III, je velmi blízké výměnným bázím, které se běžně za přístupné považují (ZÁHORNÁSKÁ 2002).

Použitý způsob extrakce třepáním nemusí být u skeletu nevhodnější. Je možné, že by se perkolací získaly poněkud odchýlné – možná vyšší – výsledky. Tento postup je však technicky a časově podstatně náročnější než třepání, a proto pro běžnou práci těžko použitelný.

## VÝSLEDKY

Půdní reakce a koncentrace uhlíku, dusíku a přístupných živin ve vzorcích jemnozeme i obou frakcí skeletu jsou uvedeny v tab. 2. – 9.

Těžko lze očekávat, že omezený soubor výsledků získaný na 8 sondách bude reprezentativní pro území ČR. Je však žádoucí posoudit, do jaké míry a co ze získaných výsledků zapadá do celkového obrazu o chemismu lesních půd na našem území. Podkladem pro toto posouzení je souhrn výsledků analýz získaných průzkumem v období 1993 – 1999 v hercynské oblasti našeho státu (MATERNA 2002). Jde o výsledky analýz půdních vzorků ze 2 800 míst v porostech hlavních přírodních lesních oblastí, o ploše přes 1 700 tisíc hektarů.

Tab. 1.

Přehled lokalit, odkud pocházejí zpracované vzorky  
Localities of soil profiles studied

Přírodní lesní oblast/ Natural forest region	Lokalita/Locality	Porost/Forest stand	Podloží/Bed rock	SLT*
01. Krušné hory	Pernink	sm 10	žula/granit	7 S
01. Krušné hory	Božidarský Špičák	sm 10	čedič/basalt	6 Y
01. Krušné hory	Klínovec	sm 10	svor/mica schist	8 S
10. Středočeská pahorkatina	Stříbrná Skalice	hb 9. db, bor 1	amfibolit/amphibolite	1 C
10. Středočeská pahorkatina	Babice	sm 10, bor	žula/granite	2 O
12. Předhoří Šumavy	Svatá Máří	sm 10	syenitický porfyr/porfyr	6 B
17. Polabí	Klánovice	bor 8. sm, br, vej 2	permokarbonický pískovec/sandstone	1 M
12. Předhoří Šumavy	Štítkov	sm 10. md	rula/gneiss	6 B

Forest stand: Tree species (sm – spruce; hb – hornbeam; db – oak; bor – pine; br – birch; vej – white pine; md – larch)

\* SLT - Skupina lesních typů (PLIVA 2000)/Group of forest types (PLIVA 2000)

Tab. 2. – 9.

Výsledky půdních analýz: organického horizontu (Oh) a organominerálního horizontu (Ah) po extrakci lučavkou královskou; minerální půdy ve vyluhu extrakčním činidlem Mehlich III

Results of soil analyses: organic (Oh), organic- mineral layer (Ah) Aqua Regia extraction, mineral soil extracted with Mehlich III solution

Tab. 2.

Pernink

Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	
Oh	5,17	6,26	1 092	912,3	18 092	8 762	2,03	45,0	
Ah	2,98	3,57	622,4	878	1 014	1 031	0,81	16,0	
minerální půda/mineral soil									
Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	Hloubka/Depth
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	cm
< 2 mm	3,87	4,38	15,8	27,5	64	21,8	0,064	1,22	0 – 20
-10 mm	4,04	4,56	22	10	32	21,3	0,02	0,36	
-30 mm			9,7	4,6	29	19,7			
< 2 mm	3,86	4,48	29,8	18,9	148	26,4	0,056	1,01	20 – 40
-10 mm	4,06	4,74	30,8	7,4	95	21,1	0,011	0,22	
-30 mm			12,3	4,0	35	19,7			
< 2 mm	3,96	4,52	44,5	16,9	67	25,0	0,039	0,87	40 – 60
-10 mm	4,13	4,80	32,4	6,9	83	20,5	0,011	0,23	
-30 mm			16,9	3,8	38	19,5			

Tab. 3.

Božidarský Špičák

Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	
Oh	3,68	4,11	1 847	925	1 216	833	2,56	39,6	
Ah	3,58	4,20	1 826	1 522	1 269	3 040	1,36	18,0	
minerální půda/mineral soil									
Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	Hloubka/Depth
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	cm
< 2 mm	3,90	4,40	8,24	65,4	200	34,2	0,434	7,35	0 – 20
-10 mm	3,91	4,55	36,6	40,7	137	27,9	0,224	3,50	
-30 mm			12,8	4,7	28	15,5			
< 2 mm	3,75	4,31	5,26	75,7	204	38,9	0,591	8,34	20 – 40
-10 mm	3,74	4,42	21,0	30,9	71	28,1	0,143	2,30	
-30 mm			35,0	12,3	61	27,9			
< 2 mm	3,83	4,32	12,8	61,1	135	31,9	0,428	6,45	40 – 60
-10 mm	3,94	4,56	52,4	38	120	26,4	0,188	2,61	
-30 mm			92,7	11,7	58	20,0			

Tab. 4.

Klínovec

Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	
Oh	2,95	3,71	1 126	1 197	1 586	901	1,69	35,1	
Ah	2,90	3,69	684	954	640	671	0,87	18,5	
minerální půda/mineral soil									
Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	Hloubka/Depth
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	cm
< 2 mm	3,99	4,50	8,24	11,0	31	16,3	0,084	2,74	0 – 20
-10 mm	4,23	4,86	16,3	5,9	25	19,0	0,017	0,49	
-30 mm			7,24	3,7	41	20,6			
< 2 mm	4,16	4,69	40,3	9,0	28	15,7	0,039	1,01	20 – 40
-10 mm	4,33	4,91	44,0	8,4	73	18,7	0,014	0,34	
-30 mm			5,75	3,3	36	21,7			
< 2 mm	4,14	4,65	31,9	10,4	167	17,5	0,039	1,13	40 – 60
-10 mm	4,35	4,81	46,1	7,1	26	18,3	0,014	0,37	
-30 mm			31,9	6,1	56	19,3			

Tab. 5.  
Stříbrná Skalice

Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	
Oh	5,03	5,64	1 415	1 364	18 779	2 276	2,0	42,0	
Ah	5,10	5,71	773	2 348	5 598	6 276	0,27	4,5	
minerální půda/mineral soil									
Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	Hloubka/Depth
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	cm
< 2 mm	5,28	6,30	15,8	109	1 733	294	0,095	1,54	0 – 20
-10 mm	5,23	6,54	10,2	77,4	1 358	242	0,062	1,07	
-30 mm			9,75	54,0	1 174	208			
< 2 mm	5,17	6,34	14,8	72,6	1 487	260	0,076	1,02	20 – 40
-10 mm	5,15	6,60	9,24	47,3	1 002	179	0,036	0,52	
-30 mm			3,78	13,7	249	55,5			
< 2 mm	5,14	6,36	16,9	52,4	1 410	242	0,050	0,86	40 – 60
-10 mm	5,06	6,45	10,8	34,6	920	166	0,025	0,46	
-30 mm			6,74	12,3	395	81,4			

Tab. 6.  
Babice

Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	
Oh	3,41	4,05	936	863	4 419	800	1,72	39,1	
Ah	3,06	3,82	572	805	948	977	0,78	15,5	
minerální půda/mineral soil									
Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	Hloubka/Depth
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	cm
< 2 mm	3,27	3,97	5,26	70,3	116	40,1	0,092	1,95	0 – 20
-10 mm	3,40	4,15	1,85	70,5	97	40,7	0,034	0,60	
-30 mm			3,30	48,7	117	32,8			
< 2 mm	3,42	4,22	8,74	67,6	115	41,9	0,048	0,96	20 – 40
-10 mm	3,52	4,54	4,27	36,3	136	35,8	0,017	0,32	
-30 mm			4,27	18,8	47	30,3			
< 2 mm	3,45	4,05	8,74	50,3	101	40,1	0,042	0,78	40 – 60
-10 mm	3,59	4,26	5,75	28,5	71	34,3	0,017	0,30	
-30 mm			5,75	25,7	61	31,4			

Tab. 7.  
Svatá Máří

Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	
Oh	3,54	3,98	1 094	865	5 135	1 010	2,06	46,2	
Ah	3,00	3,66	555	595	1 490	736	1,19	26,5	
minerální půda/mineral soil									
Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	Hloubka/Depth
				mg.kg <sup>-1</sup>				%	cm
< 2 mm	3,40	4,20	1,85	65,3	124	51,2	0,137	2,90	0 – 20
-10 mm	3,62	4,50	2,81	28,2	58	41,4	0,034	0,65	
-30 mm			1,85	5,5	32	27,8			
< 2 mm	3,60	3,91	4,76	61,8	123	72,4	0,098	1,94	20 – 40
-10 mm	3,91	4,17	5,26	18,0	49	42,5	0,017	0,35	
-30 mm			2,30	8,1	42	33,5			
< 2 mm	3,45	3,32	4,27	104	237	65,8	0,106	2,42	40 – 60
-10 mm	3,71	4,22	3,78	24,8	39	38,5	0,017	0,35	
-30 mm			2,81	8,9	29	30,4			

Tab. 8.  
Klánovice

Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	
mg.kg <sup>-1</sup>									
%									
Oh	3,15	3,79	686	582	2 541	602	1,43	34,4	
Ah	3,24	3,85	214	387	393	380	0,31	6,84	
minerální půda/mineral soil									
Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	Hloubka/Depth
mg.kg <sup>-1</sup>									cm
%									
< 2 mm	3,96	4,63	3,30	6,0	44	20,8	0,017	0,55	0 – 20
-10 mm	4,15	4,98	2,33	6,3	42	16,3	0,008	0,24	
-30 mm			1,85	3,4	22	17,0			
< 2 mm	3,87	4,46	3,30	5,3	37	19,4	0,017	0,63	20 – 40
-10 mm	3,83	4,05	2,33	4,1	22	16,1	0,008	0,26	
-30 mm			1,85	3,4	28	17,2			
< 2 mm	3,88	4,70	3,78	8,8	82	20,6	0,020	0,73	40 – 60
-10 mm	3,78	4,54	3,30	12,4	45	20,9	0,014	0,46	
-30 mm			1,85	4,1	37	18,8			

Tab. 9.  
Štítkov

Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	
mg.kg <sup>-1</sup>									
%									
Oh	3,61	4,45	944	2 159	4 043	3 156	1,42	30,2	
Ah	3,41	4,00	571	2 924	1 672	5 946	0,73	14,7	
minerální půda/mineral soil									
Vzorek/Sample	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub>	Hloubka/Depth
mg.kg <sup>-1</sup>									cm
%									
< 2 mm	3,45	4,38	3,78	148	250	68,6	0,255	4,67	0 – 20
-10 mm	3,65	4,62	6,25	52,8	120	54,3	0,064	1,11	
-30 mm			1,85	16,5	23	31,0			
< 2 mm	3,66	4,34	2,33	123	106	40,2	0,123	2,28	20 – 40
-10 mm	3,84	4,57	3,30	49,1	51	40,7	0,045	0,74	
-30 mm			1,85	12,3	27	29,9			
< 2 mm	3,84	4,33	4,76	91,7	132	22,9	0,070	1,31	40 – 60
-10 mm	4,06	4,55	5,75	30,7	33	28,1	0,020	0,40	
-30 mm			6,75	9,0	33	27,4			

Tab. 10.

Půdní průzkum v hercynské části České republiky 1994 – 1999. Rozložení koncentrací hlavních rostlinných živin v minerální půdě v extraktu Mehlich III. Jehličnaté porosty

Soil survey in the Hercynian part of the Czech Republic. Distribution of plant nutrients in the mineral soil, extracted with Mehlich III. Conifer stands

Percentil	pHKCl	pHH <sub>2</sub> O	N	P	K	Ca	Mg
			%	mg.kg <sup>-1</sup>			
5	2,9	3,3	0,03	1	11	35	8
10	3,0	3,5	0,04	1	15	51	10
25	3,2	3,7	0,07	2	27	79	15
50	3,4	3,9	0,10	6	39	124	24
75	3,6	4,1	0,15	11	54	206	38
90	3,7	4,3	0,24	27	73	330	62
95	3,9	4,5	0,32	48	88	499	84
Průměr/Average			0,12	11	44	197	32

Opakované průzkumy ve vybraných lesních oblastech sice prokázaly poměrně rychlý postup změn v koncentracích některých prvků, zejména soustavný pokles koncentrace vápníku, méně výrazný i u dalších prvků; to však význam tohoto základu srovnání a hodnocení neovlivňuje. Uvedeny jsou jen výsledky analýz minerální půdy v jehličnatých porostech, s nimiž jsou srovnány výsledky ze 7 lokalit s jehličnatými porosty. Pokud jde o výsledky analýz humusu a analýz minerální půdy pod listnatým porostem (Stříbrná Skalice), vycházíme z obdobných výsledků získaných v listnatých porostech.

#### Lokalita Pernink (tab. 2)

Leží v prostoru silného znečištění ovzduší v minulosti, nadále je však zatížena zvýšenou depozicí sloučenin síry a dusíku.

Teprve výsledky analýz organického horizontu odhalily, že jde o lokalitu v minulosti vápněnou. 18 g Ca v jednom kilogramu humusu nemůže být přirozeným obsahem. Medián výsledků ze širokého průzkumu v jehličnatých porostech odpovídá 2,6 g Ca.kg<sup>-1</sup>. Stejně je tomu i v případě hořčíku, kdy 8,8 g Mg.kg<sup>-1</sup> je o řád vyšší než je medián širokého souboru (0,63 g). Pokud jde o minerální půdu, tam se vliv dolomitického vápence neprojevil. Koncentrace vápníku v jemnozemi je spíše podprůměrná. Také koncentrace hořčíku se pohybují kolem mediánu širokého souboru. Oba prvky jsou významně zastoupeny v obou frakcích skeletu. V materiálu z nehlubší vrstvy je koncentrace Ca v jemnější frakci skeletu dokonce vyšší než v jemnozemi. Poměrně malé rozdíly jsou v obsazích hořčíku mezi jemnozemi a hrubším materiálem.

Koncentrace draslíku v jemnozemi jsou celkově nízké a ve skeletu ještě výrazně klesají. Pozoruhodně vysoké jsou ve skeletu obsahy fosforu, dokonce převyšují obsahy v jemnozemi. Vzhledem k obecné situaci jsou podle zmíněného průzkumu vzorky z této lokality zřetelně méně kyselé pravděpodobně vlivem vápnění. Rozdíly v hodnotě pH mezi jednotlivými frakcemi jsou nepatrné.

#### Lokalita Božídarský Špičák (tab. 3)

Lokalita spadá do oblasti dříve ovlivněné silným znečištěním ovzduší.

Jde o mimořádný půdní profil na čediči. Mezi balvany a velkými úlomky horniny je jen málo zeminy, zbarvení odráží vysoký obsah uhlíku a dusíku patrně proto, že se organický materiál (rostlinný opad) rozhodujícím způsobem podílel na jejím vytváření. Cca 70 % půdního profilu tvoří nejhrubší materiál (balvany), který nemohl být odběrem vzorků postižen. Obdobnou situaci jsme zjistili i na jiných lokalitách s čedičovými podložím v Krušných horách a v Českém Středoohoří. Podobný profil na čediči popisují i HÖLSCHER et al. (2002).

S přihlédnutím k tomu, že půdotvornou horninou je čedič, je pH podloží nízké, což potvrzuje to, že hornina měla na vytváření materiálu mezi balvany omezený vliv a dostatečně nebránila ani acidifikaci. Přesto jsou koncentrace Ca a Mg v jemnozemi přibližně průměrné a rovněž obsahy těchto prvků ve skeletu jsou poměrně vysoké, relativně vyšší u hořčíku než u vápníku. Opět je nápadné velmi výrazné zvýšení koncentrace fosforu v obou frakcích skeletu ve srovnání s jemnozemi.

#### Lokalita Klínovec (tab. 4)

Leží v oblasti středního zatížení znečištěným ovzduším.

Celkově je obsah fosforu v jemnozemi i ve skeletu ve srovnání s výsledky širokého průzkumu nadprůměrný a jemnější frakce skeletu (2 – 10 mm) je nejbohatší. Obsah draslíku je podprůměrný, jemnozemi je tímto prvkem velmi chudá, ještě chudší jsou obě frakce skeletu.

Také koncentrace vápníku v jemnozemi jsou ve srovnání s výsledky širšího průzkumu podprůměrné, mimo nehlubší vrstvy; v části vzorků jsou koncentrace prvku ve skeletu zřetelně vyšší než v jemnozemi.

Koncentrace hořčíku je v celém profilu podprůměrná, zřetelně vyšší je však koncentrace hořčíku v obou frakcích skeletu.

#### Lokalita Stříbrná Skalice (tab. 5)

V tomto případě se vliv bohatého podloží – amfibolitu – na složení zeminy v půdním profilu výrazně projevuje jak na půdní reakci, tak na zásobách přístupných živin. Kyselost jemnozeme je nižší než v širokém souboru listnatých porostů (medián pH KCl minerální půdy 3,6). To platí i o obou frakcích skeletu. Koncentrace fosforu, draslíku a vápníku i hořčíku v jemnozemi jsou ve srovnání se širokým souborem nadprůměrné. Koncentrace sledovaných živin v obou frakcích skeletu jsou, s jedinou výjimkou u hořčíku, nižší až výrazně nižší než v jemnozemi.

#### Lokalita Babice (tab. 6)

Půda je v celém profilu velmi silně kyselá, reakce skeletu se od jemnozeme odlišuje jen velmi málo, kyselost je však nižší. Jemnozemi je v půdním profilu fosforem zřetelně chudší než je široký průměr. Skelet je chudší až výrazně chudší. Obsahy draslíku jsou nadprůměrné, stejně tak koncentrace prvku ve skeletu jsou poměrně vysoké. Obsah vápníku je podprůměrný, ve skeletu se vyskytují i vyšší koncentrace prvku než v jemnozemi. Hořčík je v jemnozemi v koncentracích výrazně převyšujících koncentrace v širším souboru. Také ve skeletu jsou jeho obsahy značně vysoké, rozdíly mezi oběma frakcemi skeletu jsou poměrně malé.

#### Lokalita Svatá Máří (tab. 7)

Půda je velmi silně kyselá, jemnozemi je podprůměrně zásobená fosforem, ve skeletu jsou množství fosforu celkově srovnatelná s jemnozemi. Obsahy draslíku jsou nadprůměrné, skelet je však výrazně chudší. Koncentrace vápníku v jemnozemi se pohybují kolem širokého průměru, nehlubší vrstva obsahuje vápníku zřetelně více. Skelet je v tomto případě méně významným zdrojem. Hořčíkem je půda poměrně bohatá a koncentrace tohoto prvku jak v jemnozemi, tak ve skeletu jsou spíše nadprůměrné.

#### Lokalita Klánovice (tab. 8)

Půdní profil se vyvinul na podloží velmi chudého pískovce. Půda je velmi silně kyselá a velmi chudá na všechny sledované živiny. Koncentrace fosforu jsou podprůměrné, ve skeletu jsou ještě nižší. Obsahy draslíku a vápníku jsou ve srovnání se širokým průměrem extrémně nízké, draslík se pohybuje pod úrovní 5 % kvantilu, a to ve všech sledovaných frakcích. Také hladina vápníku je zcela neuspokojivá, pod úrovní 5 – 25 % kvantilu. Příznivější je situace u hořčíku, jehož koncentrace leží v rozpětí mezi 25% kvantilem a mediánem širokého souboru; poměrně vysoké jsou i obsahy ve skeletu. Velmi nízká je hladina dusíku ve všech vrstvách i zrnitostních frakcích.

#### Lokalita Štítkov (tab. 9)

Půda je velmi silně kyselá, pH skeletu je nevýznamně, ale soustavně vyšší než pH jemnozeme. Obsahy fosforu jsou v jemnozemi podprůměrné; totéž platí o skeletu, avšak obsah P ve frakci 2 – 10 mm vyšší než v jemnozemi. Hladina draslíku je vysoká, nadprůměrné jsou částečně i koncentrace v jemnější frakci skeletu. Vápník se pohybuje spíše kolem širokého průměru, skelet je výrazně chudší. Koncentrace hořčíku v jemnozemi v povrchové vrstvě minerální půdy jsou vysoce nadprůměrné, s postupující půdní hloubkou klesají až pod hodnoty širokého průměru. Obdobně jsou rozloženy i koncentrace ve skeletu.

## DISKUSE

Srovnání výsledků analýz ze sledovaných půdních profilů ukazuje, že vcelku zapadají do rámce zjištěného v širokém průzkumu půd ČR. Celkem dobře jsou vymezeny i oba krajní případy.

Souhrn výsledků analýz je v tabulce 11. Uvedeny jsou i průměrné hodnoty pH. To sice může být vzhledem k charakteru pH poněkud zkreslující, protože však převážná většina jednotlivých hodnot leží v poměrně úzkém rozpětí, zkreslení není významné. Proto byly ze souboru vypuštěny údaje o pH z lokality Stříbrná Skalice na amfibolitu, které se od ostatních svou reakcí výrazně liší.

To, že hrubší materiál je poněkud méně kyselý než jemnozemi, je pochopitelné, jestliže vyjdeme z předpokladu, že se ve skeletu výrazně uplatňuje vliv materiálu uložený v drobných trhlkách na jeho povrchu. Ty jsou více chráněny před kyselým spadem a jeho vlivem. Pochopitelný je i výrazný pokles celkového dusíku a organického uhlíku ve skeletu ve srovnání s jemnozemi. Jde o sloučeniny těchto prvků, které se do skeletu dostávají z odumřelých jemných rostlinných kořínků a houbových hyf. To je zdroj poměrně omezený.

Koncentrace dalších prvků ve skeletu v poměru k jejich koncentraci v jemnozemi se dosti odlišují. V žádném případě však nejde o zanedbatelné hodnoty. Zejména překvapivě vysoký může být obsah fosforu v hrubších půdních částicích.

## Celkové zásoby

V tabulkách 12 – 19 jsou shrnuty přepočty analýz na celkové zásoby uhlíku, dusíku a přístupných živin (P, K, Ca, Mg) v půdních profilech na 1 ha do hloubky 60 cm, dále podíl obou frakcí skeletu (2 - 10, 10 - 30 mm) na těchto zásobách, a to jednak v minerální půdě, jednak v celém profilu včetně organického a v organominerálním horizontu. Předpokládá se, že živiny v obou těchto horizontech jsou dřevinám průběžně k dispozici. Údaje v tabulkách neuvádějí zásoby v částicích skeletu větších než 30 mm.

Každý ze sledovaných půdních profilů je jedinečný a výsledků je zatím příliš málo na to, aby byly možné nějaké obecnější závěry. Přesto je možné konstatovat, že např. ve studiích zabývajících se koloběhem uhlíku, kde se roční vstup prvku do půdy v lesních ekosystémech

Tab. 11.

Půdní reakce a průměrné obsahy celkového uhlíku, dusíku a koncentrace přístupných živin P, K, Ca, Mg podle frakcí Soil reaction and average content of  $C_{org}$ ,  $N_{tot}$  and concentrations of available nutrients P, K, Ca, Mg according to fractions

Frakce/Fraction	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	N	C	P	K	Ca	Mg
			%		mg.kg <sup>-1</sup>			
< 2 mm	3,7	4,3	0,126	2,28	12,5	55,5	297,5	63,7
2 - 10 mm	3,9	4,5	0,044	0,76	15,8	28,2	196,0	49,9
- 30 mm					11,7	12,4	112,4	35,7
Vyjádřeno v procentech koncentrace v jemnozemi/ In % of the concentration in fine earth								
2 - 10 mm			35	33	127	51	66	78
- 30 mm					94	22	38	56

Tab. 12. – 19.

Zásoby uhlíku, dusíku a dalších živin, v přístupné formě v půdním profilu do hloubky 60 cm Stock of carbon, nitrogen and other nutrients in available form in the soil profile until 60 cm depth

Tab. 12.  
Pernink

Horizont/Horizon	Hmotnost/Amount	C	N	P	K	Ca	Mg
	t.ha <sup>-1</sup>	kg.ha <sup>-1</sup>					
Oh	150	67	3,0	159	137	2 714	1 314
Ah	53	8	0,4	33	47	54	55
minerální půda/mineral soil							
Vzorek/Sample	Hmotnost/Amount	C	N	P	K	Ca	Mg
	t.ha <sup>-1</sup>	kg.ha <sup>-1</sup>					
< 2 mm	4 162	43,5	2,24	120,9	88,8	401	101,7
2 – 30 mm	3 096	7,0	0,37	80,5	28,4	199,1	64,3
celkem 0 – 30 mm	7 258	50,5	2,61	201,4	117,2	600,1	166,0
podíl skeletu na zásobách přístupných živin v minerální půdě (%) share of skeleton on the stock of available nutrients in mineral soil (%)							
		C	N	P	K	Ca	Mg
		42,7	13,9	40,0	24,2	33,1	38,7
podíl skeletu na celkových zásobách přístupných živin (%) share of skeleton on the stock of total amount of available nutrients (%)							
		5,6	6,1	20,5	9,4	5,9	4,2

Tab. 13.  
Božidarský Špičák

Horizont/Horizon	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg
Oh	91	36	2,3	168	184	111	76
Ah	76	14	1,0	139	116	96	231
minerální půda/mineral soil							
Vzorek/Sample	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>		kg.ha <sup>-1</sup>			
		C	N	P	K	Ca	Mg
< 2 mm	821	58,1	3,89	8,34	53,9	133,2	28,0
2 – 30 mm	148	2,95	0,18	6,97	4,4	13,8	3,8
celkem 0 – 30 mm	969	61,05	4,07	15,31	58,3	147,0	31,8
podíl skeletu na zásobách živin v minerální půdě (%) share of skeleton on the stock of available nutrients in mineral soil (%)							
	15,3	C	N	P	K	Ca	Mg
		4,8	4,4	45,6	7,5	9,4	11,9
podíl skeletu na celkových zásobách živin (%) share of skeleton on the stock of total amount of available nutrients (%)							
		2,7	2,4	2,2	1,2	3,9	1,1

Tab. 14.  
Klínovec

Horizont/Horizon	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg
Oh	100	35	1,7	113	120	159	90
Ah	363	67	3,2	248	346	332	244
minerální půda/mineral soil							
Vzorek/Sample	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>		kg.ha <sup>-1</sup>			
		C	N	P	K	Ca	Mg
Sa							
< 2 mm	3 543	54,1	1,81	100,7	35,7	283,5	58,5
2 – 30 mm	1 797	5,1	0,19	56,8	11,6	76,1	34,4
celkem 0 – 30 mm	5 340	59,2	2,00	157,5	47,3	359,6	92,9
podíl skeletu na zásobách přístupných živin v minerální půdě (%) share of skeleton on the stock of available nutrients in mineral soil (%)							
	33,6	C	N	P	K	Ca	Mg
		8,6	9,5	36,1	24,5	21,1	37,0
podíl skeletu na celkových zásobách přístupných živin (%) share of skeleton on the stock of total amount of available nutrients (%)							
		3,2	2,8	10,0	2,3	8,8	8,0

Tab. 15  
Stříbrná Skalice

Horizont/Horizon	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg
Oh	27	11	0,5	38	37	507	61
Ah	98	4	0,3	76	230	549	615
minerální půda/mineral soil							
Vzorek/Sample	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	t.ha <sup>-1</sup>		kg.ha <sup>-1</sup>			
		C	N	P	K	Ca	Mg
Sa							
< 2 mm	4 526	49	3,22	61,6	304,7	6 859,7	1 060,0
2 – 30 mm	1 473	7,8	0,47	12,1	66,0	1 425,9	257,0
celkem 0 – 30 mm	5 999	56,8	3,69	73,7	370,7	8 285,6	1 317,0
podíl skeletu na zásobách přístupných živin v minerální půdě (%) share of skeleton on the stock of available nutrients in mineral soil (%)							
	24,5	C	N	P	K	Ca	Mg
		13,7	12,7	16,4	17,8	17,2	19,5
podíl skeletu na celkových zásobách přístupných živin v půdě (%) share of skeleton on the stock of total amount of available nutrients (%)							
		10,9	10,5	6,4	10,3	15,3	12,9



Tab. 16.  
Babice

Horizont/Horizon	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg
Oh	104	41	1,8	97	90	460	83
Ah	230	37	1,6	132	185	218	224

minerální půda/mineral soil

Vzorek/Sample	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg
< 2 mm	4 467	54,1	2,67	34,0	277,7	493,1	181,8
2 – 30 mm	3 102	9,9	0,55	14,0	117,2	285,9	109,9
celkem 0 – 30 mm	7 569	64,1	3,22	48,0	394,9	779,0	291,7

podíl skeletu na zásobách přístupných živin v minerální půdě (%)  
share of skeleton on the stock of available nutrients in mineral soil (%)

	C	N	P	K	Ca	Mg
	41,0	15,5	17,1	29,2	29,7	36,7

podíl skeletu na celkových zásobách přístupných živin v půdě (%)  
share of skeleton on the stock of total amount of available nutrients (%)

	C	N	P	K	Ca	Mg
	7,0	8,3	5,1	17,5	19,6	18,4

Tab. 17.  
Svatá Máří

Vzorek/Sample	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg
Oh	63	29	1,6	69	54	324	69
Ah	35	9	0,4	19	21	52	26

minerální půda/mineral soil

Vzorek/Sample	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg
< 2 mm	4 512	113,3	5,32	14,9	339,7	701,8	274,8
2 – 30 mm	2 943	9,4	1,79	11,0	55,9	131,9	113,5
celkem 0 – 30 mm	7 455	122,7	7,11	25,9	395,6	833,7	388,3

podíl skeletu na zásobách přístupných živin v minerální půdě (%)  
share of skeleton on the amount of available nutrients in mineral soil (%)

	C	N	P	K	Ca	Mg
	39,5	7,7	25,2	42,5	14,1	15,8

podíl skeletu na celkových zásobách přístupných živin v půdě (%)  
share of skeleton on the stock of total amount of available nutrients (%)

	C	N	P	K	Ca	Mg
	5,9	19,6	9,7	11,9	10,9	23,5

Tab. 18.  
Klánovice

Vzorek/Sample	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg
Oh	33	11	0,5	23	19	84	20
Ah	302	21	0,9	65	117	119	115

minerální půda/mineral soil

Vzorek/Sample	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg
< 2 mm	2 506	15,5	0,44	8,7	17,2	141,6	50,2
2 – 30 mm	709	0,8	0,03	1,6	3,8	22,3	12,7
celkem 0 – 30 mm	3 215	16,3	0,47	10,3	21,0	163,9	62,9

podíl skeletu na zásobách přístupných živin v minerální půdě (%)  
share of skeleton on the stock of available nutrients in mineral soil (%)

	C	N	P	K	Ca	Mg
	4,9	6,4	15,5	18,1	13,6	20,2

podíl skeletu na celkových zásobách přístupných živin v půdě (%)  
share of skeleton on the stock of total amount of available nutrients (%)

	C	N	P	K	Ca	Mg
	1,6	1,6	1,6	2,4	6,1	6,4

Tab. 19.  
Štítkov

Vzorek/Sample	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg
Oh	124	37	1,8	117	268	501	393
Ah	58	9	0,4	39	170	97	345

minerální půda/mineral soil

Vzorek/Sample	Hmotnost/Amount t.ha <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg
< 2 mm	4 763	131,8	7,15	18,5	568,5	810,9	207,7
2 – 30 mm	1 497	8,0	0,45	7,3	55,5	86,7	61,4
celkem 0 – 30 mm	6 260	139,8	7,60	25,8	624,0	897,6	269,1

podíl skeletu na zásobách přístupných živin v minerální půdě (%)  
share of skeleton on the stock of available nutrients in mineral soil (%)

	C	N	P	K	Ca	Mg
	26,5	5,7	5,9	28,6	8,9	9,6

podíl skeletu na celkových zásobách přístupných živin v půdě (%)  
share of skeleton on the stock of total amount of available nutrients (%)

	C	N	P	K	Ca	Mg
	4,3	4,6	4,0	5,2	5,8	6,1

v našich podmínkách pohybuje většinou mezi 1 – 3 t C.ha<sup>-1</sup> nelze skelet v bilancích pominout, protože v tomto materiálu jsou obsažena až jeho tunová množství.

Ještě výraznější je to v případě dusíku. Průměrná roční depozice sloučenin tohoto prvku se v České republice v současnosti pohybuje kolem 10 kg N.ha<sup>-1</sup>; naproti tomu stojí zásoby dusíku ve skeletu řádově ve výši 10<sup>2</sup> kg na 1 hektar. Jestliže se tedy má posuzovat riziko eutrofizace lesních ekosystémů dusíkem a jeho význam v koloběhu látek v lesních porostech, je nutno zohlednit i množství, která jsou obsažena v hrubších složkách minerální půdy.

Základní otázkou je, do jaké míry jsou získané výsledky reprezentativní a do jaké míry mohou vymezovat rámeček, ve kterém se koncentra-

ce sledovaných prvků v našich podmínkách vyskytují a jak vymezují i celkový rozsah, ve kterém se skelet podílí na zásobách živin v prokořeněné vrstvě půdy. I když se podařilo dobře postihnout výrazné rozdíly – na jedné straně velmi chudou půdu (Klánovice), na druhé straně velmi bohatý půdní profil na amfibolitu (Stříbrná Skalice) – je nepravděpodobné, že by šlo o krajní body možného celkového rozpětí. Vzhledem k tomu, že jsou pro srovnání koncentrací živin ve skeletu v podstatě k dispozici jen výsledky z průzkumu ve Schwarzwaldu (HEISNER et al. 2004), je i širší srovnání omezené. V tomto německém průzkumu byly zjištěny v některých případech ve skeletu i značně vyšší zásoby výměnných kationů než v jemnozemi. I v této, poměrně uzavřené a plošně omezené oblasti, je variabilita v podílu skeletu na zásobách velmi značná. Získané výsledky jsou však dostatečně orientací umožňující rozhodnout o tom, kde a za jakých podmínek je nutno ke skeletu jako ke zdroji živin a eventuálně dalších prvků, které vegetaci ovlivňují, přihlížet a kde je možno podíl látek v hrubších částech půdy zanedbat.

Porovnáme-li výsledky z těchto vybraných 8 sond s výsledky širokého průzkumu v hercynské oblasti ČR, pak spadají spíše do rozsahu kolem mediánu celého souboru, s výjimkou obou krajních případů (Klánovice, Stříbrná Skalice). To platí pro jemnozemi. V organickém horizontu jsou ve dvou případech pozoruhodně vysoké hodnoty, v jednom (Perinck) jde zřejmě o vliv dolomitického vápence, ve druhém (Štítkov) není příčina velmi vysokých až extrémních hodnot draslíku, vápníku a hořčíku v nadložním humusu i v organominerálním horizontu jasná. To pak samozřejmě ovlivní kalkulaci podílu skeletu na celkových zásobách přístupných živin v půdních profilech.

Tabulka 20 podává souhrnný přehled podílu skeletu na zásobách živin ve sledovaných půdních profilech.

Použijeme-li lučavku královskou k extrakci materiálu z organominerálního horizontu (Ah), pak rozkladem půdních minerálů jsou uvolněny i živiny, které nemůžeme označit jako přístupné. Pokud je k výluhu použito činidlo Mehlich III, zůstává pravděpodobně část živin v organickém podílu, které jsou poměrně rychle dřevinám k dispozici, mimo extrakt.

I omezený soubor výsledků prokazuje, že jsou výrazné rozdíly v podílu jednotlivých prvků ve skeletu na celkových zásobách přístupných živin v půdě. Přitom nejde v žádném případě o vysloveně kamenité

Tab. 20.

Podíl skeletu na zásobách uhlíku, dusíku a přístupných živin v procentech

Share of soil skeleton on the stock of C<sub>org</sub>, N<sub>tot</sub> and available nutrients (%)

Prvek/Element	A	B	C
C	5 – 16	1 – 11	
N	4 – 25	2 – 20	
P	15 – 45	2 – 20	4 – 21
K	7 – 30	1 – 17	2 – 23
Ca	9 – 37	4 – 20	5 – 21
Mg	12 – 39	1 – 24	1 – 28

Vysvětlivky:

A - podíl skeletu na zásobách živin v minerální půdě; B - podíl skeletu na zásobách živin v celém půdním profilu, včetně organického a organominerálního horizontu (Ah extrakce lučavkou královskou); C - podíl skeletu na zásobách živin v celém půdním profilu (Ah extrakce Mehlich III)

Captions:

A - share of skeleton on the stock of nutrients in mineral soil; B - share of skeleton on the stock of nutrients in the whole soil profile incl. the organic and organic-mineral (Ah soil horizon extracted with Aqua Regia); C - share of skeleton on the stock of nutrients in the whole soil profile (Ah extracted with Mehlich III)

půdy. Ve sledovaných půdních profilech jemnozeme převažuje nad hrubšími frakcemi do 30 mm.

Vysoká koncentrace fosforu ve skeletu může souviset s tím, že mykorhizní houby získávají prvek přímo z půdních minerálů (WALLANDER et al. 1997; HAGERBERG et al. 2003). Rozkladem jejich hyf v trhlinkách na povrchu částic skeletu může prvek přejít do extrahovatelné formy. Posledně citovaná práce také dokládá, že zatímco z apatitu mohou dřeviny prostřednictvím mykorhizy fosfor využívat, biotit jako zdroj draslíku touto cestou má pro výživu velmi omezený význam. To by odpovídalo i tomu, že přístupný (výměnný) draslík je ve skeletu k dispozici jen v omezené míře.

Studie, ve které byl sledován příjem řady prvků přímým kontaktem rostlinných kořenů s povrchem částic čediče, prokázala jednak význam tohoto procesu, jednak i podstatně vyšší příjem hořčíku než vápníku tímto procesem. Jde o pokus se zemědělskými plodinami (MEHERUNA, TASUKU 2005). Tím spíše lze považovat tento proces za významný pod lesními dřevinami, které jsou, pokud jde o získávání živin, agresivnější. U obou těchto živin je třeba o úloze jejich obsahu ve skeletu uvažovat i v souvislosti s určitými rozpory mezi úrovní jejich výživy a zásobami v půdě. Výrazné je to u vápníku, jehož zásoby v půdě v jemnozemi ve výměnné formě (i Mehlich III) mívají až dramaticky klesají na velmi nízké hodnoty, aniž by výsledky listových analýz poruchy výživy signalizovaly. To jsou naše poznatky z řady oblastí, kde se opakoval průzkum stavu lesních půd a výživy lesních dřevin – Orlické hory, Českomoravská vrchovina, Krušné hory, Český les (FIALA et al. 2009). Odpovídají tomu i poznatky ze zahraničí (HUNTINGTON et al. 2000; FENN et al. 2006; YANAI et al. 2005).

Živiny ve skeletu jsou více chráněny před vymýváním kyselou depozicí a mohou tak do určité míry vyrovnávat úbytek prvků v jemnozemi. Je to pravděpodobnější vysvětlení existujícího rozporu než předpoklad, že se vápník do kořenového prostoru dřevin dostává difúzí z hlubších půdních vrstev (GRIGAL, OHMAN 2005). Také pro některé náhlé změny ve výživě hořčíkem by mohly být jeho poměrně vysoké koncentrace ve skeletu určitým vysvětlením.

Je pochopitelná otázka, do jaké míry jsou vztahy mezi koncentrací sledovaných prvků v jemnozemi a v jednotlivých frakcích skeletu. Hodnota korelačních koeficientů, zjištěných na našem materiálu, je uvedena v tabulce 21.

**Tab. 21.**

Vztah mezi koncentrací prvků v jemnozemi a ve dvou frakcích půdního skeletu. Hodnota korelačního koeficientu  $r$   
Relation between the concentration of elements in fine earth and the concentration in two soil skeleton fractions

Prvek/Element	frakce 2 – 10 mm	frakce 10 – 30 mm
P	0,63	0,20
K	0,79 *	0,48
Ca	0,40	0,08
Mg	0,90*	0,78*

\* závislost významná / significant correlation

Vzájemný vztah u hořčíku je tedy poměrně těsný, významný je i u draslíku. Pochopitelně významnější je mezi frakcí < 2 mm a 2 – 10 mm.

Dosavadní přístup, ve kterém se předpokládalo, že výsledky analýzy jemnozeme podávají obraz o tom, co má dřevina k dispozici a v jakém množství, není tedy nadále udržitelný. Nejen proto, že zanedbává účast dalších zrnitostních frakcí, ale i proto, že dřeviny nejsou pouze

pasivními příjemci, ale aktivně si potřebné živiny přisvojují, a to i ze skeletu, jak prokázal velmi sofistikovaný pokus založený ke sledování významu hrubších půdních frakcí pro výživu semenáčků smrku (KOELE, HILDEBRAND 2008).

Studium skeletu jako zdroje živin v lesních ekosystémech má velmi krátkou historii, a proto i malý rozsah výsledků i poznatků. Chybí i propracované metodické postupy. Je však snaha propracovat je tak, aby je bylo možno začlenit do běžného půdního průzkumu (KERN et al. 2005). Jako naléhavé se jeví řešit způsob extrakce. Perkolace je pro rutinní práci příliš náročná. Extrakce vytřepáním půdního vzorku extrakčním činidlem není naproti tomu vhodná pro vzorky s podílem hrubších frakcí skeletu > 30 mm. Počet, rozpětí a horní hranice zrnitostních frakcí jsou další významnou otázkou, jejíž řešení je aktuální.

Závěrem je třeba ještě konstatovat, že uvedené výsledky úlohu skeletu jako zdroje přístupných živin podceňují tím, že se zvažují jen částice < 30 mm. I hrubší částice však mohou přístupné živiny poskytnout, velmi pravděpodobně však v relativně menším rozsahu. Analýza tohoto podílu živin však vyžaduje podstatně náročnější pracovní postupy.

## ZÁVĚR

Hrubší půdní frakce (2 – 10 a 10 – 30 mm) mohou obsahovat pozoruhodná množství rostlinných živin, fosforu, draslíku, vápníku i hořčíku. Obsahují i určitá množství uhlíku a dusíku. Nejvyšší koncentrace ve skeletu, ve srovnání s jemnozemi (< 2 mm), byly zjištěny u fosforu, nejnižší se vyskytovaly u draslíku. Byly zhruba poloviční ve srovnání s jemnozemi ve frakci 2 – 10 mm a pětinové ve frakci 10 – 30 mm. Koncentrace vápníku a hořčíku byly v obou frakcích skeletu vyšší. Dosahovaly 66 a 38 % (Ca) a 78 a 56 % (Mg) koncentrace v < 2 mm.

Nejnižší jsou ve skeletu obsahy dusíku a uhlíku.

Celkové zásoby v minerální půdě do hloubky 60 cm v přepočtu na 1 ha jsou pochopitelně ovlivněny zastoupením jednotlivých frakcí skeletu v půdním profilu. Prokazuje se však, že se mohou na celkové zásobě podílet významně. Pokud posuzujeme půdní profil jako celek, tedy i se zásobou živin v organickém a v podhumusovém horizontu, pak podíl skeletu na celkové zásobě pochopitelně klesá, nadále však může být významný.

Jestliže ve studiích, které se zabývají vztahy mezi zásobami živin v půdě a výživou lesních dřevin, bilancí živin (i uhlíku) v půdě z jakéhokoliv hlediska, změnami v koncentracích živin v půdě apod., pomíne podíl skeletu, může to vést ke značným chybám a zkresleným závěrům.

Je však třeba zdůraznit, že toto jsou závěry vyplývající z výsledků získaných na omezeném materiálu s přihlédnutím k informacím ze zahraničí, které jsou však zatím stejně omezené.

## Poděkování:

Tato studie získala podporu Ministerstva zemědělství ČR jako zakázka malého rozsahu.

## LITERATURA

- BEETS P. M., KIMBERLEY M. O., GARRETT L. G. 2011. Harvest residue management and fertilisation effects on soil carbon and nitrogen in a 15-year-old *Pinus radiata* plantation forest. *Forest Ecology and Management*, 262: 339-347.
- BREEMEN N. VAN, FINLAY R., LUNDSTRÖM U., JONGMANS A.G., FIEDLER R., OLSSON M. 2000. Mycorrhizal weathering: a true case of mineral plant nutrition. *Biogeochemistry*, 49: 53-67.
- CORTI G., UGOLINI F., AGNELLI A., CERTINI G., CUNIGLIO R. 2002. The soil skeleton, a forgotten pool of carbon and nitrogen in soil. *European Journal of Soil Science*, 53: 283-298.
- FENN M., HUNTINGTON T. G., MCLAUGHLIN S., EAGAR C., GOMEZ A., COOK R. B., BURGHARDT W., KULHAVÝ J., LOMSKÝ B. 2006. Status of soil acidification in North America. *Journal of Forest Science*, 52 (Special Issue): 3-13.
- FIALA P., MATERNA J., REININGER D., SAMEK T. 2009. Stav povrchových půdních vrstev a výživa smrkových porostů v přírodní lesní oblasti Český les. *Zprávy lesnického výzkumu*, 54: 2-10.
- GRIGAL D. F., OHMAN J. R. 2005. Calcium and forest systems: Diffusion from deep sources. *Soil Science*, 170: 129-136.
- HAGERBERG D., THELIN G., WALLANDER H. 2003. The production of ectomycorrhizal mycelium in forests: Relation between forest nutrient status and local mineral sources. *Plant and Soil*, 252: 279-290.
- HEISNER U., RABER B., HILDEBRAND E. E. 2004. The importance of the soil skeleton for plant- available nutrients in sites in the Southern Black Forest, Germany. *European Journal of Forest Research*, 123: 249-257.
- HÖLSCHER D., HERTEL D., KOENIES H. 2002. Soil nutrient supply and biomass production in a mixed forest on a skeleton-rich soil and an adjacent beech forest. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165: 668-674.
- HUNTINGTON T. G., HOOPER R. P., JOHNSON C. E., AULENBACH B. T., CAPPELLATO R., BLUM A. E. 2000. Calcium depletion in a south-eastern United States forest ecosystem. *Soil Science Society of America Journal*, 654: 1845-1858.
- JONGMANS A. G., BREEMEN N. VAN, LUNDSTRÖM U., HEES P. A. W. VAN, FINLAY R. D., SRINIVASAN M., UNESTAM T., GIESLER R., MELKERUD P. A., OLSSON M. 1997. Rock-eating fungi. *Nature*, 389: 682-683.
- KERN M., RABER B., HILDEBRAND E. E. 2005. Verfahren zur Ermittlung des Nährelement-potenzials des Gesamtbodens unter besonderer Berücksichtigung des Bodenskelets und deren Integration in die Bodenzustandserhebung im Wald (BEZ.II). Forschungs-projekt 04HS024 Inst. Bodenkunde, Waldernährungskunde. Universität Freiburg: 29 s.
- KOELE N., HILDEBRAND E. E. 2008. The ecological significance of the coarse soil fraction for *Picea abies* (L.) KARST. seedling nutrition. *Plant and Soil*, 312: 163-174.
- KOHLER M., WILPERT K. V., HILDEBRAND E. E. 2000. The soil skeleton as a source for the short term supply of „base cations“ in forest soils of the Black Forest (Germany). *Water, Air and Soil Pollution*, 122: 37-48.
- MATERNA J. 2002. Souhrnné výsledky průzkumu stavu povrchových půdních vrstev lesních půd v období 1993 – 1999. Brno, UKZÚZ: 80 s.
- MEHERUNA A., TASUKU A. 2005. Effect of fine root contact on plant-induced weathering of basalt. *Soil Science & Plant Nutrition*, 51: 861-871.
- PAGE-DUMROESE D. S., JURGENSEN M. F., BROWN R. E., MROZ G. D. 1999. Comparison of methods for determining bulk densities of rocky forest soils. *Soil Science Society of American Journal*, 63: 379-383.
- PLÍVA K. 2000. Trvale udržitelné obhospodařování lesů podle souboru lesních typů. Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů: 34 s.
- UGOLINI C., CORTI G., AGNELLI A., PICCARDI, F. 1996. Mineralogical, physical and chemical properties of rock fragments in soil. *Soil Science*, 161: 521-541.
- UGOLINI C., CORTI G., DUFÉY J. E., AGNELLI A., BERTINI G. 2001. Exchangeable Ca, Mg and K of rock fragments and fine earth from sandstone and siltstone derived soils and their availability to grass. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164: 309-315.
- WALLANDER H., WICKMAN T., JACKS G. 1997. Apatite as a P source in mycorrhizal and nonmycorrhizal *Pinus sylvestris* seedlings. *Plant and Soil*, 196: 123-131.
- YANAI R. D., BLUM J. D., HAMBURG S. P., ARTHUR M. A., NEZAT C. A., SICCAMA T. G. 2005. New insights into calcium depletion in northeastern forests. *Journal of Forestry*, 103: 14-20.
- ZÁHORNADSKÁ J. 2002. Srovnávací studie analytických metodik rozborů lesních půd VÚLHM a ÚKZÚZ. Strnady, VÚLHM: 17 s.

## SOIL SKELETON - SOURCE OF AVAILABLE NUTRIENTS IN FOREST ECOSYSTEMS

### SUMMARY

The concentrations of total carbon, nitrogen as well as of phosphorus, potassium, calcium and magnesium in Mehlich III extract in three fractions of soil samples were analysed. The aim of the study was to establish the share of elements in coarser soil particles – soil skeleton 2 – 10 and 10 – 30 mm on the total amounts of elements. The soil samples originated from soil profiles on bedrocks were very different as for their amounts of nutrients – from very poor sandstone to rich basalt or amphibolite.

The results demonstrated that the concentrations of mentioned elements in coarser particles can be important and in some cases higher than the concentrations in the fine earth, especially of phosphorus. The soil skeleton contained also remarkable amounts of carbon and nitrogen.

The share of total carbon and nitrogen and of available P, K, Ca, Mg (Mehlich III extract) in the soil layer till 60 cm of depth in the skeleton particles < 30 mm can be very important. For example in a soil profile on granite bedrock the amount of P in the extract from skeleton reached 45% of the amount extracted from the fine earth (< 2 mm) if we consider the mineral soil only. If the nutrients in the organic layer are also calculated, the share of soil skeleton decreases, but the amount of nutrients bound in it remains still important.

As none of the studied soil profiles was rich on skeleton particles (2 – 30 mm), in skeleton-enriched soils the importance of coarser soil particles will increase, especially if we consider the greater particles (> 30 mm).

Therefore it can be concluded that it is not possible to neglect the amount of nutrients bound in the coarser soil fraction in studies concerning the cycles of nutrients in soils and in forest ecosystems.

Recenzováno

---

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Jan Materna  
Prosná 305, 190 11 Praha - Běchovice, Česká republika  
tel.: 606 110 596; e-mail: jan.materna@quick.cz