

## ZMĚNY CHEMISMU POVRCHOVÝCH HORIZONTŮ PŮDY V MLADÉM SMRKOVÉM POROSTU NA OBJEKTU ŽELIVKA

### Changes in chemistry of surface soils horizons in young spruce stand at Želivka

#### Abstract

This contribution presents the long-term series of elements fallout and their impact on soil development at the FGMRI plot Želivka. Since 1973 fallout of elements with bulk precipitation on the reforested clearcut has been observed in the open space, and in the young spruce stand since 1996. Water running off the forest floor has been caught and analysed by pressureless lysimeters. Soil and forest floor have been periodically sampled from individual genetic horizons. Supply of individual elements in soil profile has been assessed, as well as their dynamics in time together with their role in nourishment of forest stand.

**Klíčová slova:** mladý smrkový porost, chemismus povrchových horizontů půd  
**Key words:** young spruce stand, chemistry of surface soils horizons

### CÍL A PROBLÉM

Cílem prováděného sledování vývoje chemismu povrchových horizontů půdy na zalesněné holé seči mělo být stanovení vlivu vývoje obnoveného smrkového porostu na změny v chemismu půdy a v zásobě přístupných forem hlavních biogenních prvků. Současně byl vyhodnocen vliv přimíšených průkopnických dřevin na chemické složení materiálu pokravného humusu a povrchových půdních horizontů. Na seči byl zjišťován spad látek se srážkami a chemismus půdní vody. Výzkumné práce započaly v první polovině 70. let minulého století v období nárůstu imisí kyselých látek do lesních ekosystémů. V průběhu let se toto zatížení projevilo poklesem půdního pH a zásoby přístupných kationtů.

Po podstatném snížení depozice kyselých látek do lesních ekosystémů (protonů, aniontů silných kyselin a potenciálně kyselých látek – jako  $\text{NH}_4^+$ ) v polovině 90. let minulého století jsme očekávali ukončení ochuzování lesních půd o přístupné živiny a snižování nasycení jejich sorpčního komplexu bazickými kationty. Snížení znečištění ovzduší sloučeninami síry, sloučeninami dusíku, chloridy, fluoridy a organickými látkami, přicházejícími především se srážkami nebo v plynné aerosolové formě do korun stromů, bylo také doprovázeno zásadním snížením spadu tuhých částic (prachu a popela), což se projevilo v podkorunových srážkách i v půdní vodě snižováním koncentrací Ca, Mg, Al, Fe.

Od poloviny 90. let poklesl roční spad protonů pod  $0,1 \text{ kmol ha}^{-1}$  ( $0,0950 \text{ kmol H}^+ \text{ ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  v letech 1996 – 2004) a také se snížil jejich

tok v půdě mezi roky 1994 až 2004 (pod horizontem pokravného humusu zachyceno s odtékající vodou v průměru  $0,0768 \text{ kmol H}^+ \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) a přesto se snížila zásoba bazických kationtů v půdním sorpčním komplexu.

Vedle nitrifikace amonných iontů se na acidifikaci půdy a snižování jejího nasycení bázemi stále více uplatňují vnitřní okyselovací procesy působené rozkladem odumřelých částí porostů, rozkladem humusových látek a především látkovou výměnou mezi kořeny porostu a půdním prostředím.

Do budoucna zůstává vážnou příčinou ohrožení stability lesních ekosystémů s půdami na silikátových substrátech zvýšený vstup sloučenin dusíku a omezený spad kationtů, především Ca a Mg.

### METODIKA

#### Popis plochy

Hodnocená výzkumná plocha leží v mladém porostu smrku na povodí Pekelského potoka ve výzkumném objektu Želivka na mírném jihovýchodním svahu v nadmořské výšce 440 až 445 m. Půdním typem je zde kambizem luvická, která se vyvinula na hluboké zvětralině biotitické pararuly s překryvem spraše.

Porost smrku založili pracovníci výzkumné stanice VÚLHM v Opocně v roce 1973 na seči po smýceném smrkovém porostu v zimě 1971/1972. V kultuře smrku se do roku 1979 vyvinula paseční vegetace s převahou trav a řídce se uchytila náletová bříza, jáva a osika. V roce

Tab. 1.

Průměrné roční depozice látek v jednotlivých obdobích na ploše Želivka - holá seč v  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$   
Average annual deposition of substances in particular periods on plot Želivka – clearcut in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$

Období/ Period	H <sup>+</sup>	Cox	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N	Cl	F <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Al	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	P
1974 - 1979	0,5832		6,09	18,99	9,93	8,15	0,212	39,38	2,86	21,63		0,172	1,81	1,87	0,237	1,72	0,587	0,38
1980 - 1983	0,8058		5,01	21,34	8,6	12,64	0,236	34,24	1,37	31,92		0,111	3,05	2,57	0,156	1,75	0,633	0,704
1984 - 1988	0,355		9,45	33,77	14,8	19,21	0,395	40,2	1,53	23,94		0,231	6,01	3,27	0,261	2,33	0,643	0,962
1989 - 1993	0,2078	23,05	8,32	29,41	12,96	16,79	0,261	30,33	0,627	13,8		0,191	5,16	2,71	0,267	3,31	0,307	1,561
1994 - 1998	0,0628		4,94	24,27	6,72	21,2	0,337	33,79	0,169	15,16	0,015	0,081	3,42	3,18	0,2	3,43	0,25	0,446
1996 - 1998	0,0717	24,61	3,92	22,24	8,97	19,43	0,312	23,87	0,173	16,02	0,025	0,096	2,99	3,06	0,218	2,2	0,237	0,467
1999 - 2003	0,0718	32,43	4,53	21,02	8,19	9,48	0,161	13,32	0,107	8,81	0,021	0,12	4,37	1,2	0,353	2,16	0,316	0,495
2004	0,037	24,58	1,71	23,6	6,65	7,11	0,215	11,62	0,072	7,76	0,013	0,046	7,2	0,841	0,659	2,55	0,411	0,378

Tab. 2. Celková depozice látek se srážkovou vodou a jejich transport z humusového horizontu O s odtékající vodou v  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  a  $\text{kmol}(\pm)\cdot\text{ha}^{-1}$  v období let 1996 až 2004  
Total deposition of substance with bulk precipitation from forest floor O with running-off water in  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$  and  $\text{kmol}(\pm)\cdot\text{ha}^{-1}$  in the period 1996 - 2004

	Cox	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Al	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	P
Spad se srážkami na volné ploše/ Bulk precipitation on open space	kg	0,6111	36,12	195,47	74,51	112,8	2,518	149,81	1,126	99,87	0,193	0,934	38,02	16,02	3,078	19,95	2,702	4,254
Spad v porostu smrku/ Throughfall in spruce stand	kg	484,9	0,8554	324,62	129,53	88,52	3,727	446,21	3,522	100,96	0,165	2,352	1,78	27,52	25,94	20,06	1,871	6,617
Ztráta s gravitační vodou z horizontu O/ Loss with gravitational water from horizon O	kg	560,4	0,8554	5,236	44,87	2,497	0,196	9,29	0,392	5,038	0,138	0,126	4,554	2,263	0,944	0,872	1,678	4,127
Rozdíl mezi spadem v porostu smrku a volné ploše/ Difference between throughfall in spruce stand and open space	kg	224,3	0,2443	129,15	55,02	-24,28	1,209	296,4	2,396	1,09	-0,028	1,419	139,98	11,5	22,862	0,11	-0,831	2,363
Rozdíl mezi spadem v porostu smrku a odtokem/ Difference between throughfall in spruce stand and runoff	kg	-75,5	0,2230	258,43	84,66	41,74	2,172	291,86	-3,02	31,27	-0,027	-2,278	126,53	13,53	21,751	8,68	-0,193	2,49
	kmol	0,2230	2,534	2,083		-0,685	0,063	6,171	0,267	0,059		0,076	3,581	0,946	0,832	0,005		0,377
	kmol		1,857	4,168		1,177	0,114	6,076	-0,336	1,56		-0,123	3,237	1,113	0,792			

1988 byla již tyčkovina plně zapojena a potlačila bylinné patro, pomístně se vytvářelo mechové patro. Na tvorbě opadu se významně podílely přimíšené náletové listnáče. V zimě roku 1993/1994 byla v porostu provedena řadová prořezávka, při které byly odstraněny i vtroušené listnáče. V dalších letech se v tyčovině na povrchu půdy vyvíjelo jen nesouvislé mechové patro.

### Popis prací

První odběry vzorků půdy ze sond byly na ploše provedeny v roce 1972 a další v několikaletých odstupech. Plošné odběry povrchových půdních horizontů se uskutečnily na deseti místech při prvním odběru v roce 1976 z hloubky 0 - 5 cm a 5 - 20 cm. Při opakovaném odběru v roce 1979 byl též odebírán pokrývný humus (vrstva H). V roce 1988 a 1994 bylo již možné odlišit vrstvy L (L/F) a H (F/H) a provést oddělený odběr vzorků. V roce 2004 byl však materiál vrstev F a H při odběru smíchán do společného vzorku.

Odběry vody pro laboratorní analýzy z otevřených koryt započaly na seči v roce 1973. Půdní gravitační voda z lyzimetrů byla analyzována již v roce 1972. Od tohoto roku probíhá sledování chemismu vody z lyzimetrů umístěných pod pokrývným humusem na nezalesněné seči a na zalesněné seči. Podkorunové srážky v mladém porostu smrku jsou analyzovány od roku 1996.

### Metodika laboratorních rozborů

Rozbory vzorků vody sumarizované v čtrnáctidenních intervalech provádí zkušební laboratoř VÚLHM v Jilovišti-Strnadlech podle metodik mezinárodního monitoringu stavu lesů ICP Forests. V půdních vzorcích byl do roku 2003 zjišťován celkový organický uhlík jodometrickou titrací po mineralizaci kyselinou chromsírovou a celkový N kjeldahlizací. Od roku 2003 jsou oba prvky stanovovány na přístroji CNS Vario-max. Pro zjišťování celkového obsahu dalších prvků v materiálu humusových horizontů byl analyzován výluh popela koncentrovanou HCl, v roce 2004 výluh vzorků lučavkou královskou. Do roku 1988 byl pro stanovení zásoby přístupných živin v půdě používán výluh 1% kyselinou citronovou, od tohoto roku (1994, 2004) stanovovány výměnné kationty ve výluhu 1 M NH<sub>4</sub>Cl. Měření je prováděno na spektrofotometru Varian.

## VÝSLEDKY

### Depozice a tok prvků

Vývoj depozice látek se srážkovou vodou zachycovanou do otevřeného koryta na seči je uveden v tabulce 1. Průměrné roční hodnoty ukazují nárůst spadu imisních látek od roku 1974 do poloviny 80. let minulého století. Zřetelný pokles depozice SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, sloučenin dusíku a protonů (H<sup>+</sup>) byl zjištěn v druhé polovině 90. let. Od konce století se nadále snižoval spad SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> a také Ca, Mg, Na, Al.

V mladém porostu smrku byl zjišťován obsah prvků v podkorunových srážkách od roku 1996. Koruny smrku ovlivňovaly zvýšení depozice protonů, síranů (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), fluoridů (F<sup>-</sup>), sloučenin dusíku (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), fosforu, železa, hliníku a velmi výrazně draslíku a manganu (tab. 2). Tyto dva prvky jsou však především vymývány z biomasy korun (z jehličí) a jejich navýšení není způsobeno jejich intercepce z ovzduší. Srážky pod korunami přinášely naopak nižší množství chloridů, sodíku a zinku než srážky na seči (na volné ploše). Množství sledovaných látek přenašených vodou zachycovanou beztlakovými lyzimetry umístěnými pod pokrývným humusem na nezalesněné části plochy 3 (seče) jsou uvedena v tabulce 3. Po zapojení porostu (1989) bylo na zalesněné seči zachycováno méně gravitační vody než na zabuřené

Tab. 3.

Tok iontů s gravitační vodou zachycovanou lyzimetry pod horizontem pokryvného humusu O na seči s bylinnou vegetací a na zalesněné seči v mladém porostu smrku v kg.ha<sup>-1</sup>

Ions stream with gravitational water caught by lysimeters below horizon of forest floor O at the clearcut with herbal vegetation and on reforested clearcut in young spruce stand in kg.ha<sup>-1</sup>

Období/Period	H <sup>+</sup>	Cox	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	mm
seč/clearcut 1973-2003	4,363	6392	153,1	462	223,2		9,48	1374,2		726,4	39,46	665,3	123,6	55,22	54,93	9,09	13204
1973-1988	3,296	3750	112,2	370,2	170,7		4,93	909,9		555,4	28,30	474,5	80,0	27,88	23,29	6,38	7156
1989-2003	1,068	1482	40,9	91,8	52,5	158,6	4,55	464,3	30,22	171,0	11,16	190,8	43,6	27,34	31,64	2,71	6048
1999-2003	0,367	311	7,6	39,4	15,6	20,2	0,76	53,2	3,26	21,3	2,23	43,1	5,7	4,88	5,48	0,36	1227
zalesněná seč/reforested clearcut 1973-2003	5,821	5839	173,4	471,2	241,1		10,17	1401,9		714,8	37,29	645,7	122,0	43,84	54,21	10,19	12855
1973-1988	4,315	4556	101,1	338,0	154,8		4,88	929,9		576,6	26,12	483,2	80,5	23,66	24,45	6,94	7160
1989-2003	1,506	1283	72,3	133,2	86,2	145,0	5,29	472	21,80	138,1	11,28	162,5	41,5	20,18	29,76	3,25	5695
1999-2003	0,308	286	14,7	43,4	21,2	15,5	0,55	40,8	2,79	18,4	1,89	30,0	4,9	1,74	4,07	0,39	1105
1994-2004	0,842	812	40,3	80,4	49,4	62,3	2,31	210,2	10,96	75,9	7,55	68,0	23	0,8	18,07	1,71	2556

seči, ale byl zde vyšší odtok sloučenin dusíku (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> a Zn. V posledním sledovaném období (1999 - 2003) se transport rozpuštěných látek s vodou odtékající z humusového horizontu v porostu snížil a vyšší než na seči zůstal jen u sloučenin N a Zn. Přesto lze říci, že množství prvků, či iontů vynášených z humusového horizontu do minerální půdy na celé hodnocené období 1973 - 2003 bylo na obou srovnávaných plochách poměrně vyrovnané, zejména u kationtů, především u Na, kde dosahoval rozdíl 7,7 g na ha.

Srovnávání chemismu srážkové a půdní vody v mladém smrkovém porostu mezi roky 1996 a 203 (tab. 4) ukázalo, že horizont pokryvného humusu působil na snížení koncentrací většiny sledovaných látek, pouze u Cox, Al, Fe a Cu narůstaly.

Rovněž celkový odtok z humusového horizontu s gravitační vodou byl u většiny iontů nižší než jejich vstup s vodou podkorunových srážek, výjimkou byl také odtok Al, Fe a Cox. Během osmi let mezi roky 1996 a 2004 dosahoval rozdíl mezi spadem a odtokem u N 84,7, u SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 291,9, u Ca 31,3, u Mg 13,5, u K 126,5 a u P 2,49 kg na ha.

#### Vývoj chemismu půdy a změny zásoby živin

Jak je patrné z údajů v tabulce 5 a 6, od 70. let minulého století se snižují hodnoty aktivního pH (H<sub>2</sub>O) a výměnného pH (KCl) povrchových horizontů minerální půdy na zalesněné seči. V humusovém horizontu O od roku 1979 ke znatelnému poklesu obou pH nedošlo. Zvýšení celkového poměru uhlíku a dusíku (C : N) v roce 2004 mohlo být ovlivněno použitím nové analytické metody s použitím přístroje CNS. V pokryvném humusu se na jeho zvýšení může podílet i smísení

materiálu vrstvy H a vrstvy F. Obsah přístupných bazických kationtů (ve vyluhu 1% kyseliny citronové) se v období mezi roky 1976 - 1988 snižoval. Mezi roky 1994 a 2004 klesal také obsah výměnných kationtů Ca, Mg, K a Na v horizontu 5 až 20 cm a v pokryvném humusu se zvyšoval. Obsah přístupného P v půdě do roku 1988 klesal, v dalším období narůstal. Stupeň nasycení sorpčního komplexu půdy V se mezi roky 1994 a 2005 v pokryvném humusu zvýšil a v povrchových horizontech minerální půdy poklesl. To odpovídá změnám obsahu výměnných bazických kationtů a výměnných kovů Al, Fe, Mn.

Celková zásoba prvků v jednotlivých vrstvách pokryvného humusu je uvedena v tabulce 7 pro roky 1979, 1988 a 2004. Je z ní zřejmé, že největší celková zásoba (kg.ha<sup>-1</sup>) K, Mg, Na, Al, Fe, Mn, Zn, Cu a Pb v pokryvném humusu byla stanovena již v roce 1979. V roce 1988 dosáhla maxima celková zásoba Ca a nejnižších hodnot zásoba K, Mg, Al, Fe.

Vývoj celkové zásoby C a N a přístupných či výměnných forem Ca, K, Mg, Na a P od roku 1972 v půdních horizontech 0 - 5 a 5 - 20 cm je uveden v tabulce 8. Zlom v růstu zásoby humusových látek a také celkové N v těchto půdních horizontech nastal mezi roky 1988 a 1994. Zásoba přístupných bazických kationtů Ca, K, Mg, Na od roku 1972 do roku 1988 klesala. V zásobě výměnných kationtů je po roce 1994 patrný především zřetelný pokles u Ca. Zásoba přístupného P se po roce 1994 naopak zvyšovala.

Vývoj chemismu půdy v celém profilu až do hloubky 100 cm je vidět z výsledků rozboru vzorků uvedených v tabulce 9 odebíraných z kopané sondy, která leží v dolní části plochy. Pokles obsahu bazických kationtů mezi roky 1988 až 2000 se týkal především horní

Tab. 4.

Průměrné koncentrace rozpuštěných látek v podkorunových srážkách a v gravitační vodě zachycované pod horizontem pokryvného humusu O v mg.l<sup>-1</sup>, mladý porost smrku

Average concentrations of dissolved substances in throughfall and gravitational water caught under horizon of forest floor O in mg.l<sup>-1</sup>, young spruce stands

Odběrové místo	Období/Period	H <sup>+</sup>	Cox	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Al	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	P
podkorunové srážky/ Sampling place throughfall	1996 - 1998	0,0255	12,39	2,050	8,44	3,500	3,13	0,132	18,01	0,14	3,55	0,007	0,107	5,19	0,951	0,843	0,677	0,07	0,253
	1999 - 2003	0,0325	19,01	2,870	13,47	5,270	2,75	0,125	12,79	0,107	3,43	0,005	0,061	6,58	0,915	0,842	0,665	0,059	0,225
	2004	0,0258	21,99	2,060	9,73	3,800	3,62	0,137	12,51	0,073	2,53	0,002	0,040	7,00	0,882	1,240	0,743	0,052	0,054
půdní voda pod horizontem O/soil water below horizon O	1996 - 1998	0,0214	19,04	1,840	1,48	1,760	2,24	0,069	6,00	0,263	2,28	0,007	0,195	1,53	0,688	0,174	0,511	0,079	0,076
	1999 - 2003	0,0279	25,87	1,330	3,93	1,920	1,40	0,050	3,70	0,253	1,66	0,006	0,171	2,62	0,443	0,157	0,368	0,035	0,271
	2004	0,0307	17,86	0,241	2,34	0,715	1,46	0,070	3,59	0,228	1,16	0,004	0,135	1,85	0,135	0,126	0,437	0,046	0,100

Tab. 5.

Vývoj chemických vlastností povrchových horizontů půdy na ploše Želivka - zalesněná holá seč, obsah přístupných kationtů stanoven ve výluhu 1% kyseliny citronové mg.kg<sup>-1</sup> (ppm)

Development of chemical properties of surface soil horizons at plot Želivka – reforested clearcut, content of available cations was determined in leach of 1% citrid acid - mg.kg<sup>-1</sup> (ppm)

Horizont/ Horizon	Rok odběru/ Sampling year	pH/ H <sub>2</sub> O	pH/ KCl	Cox %	Nt %	C/N	Ca	K	Mg	Na	P	Al	Fe	Mn	Zn
H/A	1979	4,4	3,61	14	0,89	15,7	1084	443	152	20,2	112	1009	1039	907	23,9
	1988	4,15	3,45	12,3	0,672	18,4	688	231	94,6	20,2	66	993	720	543	13,8
0 - 5 cm	1976	4,26	4,14	2,42	0,122	19,9	196	53,3	50,5		12,5		1713		
0 - 5 cm	1979	4,16	3,34	3,24	0,174	18,6	222	112	49,1	12,6	26,5	1077	1102	77,5	4,2
	1988	3,91	3,31	2,53	0,16	15,8	134	53,2	35,2	9,4	16,5	945	759	40,7	3,7
5 - 20 cm	1976	4,41	4,36	1,32	0,066	20	113	41	47,7		10				
5 - 25 cm	1979	4,34	3,59	0,96	0,071	13,6	86,2	49,8	19,8	9,9	11,3	971	649	248	1,8
5 - 20 cm	1988	4,29	3,7	0,54	0,061	8,85	70	36,2	17,4	9,2	8,6	710	334	145	2,13

Tab. 6.

Zalesněná holá seč. Obsah výměnných kationtů stanoven ve výluhu 1 M NH<sub>4</sub>Cl - mg.kg<sup>-1</sup> (ppm)

Reforested clearcut. Content of exchangeable cations determined in leach of 1 M NH<sub>4</sub>Cl - mg.kg<sup>-1</sup> (ppm)

Horizont/ Horizon	Rok odběru/ Sampling year	pH/ H <sub>2</sub> O	pH/ KCl	Cox %	Nt %	C/N	Ca	K	Mg	Na	P	Al	Fe	Mn	Zn	T	V %
H/A	1994	4,39	3,66	14,45	0,827	17,5	1473	312	126	15,5	43,1	313	19	431	17	153	60,5
F/H	2004	4,78	3,81	23,28	0,948	24,6	2834	680	288	12,2	45,9	83,6	10,2	839	13,9	242,7	75,4
0 - 5 cm	1994	4,13	3,46	5,38	0,496	10,9	366	167	55,2	8,9	35,2	544	32,5	96,9	6,8	95,9	28,6
	2004	4,05	3,2	6,27	0,314	20	303	173	57,9	5,9	43,8	624	103	99,4	4,9	106,5	23,1
5 - 20 cm	1994	4,21	3,63	2,12	0,136	15,6	101	85,9	21,7	8,1	25,2	551	4,2	40,9	3,4	73,7	12,7
	2004	4,15	3,42	2,18	0,145	15	61,7	80,1	19,5	5,4	40,7	593	14,8	72,8	1,9	87,3	6,8

Tab. 7.

Vývoj celkové zásoby prvků ve vrstvách pokryvného humusu. V roce 1979 a 1988 stanoveny prvky ve výluhu popela koncentrovanou HCl, v roce 2004 v lučavce královské - kg.ha<sup>-1</sup>

Development of total supply of elements in forest floor layers. In 1979 and 1988 elements were determined in ash leach by concentrated HCl, in 2004 in aqua regia - kg.ha<sup>-1</sup>

Rok odběru/Sampling year	Vrstva/Layer	Cox	Nt	Ca	K	Mg	Na	P	Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	S
1979	L			57	68	16	1,5	14,02	33	34	32	2,3	0,16	0,08	0,17	0,5	15,3
	F/H	10 912	769	330	203	156	15,6	80	851	885	206	11,4	1,43	1,54	2,11	11,32	69,6
	celkem/totally			387	271	172	17,1	94	884	919	238	13,7	1,59	1,62	2,28	11,82	84,9
1988	L + F		330	186	48	28	2,5	28,8	95	109	46	2,6	0,21			1,1	
	H	5 882	302	339	102	59	5,4	67,2	195	222	100	5,6	0,45			2,34	
	celkem/totally		632	525	150	87	7,9	96	289	331	146	8,2	0,66			3,44	
2004	F + H	9 882	391	212	155	128	2,6	35,7	848	837	88	7,4	0,34	0,85	0,58	2,21	41,9

části půdního profilu až do hloubky 30 cm. V půdní spodině nasycení sorpčního komplexu V pokračuje 90 %.

Možnosti doplňování výměnných či přístupných bazických kationtů a fosforu jsou jednak při rozkladu organické hmoty (humusu) a jednak při zvětvávání detritátu matečné horniny. Přítomnost primárních minerálů stoupá s hloubkou půdního profilu. Zdejší biotitická pararula je bohatá na minerály s obsahem Mg a K (tab. 10). U Mg je jejich obsah v rozmezí 4 134 ppm (0 - 5 cm) do 10 332 ppm (60 - 80 cm), u K od 2 442 (0 - 5 cm) do 10 248 ppm (80 - 100 cm). Podstatně méně je zdrojů přístupného Ca, v minerální formě je od 100 ppm (80 - 100 cm) do 412 ppm (30 - 40 cm). Omezené jsou i zdroje P, od 141 ppm (30 - 40 cm) do 358 ppm (0 - 5 cm). V humusovém horizontu (H) a v půdní spodině představuje výměnný vápník převážnou část jeho celkové zásoby stanovené ve výluhu lučavky královské.

## DISKUSE A SOUHRN

Z výsledků analýz srážkové a půdní vody a opakovaně odebíraných vzorků půdy na výzkumné ploše s mladým porostem smrku vyplývá, že při podstatném snížení depozice kyselých látek (H<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>) od poloviny 90. let minulého století se v sorpčním komplexu povrchových půdních horizontů nadále snižovala zásoba bazických kationtů (tab. 5) a tím klesalo jeho nasycení bázemi a současně se snižovala i hodnota výměnného pH. Příčinou tohoto trendu může být přetrvávající vliv spadu látek, především dusíku a také vnitřní ekosystémové procesy spojené s činností složek ekosystému (BREDMEIR, ULRICH 1989). V období od roku 1996 koruny porostu smrku s podkorunovými srážkami zvyšovaly jen málo přímý vstup protonů do půdy oproti volné ploše. Podstatně narůstal vstup NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup> a také Al a Fe, které lze

Tab. 8.

Plocha - zalesněná seč. Vývoj celkové zásoby C a N, přístupných forem bazických kationtů, fosforu a výměnných bazických kationtů (1994 - 2004) v povrchových půdních horizontech. V letech 1972 až 1988 bylo provedeno stanovení kationtů ve výluhu 1% kyseliny citronové a v letech 1994 a 2004 ve výluhu 1 M NH<sub>4</sub>Cl, přepočteno na kg.ha<sup>-1</sup>

Plot – reforested clearcut. Development of total C and N, supply available forms of basic cations, phosphorus and exchangeable basic cations (1994 - 2004) in surface soil horizons. In 1972 to 1988 cations were determined in leach of 1% citrid acid and in years 1994 and 2004 in leach of 1 M NH<sub>4</sub>Cl, recounted on kg.ha<sup>-1</sup>

Hloubka profilu/ Profile depth	Rok odběru/ Sampling year	Cox	Nt	Ca	K	Mg	Na	P
0 - 5 cm	1972	14,370	760	112	67	34		4,8
	1976	12,229	615	108	29	28		6,3
	1979	17820	957	122	65	27	6,9	14,6
	1988	13915	880	74	29	19	5,2	9,1
	1994	30690	2728	201	92	30	4,9	19,4
	2004	34485	1727	167	95	32	3,2	24,1
5 - 20 cm	1972	20,2	1120	140	151	209		24,9
	1976	24,967	1246	214	77	90		18,9
	1979	18144	1342	163	94	34	18	21,4
	1988	10206	1153	132	68	33	1,7	16,3
	1994	40068	2570	191	163	41	1,5	47,6
	2004	41202	2741	75	152	37	1	76,9

Tab. 9.

Vývoj chemismu půdy v profilu plochy Želivka - zalesněná seč. Obsah výměnných prvků (mg.kg<sup>-1</sup>) stanoven ve výluhu 1 M NH<sub>4</sub>Cl  
Development of soil chemistry in plot profile Želivka – reforested clearcut. Content of exchangeable elements (mg.kg<sup>-1</sup>) was determined in leach of 1 M NH<sub>4</sub>Cl

Horizont/ Horizon	Rok odběru/ Sampling year	pH/H <sub>2</sub> O	pH/KCl	Cox %	C/N	Na	K	Mg	Ca	P	Al	Fe	Mn	Zn	S	T	V %
H	1994	4,1	3,4	14,2	22,7	20	352	113	760	30	562	187	311	9,9	57,08	151,96	37,56
	2000	4,1	3,5	12,5	20,9	13	189	99	839	49	327	81	133	11,1	55,41	104,94	52,8
0 - 5 cm	1994	3,7	3,3	4,32	19,6	21	155	57	176	30	724	128	76	5,7	18,35	111,15	16,51
	2000	3,9	3,4	3,9	25,8	11	86	38	110	30	676	117	25	7,9	11,3	95,15	11,88
5 - 10 cm	1988	4	3,5	0,56	10,4		45	17	52		560	3,7	28		5,88	72,4	8,12
	1994	4,1	3,6	1,12	15,3	15	79	26	78	31	511	27	83	1,5	8,7	72,15	12,06
	2000	4,1	3,6	1,65	21,4	10	20	20	14	20	537	28	40	3,6	3,87	67,91	5,7
10 - 30 cm	1988	4,5	3,9	0,45	12,5		75	110	235	7	267	15	57		23,35	57,29	40,76
	1994	4,8	4,1	0,44	12,6	15	121	98	538	35	211	0,6	74	1,3	38,65	66,39	58,22
	2000	4,6	3,8	0,42	11,4	9	59	40	95	28	315	1,5	80	1,6	9,97	49,86	19,2
30 - 60 cm	1988	5,2	4	0,23	7,5		198	257	1337	6	64	0,7	28		93,87	102,81	91,3
	1994	5,4	4,5	0,46	12,2	12	154	228	1344	39	41	0,6	34	1,13	90,28	96,81	93,25
	2000	5,2	3,9	0,27	10	8	127	231	1118	60	91	<1	36	0,8	81,05	93,49	86,69
60 - 100 cm	1988	5,4	4	0,28	7,8		170	284	1676	4	42	0,9	15		111,38	117,17	95,06
	1994	5,6	4,7	0,46	12,6	15	152	244	1707	41	20	0,4	23	0,59	109,79	113,34	96,87
	2000	5,6	4,2	0,26	7,7	9	128	252	1697	75	14	<1	14	0,92	106,04	108,52	97,71

považovat za imisní látky zachycované v korunách. U kationtů Ca a Na byl nárůst velmi nízký. Vyšší obohacování podkorunových srážek probíhalo u Mg a několikanásobný nárůst obsahu v podkorunových srážkách, oproti srážkám z volné plochy, se projevil u K a Mn, které jsou spolu s Mg převážně vymývány z listových orgánů výměnou za protony (H<sup>+</sup>). Molární hodnota nárůstu těchto tří kationtů dosahovala během sledovaného období 5,359 kmol.ha<sup>-1</sup>.

Přijaté vodíkové ionty jsou opět vylučovány kořeny do půdního prostředí a zvyšují jejich nároky na příjem kationtů z půdy. Dalším zdrojem protonů v půdě je příjem a přeměna sloučenin dusíku (KHANA, ULRICH 1985, ULRICH et al. 1981). V humusovém horizontu O sledované plochy

bylo spotřebováno podstatně více iontů NO<sub>3</sub><sup>-</sup> než NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a byl tedy vyšší příjem protonů ve spojení s příjmem NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kořeny než jejich produkce ve spojení s příjmem NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Půdně biologické testy zahrnující sledování rozkladných procesů organické hmoty a uvolňování dusíku do atmosféry nebyly prováděny.

Do minerální půdy odtékala z pokryvného humusu voda s vyššími koncentracemi NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, než byly koncentrace ve vodním zdroji (Pekelském potoce), jejichž roční průměrné hodnoty byly od konce 90. let u NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nižší než 0,1 mg.l<sup>-1</sup> a u NO<sub>3</sub><sup>-</sup> okolo 2 mg.l<sup>-1</sup> (BÍBA et al. 2005). Vyšší spotřeba mol NH<sub>4</sub><sup>+</sup> než NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mohla způsobit určité okyselení rhizosféry.

**Tab. 10.** Želivka - zalesněná seč. Celkový obsah kationtů a fosforu stanovený ve výluhu lučavkou královskou a obsah výměnných kationtů ve výluhu 1M NH<sub>4</sub>Cl a přístupného fosforu v ppm (mg.kg<sup>-1</sup>). Odběr vzorků prosinec 2000.  
Želivka – reforested clearcut. Total content of cations and phosphorus determined in leach of aqua regia and content of exchangeable cations in leach of 1M NH<sub>4</sub>Cl and available phosphorus in ppm (mg.kg<sup>-1</sup>). Sampling in December 2000.

Horizont/ Horizon	Ca			K			Mg			Na			P		
	celkový <sup>1</sup>	výměnný <sup>2</sup>	rozdíl <sup>3</sup>	celkový <sup>1</sup>	výměnný <sup>2</sup>	rozdíl <sup>3</sup>	celkový <sup>1</sup>	výměnný <sup>2</sup>	rozdíl <sup>3</sup>	celkový <sup>1</sup>	výměnný <sup>2</sup>	rozdíl <sup>3</sup>	celkový <sup>1</sup>	přístupný <sup>4</sup>	rozdíl <sup>3</sup>
F	6 424			1 724			1 372			22,5			1 196		
H	1 480	839	641	2 177	189	1 988	2 530	99,4	2 431	40	13	27	781	49	732
0 - 5 cm	368	110	258	2 528	85,9	2 442	4 172	38,1	4 134	37,3	11	26,3	388	30	358
5 - 10 cm	204	13,6	190	2 976	42,9	2 933	4 843	19,5	4 823	36,4	9,9	26,5	234	20	214
10 - 20 cm	305	34,9	270	3 451	48,3	3 403	5 478	16,3	5 462	42,2	8,5	33,7	215	25	180
20 - 30 cm	527	154	373	3 888	68,8	3 819	5 999	51,4	5 948	51	9,2	41,8	175	30	145
30 - 40 cm	1 074	662	412	4 249	109	4 140	7 033	176	6 857	58,3	7,8	50,5	191	50	141
40 - 50 cm	1 351	1 119	232	5 341	124	5 217	8 787	239	8 548	51,1	8,5	42,6	243	53	190
50 - 60 cm	1 863	1 574	289	8 678	149	8 529	10 141	278	9 992	74,3	8,7	67,6	266	78	188
60 - 80 cm	1 808	1 657	151	8 391	127	8 264	10 586	254	10 332	69,4	8,8	60,6	328	74	254
80 - 100 cm	1 836	1 736	100	10 376	128	10 248	9 943	250	9 693	73,9	8,2	65,7	315	76	239

Notes:  
1 total  
2 exchangeable  
3 difference  
4 available

Ekosystémovým zdrojem protonů jsou organické kyseliny vznikající při rozkladu odumřelé organické hmoty. Jejich podíl na vymývání kationtů je zřejmý z tabulky 11, kde molární suma vymývaných bazických kationtů a NH<sub>4</sub><sup>+</sup> z pokravného humusu převyšuje molární sumu aniontů silných kyselin. Zdrojem okyselení je i CO<sub>2</sub> z dýchání kořenů a mikroorganismů, vzniklá kyselina uhličitá v prostředí s pH < 5 nedisociuje a způsobuje okyselení. Jak je však patrné z tabulky 4, tak v hodnoceném období na sledované ploše v pokravném humusu nedocházelo k okyselování perkolující (odtékající) srážkové vody a hodnoty pH půdy se zvyšovaly.

Rozdíl mezi spadem prvků se srážkami a jejich odtokem z humusového horizontu s gravitační vodou je možné vysvětlit jejich příjmem kořeny smrkového porostu. Pozoruhodný je rozdíl mezi depozicí síry a jejím transportem s vodou odtékající z pokravného humusu v letech 1996 až 2004 – 97,5 kg (291,9 kg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) na ha. Ztráty redukovaných forem síry do ovzduší jsou v aerobním prostředí humusového horizontu plochy nepatrné (BLAIR et al. 1993). Síra je významným prvkem v rostlinné hmotě a přijímána kořeny převážně v minerální formě a ukládána v biomase (ERIKSEN et al. 2001, HERSCHBACH 2001, LETTL 2005). Nárůst zásoby síry v pokravném humusu mezi roky 1994 až 2004 může, při zvýšení mocnosti tohoto horizontu do 1 cm, maximálně dosahovat 20 kg. Větší část přijaté síry, 78 kg, je zřejmě uložena v biomase, která se po řadové prořezávce porostu v roce 1994 podstatně zvětšila. Při obsahu síry 0,1 % (1 000 ppm) by měl být nárůst biomasy porostu v uvedeném období minimálně 8 kg na 1 m<sup>2</sup>.

Hodnoty pH (H<sub>2</sub>O) povrchových horizontů minerální půdy (0 - 5 cm a 5 - 20 cm) vznikají v oblasti pufrace protonů uvolňováním Al a současně i výměnou kationtů ze sorpčního komplexu. Hluběji překračuje pH 4,2 a pufrace H<sup>+</sup> iontů ze spadu a interní produkce probíhá výměnou bazických kationtů (především Ca) ze sorpčního komplexu (tab. 6, 9) (MEYER et al. 1989, ULRICH et al. 1982, 1989). V hloubce větší než 30 cm je pH (H<sub>2</sub>O) vyšší než 5 (tab. 9) a pufraci protonů zajišťuje jen zvětrávání primárních minerálů (MATZNER 1988, ULRICH et al. 1981). Rychlost uvolňování prvků ze zvětrávacích minerálů závisí na chemismu horniny a na její struktuře. MATZNER (1988) zjistil, že ze zvětrávacích silikátů v Sollingu přichází ročně do půdy až 0,27 kmol Mg na ha (3,28 kg.ha<sup>-1</sup>). U Ca byl přísun tímto procesem podstatně nižší a to 0,02 kmol.ha<sup>-1</sup> (0,40 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>). Uvolňování K bylo také nízké.

Výsledky analýz půdních výluhů lučavkou královskou a 1 M NH<sub>4</sub>Cl na sledované ploše ukazují převažující podíl Mg a K v minerálech na celkové zásobě (včetně výměnných iontů v sorpčním komplexu). Z těchto minerálů mohou být postupně tyto prvky uvolňovány zvětrávacími procesy. To je pravděpodobně příčinou podstatně nižšího poklesu Mg a K v přístupné (výměnné) formě v hodnocených horizontech než u Ca, který se pak akumuluje v sorpčním komplexu hlubších půdních horizontů, kde je pH (H<sub>2</sub>O) vyšší než 5.

Podle kritérií užívaných v poradenské činnosti VÚLHM (BALCAR et al. 2000, PODRÁZSKÝ 2001) je půda v hodnocených svrchních horizontech sledované plochy silně kyselá a v hloubce 5 až 20 cm je obsah Ca a Mg velmi nízký, u P nízký a u K střední. Rozborů půdních vzorků ze sondy ukazují, že hlouběji než 30 cm je obsah Ca, K a Mg dobrý. Celková zásoba přístupných (výměnných) živin v pokravném humusu oproti minerální půdě je vzhledem k jeho malé hmotnosti relativně malá. Podíl přístupných prvků na jejich celkové zásobě v humusovém horizontu (F + H) je různý, největší je u Ca (> 50 %), nejnižší u Mg (2,5 %).

Pro posouzení dostatečnosti zásoby přístupných forem hlavních živin pro vývoj porostu, vzhledem k jejich zásobě ve svrchních půdních horizontech, je možné použít údaje uvedené MATERNOU

Tab. 11.

Molární hodnoty protonů, bazických kationtů, aniontů silných kyselin a amoniakových iontů ve srážkové vodě na volné ploše, v podkorunových srážkách a v gravitační vodě odtékající z horizontu povrchového humusu (O) v porostu smrku na ploše Želivka za období let 1996 až 2004

Molar values of protons, basic cations, anions of heavy acids and ammoniac ions in bulk precipitation on open space, in throughfall and in gravitational water running off forest floor horizon (O) in spruce stand on Želivka Plot for period 1996 to 2004

Odběrové místo/ Sampling place	H <sup>+</sup>	Suma/Sum mmol (+) Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> +Mg <sub>2</sub> <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Suma/Sum mmol (-) NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +Cl <sup>-</sup> +F <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Rozdíl mezi/Diff. between (+) a (-) (Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> +Mg <sub>2</sub> <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup> ) (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +Cl <sup>-</sup> +F <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )
srážky volné plochy/ bulk precipitation	0,6111	8,141	2,003	9,587	-1,446
podkorunové srážky/ throughfall	0,8554	12,727	4,017	17,219	-4,492
gravitační voda z horizontu O/ gravitational water from horizon O	0,6324	6,44	2,16	5,684	0,756

Tab. 12a.

Celková zásoba přístupného fosforu a výměnných kationtů v povrchovém humusu a půdě do hloubky 20 cm na ploše Želivka - mladý porost smrku, odběr vzorků listopad 2004

Total supply of available phosphorus and exchangeable cations in forest floor and soil into depth of 20 cm on Želivka Plot - young spruce stand, sampling in November 2004

Kg.ha <sup>-1</sup>	Výměnné kationty v/Exchangeable cations in 1 N NH <sub>4</sub> Cl						Přístupný/Available
	Ca	K	Mg	Mn	Na	Zn	P
pokryvný humus/forest floor F+H	114	26	12	34	0,48	0,59	1,9
min. půda/min. soil 0 - 20 cm	284	247	69	193	13,2	6,29	101
Celkem/Totally	398	273	81	227	13,68	6,88	102,9

Tab. 12b.

Změna zásoby výměnných bazických kationtů a přístupného fosforu v hloubce 0 - 20 cm mezi roky 1994 a 2004

Change in supply of exchangeable basic cations and available phosphorus in the depth of 0 - 20 cm between years 1994 and 2004

rozdíl zásoby mezi roky 2004 - 1994/ supply difference between years 2004 - 1994	kg.ha <sup>-1</sup>							kmol (+).ha <sup>-1</sup>
	Ca	K	Mg	Mn	Na	Zn	P	Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> + Mg <sub>2</sub> <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>
	-108	-8	-2	62	-6,7	-3,9	34	-6,05

(1964), převzaté z práce EHWALDA (1957). Jsou zde uváděny roční nároky (potřeby) porostu smrku na ha u N 43 - 70 kg, Ca 38 - 62 kg, u K 16 - 25 kg, u Mg 4 - 8 kg a u P 4 - 6 kg. Nároky se vyvíjejí během růstu porostu, podle SMIRNOVOVÉ (1951) jsou největší ve stáří porostu 40 let, a to u N 62,8, u Ca 52,3, u K 28,7, u Mg 9,8 a u P 12,4 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>. Z obou přehledů vyplývá, že v povrchových horizontech půdy na ploše je relativně nejnižší zásoba u Ca a nejvyšší u P (tab. 12). Uvedené údaje o nárocích porostů smrku na živiny pocházejí z poloviny 20. století, kdy byl dusík nedostatkovým a limitujícím prvkem výživy porostů. V současnosti, při jeho vysokém vstupu do lesních ekosystémů, se mohou nároky dřevin na další živiny zvyšovat.

Zvýšený spad kyselých imisních látek v minulých desetiletích a také zvýšené nutriční nároky přírůstavého smrkového porostu na sledované ploše způsobily, že se v povrchových horizontech snížilo pH a pufrční schopnost půdy poklesla do oblasti uvolňování Al, i když v hlubší části profilu je velmi vysoké nasycení sorpčního komplexu (> 90 %) a půdu lze označit jako Endoeutric.

Nivelizaci chemismu povrchových horizontů půd na silikátových horninách v sousedním Sasku popisují RABEN et al. (2000). Na většině ploch monitoringu probíhá v povrchových horizontech nivelizace půdního chemismu na nízkou úroveň a asi 90 % půd má nasycení sorpčního komplexu v hloubce do 60 cm nízké a střední. Okyselení povrchových

horizontů lesních půd na bezkarbonátových stanovištích uvádějí též pro celou NSR WOLFF a RIEK (1999). Zde na více než 80 % monitoračních ploch byl v letech 1987 až 1993 zjištěn do hloubky 30 cm pokles pH do oblasti pufrace protonů výměnou Al a Fe (pH < 4,2) a na více než 60 % ploch také pokles nasycení těchto horizontů pod 15 % (BS < 15 %). Tento trend se projevil i na monitoračních plochách mezinárodního programu ICP Forests v České republice (FABIÁNEK et al. 2004) a na dlouhodoběji sledovaných plochách VÚLHM (LOCHMAN et al. 2006).

## ZÁVĚR

Na sledované ploše v mladém smrkovém porostu byl přímý vstup kyselých látek s podkorunovými srážkami relativně nízký. Vysoký spad a vysoká spotřeba dusíku naznačuje zvýšený přírůst biomasy porostu a tím ovlivňuje i vysokou spotřebu dalších bioprvků (kationtů a fosforu). Největší odběr živin probíhá ve svrchních půdních horizontech a v horizontu povrchového humusu, kde je bohaté prokořenění. Bioprvky uvolňované v tomto horizontu při rozkladu opadu jsou zde v podstatné míře spotřebovávány a jejich přísun do svrchní části minerálního profilu nemůže nahradit nároky kořenů porostu této části rhizosféry. Akumulace bioprvků v biomase mladého přírůstavého porostu je spojena s ochuzováním sorpčního komplexu půdy o kationty

a poklesem pH do oblasti, kde probíhá pufrace iontů H<sup>+</sup> uvolňováním Al. Uvolňování prvků ze zvětvávání primárních minerálů nepostačuje pokrýt deficit zejména u Ca.

Tyto procesy probíhají ve větší či menší míře na velké části lesů České republiky a střední Evropy. Dobrá zásoba živin zůstává v hlubších půdních horizontech. Je tedy zapotřebí sledovat úroveň výživy lesních porostů a případně provést její úpravu. Při obnově a výchově porostů je nutné preferovat na těchto půdách hlubokokorenící dřeviny.

#### Poznámka:

Příspěvek byl zpracován v rámci výzkumného záměru MZE č. 0002070201 „Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností v měnících se podmínkách prostředí“, řešeného ve VÚLHM Jíloviště-Strnady.

## LITERATURA

- BALCAR, V., PODRÁZSKÝ, V., LOMSKÝ, B.: Příčiny poškození lesních ekosystémů a prognóza jejich dalšího vývoje včetně návrhu následných opatření v oblastech pod dlouhodobou imisní zátěží. Závěrečná zpráva projektu VaV/ 620/1/99. Jíloviště-Strnady, VÚLHM 2000. 77 s.
- BLAIR, G. J., LEFROG, R. D. B., CHINOIM, N., ANDERSON, G. C.: Sulfur soil testing. *Plant and Soil*, 155/156, 1993, s. 383-386
- BÍBA, M., JAŘABÁČ, M., LOCHMAN, V., OCEÁNSKÁ, Z., ŠRÁMEK, V., VÍCHA, Z.: Vývoj hydrického působení lesů malých horských povodí. Výroční zpráva projektu QF 3013. Jíloviště-Strnady, VÚLHM 2005. 35 s.
- BREDMAYER, M., ULRICH, B.: Depositionsbedingte und ökosysteminterne Anteile der Säurebelastung von Waldböden. *AFZ* 11, 1989, s. 256-260.
- EHWALD, E.: Über den Nährstoffkreislauf des Waldes. *Sitzungsberichte DALW. Berlin*, 6, 1957, č. 1, s. 1-56.
- ERIKSEN, J., MURPHY, M. D., SCHNUG, E.: The soil sulphur cycle. In: Schnug, E. (ed.): *Sulphur in Agroecosystem.*, 1998, s. 39-73
- FABIÁNEK, P. et al.: Monitoring stavu lesa v České republice 1984 - 2003. Praha, MZe ČR a Jíloviště-Strnady, VÚLHM 2004. 431 s.
- HERSCHBACH, C.: Schwefeltransport in Bäumen. In: Neues zum Stofftransport in Bäumen. *Schrift. der Forstl. Fak. Univ. Göttingen u. Niedersachs. Forstl. Versuchsanst.*, 131, 2001, s. 161-179
- KHANNA, P. K., ULRICH, B.: Processes associated with acidification of soils and their influence on the stability of spruce stands in Solling area. In: *Proc. Symp. Air Pollution and Stability of Coniferous Forest Ecosystems*. Ostravice, October 1-5, 1984. *Fac. Forestry, Agric. Univ., Brno*, 1985, s. 23-26.
- LETTL, A.: Microbial biotechnology of sulfur in agriculture. In: Rames, H. C., Koray (eds.): *Microbial biotechnology in agriculture and aquaculture*. Science Publishers, Plymouth, 1, 2005, s. 125-127.
- LOCHMAN, V., MAXA, M., BÍBA, M.: Vývoj chemismu půdy na výzkumných plochách VÚLHM v období poklesu spadu imisních látek. *Zprávy les. výzkumu*, 51, 2006, č. 1, s. 106-120.
- MATERNA, J.: Hnojení smrkových porostů. *Metodiky ÚVTI*. Praha, 1964, 21 s.
- MATZNER, E.: Der Stoffumsatz zweier Waldökosysteme im Solling. In: Ulrich a kol. *Ber. d. Forschungszentr. Waldökosyst. d. Univ. Göttingen*, Bd. A 40, 1989, 217 s.
- PODRÁZSKÝ, V.: Potřeba a možnosti využití vápnění a hnojení v oblasti Krušných hor. In: *Sborník z celostátní konference Výsledky lesnického výzkumu v Krušných horách, Teplice*, 1. 3. 2001. Jíloviště-Strnady, VÚLHM 2001, s. 41- 47
- RABEN, G., ANDREAE, H., KARST, H., SYMOSSEK, F., LEUBE, F.: Bodenzustandserhebung (BZE) in den sächsischen Wäldern (1992-1997). *Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Graupa*, 20, 2000, 200 s. ISBN 3- 932967-18- 6.
- SMIRNOVOVÁ, A.: Krugovorod azota i zolnych elementov v jelnike zeleonomošnike. *Vestnik moskovskogo universitěta*, 6, 1951.
- ULRICH, B., MAYER, R., KHANNA, P. K.: Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. *Schften, Forstl. Univ. Göttingen*, 58, Sauerländer's Ver., Frankfurt/M, 2. Auflage, 1981, 391 s.
- URLICH, B., MAYER, H., JANICH, K., BÜTTNER, G.: Basenverluste in den Böden von Haimsimen-Buchenwäldern in Südniedersachsen zwischen 1954 und 1986. *Forst. u. Holz*, 44, 1989, s. 251-253.
- WOLFF, B., RIECK, W.: *Deutscher Waldbodenbericht 1996*. Band 1. 2. Auflage. Bonn, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1999. 142 s.



## Changes in chemistry of surface soils horizons in young spruce stand at Želivka

### Summary

Since 1973 fallout of elements with bulk precipitation has been observed on the open space within the FGMRI experimental plot Želivka, and since 1996 in the young spruce stand. Water running from forest floor has been caught and analysed by pressureless lysimeters on forested and reforested parts. Fallout of acid substances with bulk precipitation culminated at the clearcut in the half of 1980ies and substantially decreased in the late 1990ies. Since the late 1990ies deposition of solid substances in bulk precipitation has dropped and consequently also of Ca, Mg, Al, Fe.

Unlike bulk precipitation from open space more  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , F<sup>-</sup>, Al, Fe, Mg and above all K and Mn got into soil by throughfall. These compounds (K and Mn) and elements are intensively leached from needles in exchange for protons ( $\text{H}^+$ ). On the contrary ions  $\text{Cl}^-$  and Na were extracted in spruce crowns.

Amount of ions drifted by water running from forest floor into mineral soil was quite balanced at the clearcut and under the young spruce stand. Substantially higher runoff in the stands appeared only to be for nitrogen compounds ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), and till the end of the 1990ies for  $\text{SO}_4^{2-}$  and F<sup>-</sup>. Horizon of forest floor in the spruce stand influenced on concentration decrease in the running precipitation water at majority of investigated substances, only Co, Al, Fe and Cu were higher. Therefore intake with throughfall at majority of substances was higher than runoff from horizon of forest floor O with gravitational water.

Repeated sampling and analysing of humus and surface horizons of soil show that since the 1970ies values of active pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) and exchangeable pH (KCl) have been decreasing on the investigated plot. Since 1979 no remarkable fall of pH has appeared. In the period 1976 and 1988 content of available basic cations in soil detected in the leach of 1% citric acid decreased. Between 1994 and 2004 content of exchangeable cations Ca, K, Mg, Na fell down; only in mineral soil in the depth of 5 to 20 cm and in forest floor increased. Content of available P in soil had been dropping until 1988.

Supply decrease of basic cations in adsorption complex (BS < 15 %) occurred above all in the upper part of soil profile (rhizosphere) into the depth of 30 cm. Possibility of completing with basic cations and phosphorus from the primary minerals (weathered biotitic paragneiss) is the highest for Mg and K and the lowest for Ca which evidently influences the highest decrease of calcium in the adsorption complex of surface horizons of mineral soil. Assessing the protons resources in soil on this plot, it is evident that decrease of exchangeable pH, exchangeable cations in adsorption complex and degree of its saturation is due to high demands of the stand on the observed nutrients and high availability of nitrogen.

Recenzováno