

VÝVOJ DEPOZIC IMISNÍCH LÁTEK A JEJICH VSTUPU DO ODTÉKAJÍCÍ VODY V OBLASTI ČESKOMORAVSKÉ VRCHOVINY

AIR POLLUTANTS DEPOSITION DEVELOPMENT AND THEIR INPUT INTO RUNOFF WATER IN THE REGION OF BOHEMIAN-MORAVIAN HIGHLAND

ZDENĚK VÍCHA - ZORA LACHMANOVÁ - VĚRA FADRHOŇSOVÁ - VÁCLAV LOCHMAN - MILAN BÍBA

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady

ABSTRACT

In the Pekelsky stream research catchment (Bohemian-Moravian Highland, Czech Republic), the chemistry of precipitation and soil water was studied in different types of forest stands (mature and young spruce and beech stands, clear-cut). Data from 1996 to 2008 showed that the average year fallout of protons decreased both in the stands and in the clear-cuts. In all research plots, decrease of the proton (H^+) fallout in precipitation was registered. Within the research plots, decrease of SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} and heavy metals fallout was recorded. On the other hand, NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- showed disunited trends. In the water from humus horizon (O), element concentrations increased. Decomposition of the upper humus layer and organic material of the upper soil horizons releasing measured elements can be stimulated by increased soil temperature depending on high air temperature or after felling.

Klíčová slova: depozice, emise, lesní povodí, chemismus vody

Key words: deposition, emission of pollutants, forest watershed, water chemistry

ÚVOD

Znečištění ovzduší způsobené emisemi při spalování fosilních paliv, především uhlí, vrcholilo ve střední Evropě okolo roku 1985 u emisí SO_2 (FERRIER et al. 2001). Emise sloučenin dusíku (NH_3 a NO_x) poklesly později a na konci tisíciletí se v Evropě opět mírně zvýšily (WRIGHT et al. 2001). Také v České republice (ČR) se od osmdesátých let minulého století do prvních let tohoto století podstatně snížila emise škodlivých látek a ČR dodržela mezinárodní závazky přijaté vládami evropských zemí. Mezi roky 1988 a 2002 poklesly v naší republice emise SO_2 z 2066 tis. t na 236,5 tis. t, emise NO_x z 858 tis. t na 318 tis. t a emise pevných částic (popela a prachu) z 840 tis. t na 59 tis. t. Také emise NH_3 se snížily ze 156 tis. t v roce 1990 na 77 tis. t v roce 2002 (ČHMÚ 2000, 2003). Většímu snižování emisí NO_x brání nárůst mobilních zdrojů znečištění (provoz automobilů).

S poklesem znečištění ovzduší souvisí i změna chemismu srážkové vody a vody odtékající do vodních zdrojů. Dlouhodobější sledování těchto souvislostí bylo prováděno v programu ICP Waters, který soustřeďoval data z velké části Evropy a severní Ameriky (STODDARD et al. 1999). SKJELKVALE et al. (2000) hodnotí vývoj hlavních ukazatelů kvality vody ve vodních zdrojích Skandinávie, Velké Británie a střední Evropy. Základní charakteristiky chemismu vody a jejich vývoj (ANC, pH, SO_4^{2-} , Ca, NO_3^- , Al), ovlivňované kyselými spady na povodích ve Skandinávii, ve Velké Británii a ve střední Evropě včetně severní Itálie, uvádí EVANS et al. (2001). Českým hydrologicko-geologickým (pedologickým) podmínkám jsou srovnatelné údaje uváděné z povodí v Německu (ALEWELL et al. 2001). Jednotlivá povodí zde nemají stejné trendy vývoje sledovaných parametrů. Z celkového hodnocení trendů v evropských povodích provedené EVANSEM et al.

(2001) vyplývá, že ve většině povodí se v odtékající vodě zvýšilo ANC (alkalita) a poklesly signifikantně koncentrace SO_4^{2-} , Ca, Al. Změny koncentrací NO_3^- nebyly jednotné, ale na většině povodí ve střední Evropě byl zjištěn pokles obsahu těchto iontů. Pokles a ztráty SO_4^{2-} s odtékající vodou z povodí jsou však menší než pokles jejich spadů, v Německu a Itálii byly zjištěny i opačné trendy (PRECHTEL et al. 2001).

V současné době probíhá výzkum vlivu poklesu spadu imisních látek na zlepšení chemismu vody povrchových zdrojů v programu RECOVER 2010, zaštitěném Evropskou komisí (FERRIER et al. 2001).

Vliv snižování depozice imisních látek na chemismus vody zalesněných povodí, sledovaných VÚLHM v období od počátku devadesátých let do roku 2002, hodnotí LOCHMAN et al. (2008a). Výsledky šetření ukazují, že zejména u SO_4^{2-} a NO_3^- neproběhly jednoznačné trendy změn.

Cílem příspěvku je posouzení dynamiky imisních látek při průchodu různými typy (respektive obnovními fázemi) lesních porostů a jejich vlivu na uvolňování do vodních zdrojů, a to v podmínkách převažujícího smrkového hospodářství středních poloh jako plošně nejrozšířenějšího porostního typu Českomoravské vrchoviny.

MATERIÁL A METODIKA

Výzkumné povodí Pekelského potoka u Ledče nad Sázavou má výměru 119 ha, 117 ha zaujímá lesní půda a 2 ha jsou obhospodařovány zemědělsky (orná půda). Převážnou část povodí (85 %) pokrývají starší smrkové porosty (věk nad 70 let). Povodí se rozprostírá v nadmořské

výšce od 360 do 471 m. Pekelský potok je pravostranným přítokem do přehradní nádrže na pitnou vodu u Švihova (Želivka).

Sledování chemismu srážek a půdní vody probíhalo v dospělém porostu smrku (plocha 1) a na seči (plocha 3) od roku 1973, v mladém porostu buku (plocha 5) od roku 1989 a v mladém porostu smrku (plocha 3a) od roku 1986.

Půdní pokryv povodí vytvářejí hluboké kambizemě a pseudogleje různých subtypů s humusovými formami moderu, které se vyvinuly na hlinách, sutích, eluviích a na ostrůvkovitých neogenních jílech a štěrčích. Geologické podloží tvoří horniny moldanubického stáří, konkrétně biolitické pararuly, středně až hrubě zrnité. Mocnost zvětralínového pláště a sedimentů je nejnižší ve středu a na jihu povodí (asi 5 až 10 m). Velké hloubky navětrání (přes 30 m) byly zjištěny v severní a západní části povodí (KLABLENA 1978). Orografická rozvodnice povodí se shoduje s rozvodnicí hydrogeologickou (KOLMAN 1972). Největší část podzemní vody plynule odtéká ze zvodnělého obzoru přímo do vodoteče. V povodí je vedle pramene Pekelského potoka pramen vytékající zprava do potoka asi 100 m nad měrným přepadem. Hydrologickou charakteristiku povodí zpracovali na základě mnohaletého šetření KREŠL a HERYNEK (1987).

Srážky volné plochy a srážky podkorunové byly zachycovány do korytek a v porostu buku byla jímána i voda stékající po kmenech. Půdní voda byla zachycována beztlakovými lyzimetry umístěnými pod humusovým horizontem (horizont 0) a v porostu smrku (plocha 1) a na seči (plocha 3) lyzimetry umístěnými v hloubce 30 a 100 cm.

V porostu buku na ploše 5 byly zabudovány lyzimetry v hloubce 20 cm. Odběry vody byly prováděny dvakrát v měsíci. Voda z potoka na měrném přepadu a z pramene u přepadu byla odebírána jednou za měsíc. Pravidelně byly odebrány vzorky vody z pramene vytékajícího v polích u silnice nedaleko Brzotic.

Rozbory vzorků prováděla Zkušební laboratoř VÚLHM, v. v. i., Strnady. Koncentrace SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- a F^- byly stanovovány na kapalinovém chromatografu Thermostermination Products a NH_4^+ na kolorimetru SAN Plus Autoanalyzer. Celkový rozpuštěný P byl zjišťován na spektrometru ICP OES Liberty 220, stejně jako koncentrace kationtů Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na a Zn. Organický uhlík (C_{ox}) byl ve vodách stanovován jodometrickou titrací po mineralizaci kyselinou chromsírovou; od roku 2006 je zjišťován rozpuštěný organický uhlík (DOC) a celkový dusík (TN) spalovací metodou. Ve vodách je též stanovována alkalita vzorků.

VÝSLEDKY

Vývoj chemismu srážkových vod druhé poloviny devadesátých let, tedy po zásadním omezení emisí SO_2 , ukazoval i nadále snižování znečištění ovzduší imisními látkami. Spady protonů (H^+) ve srážkách na volné ploše (plocha 3) se v období po roce 2002 (2003–2008) oproti předchozímu období (1996–2002) poněkud snížily (tab. 1). Minimální průměrná roční hodnota pH byla zjištěna v roce 2000 (4,68) a maximální hodnota v roce 2005 (5,47). Největší roční spad H iontů se srážkovou vodou (bulk) byl zjištěn v roce 1998 (0,110 kmol.ha⁻¹), vlivem vysokého srážkového úhrnu.

V mladém porostu smrku (plocha 3a) byly ve srážkové vodě průměrné roční hodnoty pH podkorunových srážek od roku 1997 nižší než srážky volné plochy na seči. Po roce 2002 byl zaznamenán určitý nárůst hodnot pH oproti předchozímu období (1996–2002). Při nízkých množstvích vody podkorunových srážek zachycených v mladém smrku byly však stanoveny nižší celkové spady H iontů, než spady těchto iontů se srážkami na volné ploše (tab. 1).

V dospělém porostu smrku na ploše 1 se pH vody podkorunových srážek zvyšovalo během celého hodnoceného období a po roce 2000

bylo v některých letech vyšší než pH podkorunových srážek v mladém porostu buku (plocha 5). Podkorunové srážky v porostu buku vykazovaly velké kolísání hodnot pH, a to i ročních průměrných hodnot (pH 4,19 v roce 2003 a pH 5,30 v roce 2007). Voda stékající po kmenech buku (měřená od roku 1998) vykazovala nižší kolísání ročních průměrných hodnot pH, které taky byly převážně poněkud vyšší než u podkorunových srážek. Také celkové spady protonů (H^+) v porostu buku velmi kolísaly. Zejména po roce 2002 byly v porostu buku zjišťovány nejvyšší spady protonů ze všech hodnocených ploch (tab. 2).

Jaká byla depozice dalších sledovaných látek zachycovaných se srážkovou vodou? Na volné ploše 3 dosahovaly průměrné koncentrace SO_4^{2-} mezi roky 1996 a 2002 hodnoty 3 mg.l⁻¹ a v dalších letech klesaly, v období 2003 až 2008 tak nedosahovaly ani 2 mg.l⁻¹ (tab. 2). Roční spady převyšující 10 kg.ha⁻¹ (3,34 kg S) byly zjišťovány i po roce 2003 (tab. 1). Spad $\text{N}/\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ také kolísala, v roce 1999 dosahoval 11,01 kg.ha⁻¹, v roce 2003 poklesl na 4,89 kg.ha⁻¹. Závisel na množství zachycených srážek. V ostatních letech se pohyboval mezi 5 až 10 kg.ha⁻¹. Průměrné koncentrace a celkové roční spady Cl^- a F^- během sledovaného období klesaly (tab. 1 a 2). U Ca a Mg se obsahy ve srážkové vodě a jejich celkové roční depozice snižovaly, zejména po roce 2000. Po tomto roce poklesl i spad Al, Fe a Zn. Pouze u Na, K a Mn nelze hovořit o poklesu jejich obsahu ve srážkách na volné ploše (bulk).

V mladém smrkovém porostu se v druhém sledovaném období (2003–2008) v podkorunových srážkách nejvíce snížila koncentrace SO_4^{2-} a také jejich roční spady (tab. 1, 3). Snížily se i spady Cl^- a F^- a dusíku ($\text{N}/\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$). Nejnížší depozice N byly zjištěny v letech 2004 a 2005 (pod 10 kg.ha⁻¹) a nejvyšší v roce 2001 (17,76 kg.ha⁻¹). Projevil se i pokles spadu Ca a Mg a kovů Al, Cu, Fe a Zn. Snížilo se i vymývání prvků z jehličí, méně u K a více u Mn.

V dospělém porostu smrku (plocha 1) se během sledování snižoval spad SO_4^{2-} , NO_3^- , F^- , nepoklesl spad NH_4^+ a navýšil se spad Cl^- , zejména v roce 2006. Poklesly i roční spady kationtů Ca, K, Mg, Na a kovů Al, Cu, Fe, Mn. Ve druhém sledovaném období, v letech 2002 až 2006, se srážkami narostl spad Zn, oproti období 1996–2001 (tab. 1, 4).

V mladém porostu buku (plocha 5) probíhal pokles ročních spadů SO_4^{2-} nejen do roku 2002, ale i po tomto roce. V druhém sledovaném období se mírně snížily spady nitrátů (NO_3^-), chloridů (Cl^-) a fluoridů (F^-) (tab. 1). To platí jak o podkorunových srážkách, tak i o celkovém mokřem spadu, včetně stoku po kmenech (tab. 4).

Ve druhém sledovaném období se snížily roční spady Ca, Mg, Al, Mn, Fe, Zn a Cu, stejně jako na ostatních plochách.

Ve vodě stékající po kmenech buku poklesly v období 2003–2008 koncentrace téměř všech látek oproti předchozímu období, s výjimkou Zn (tab. 5). Porovnáme-li obsahy sledovaných látek ve vodě podkorunových srážek v buku a ve vodě stékající po kmenech, potom v období 1998–2002 byly ve stoku vyšší průměrné koncentrace K, NH_4^+ , F^- , N_t a C_{ox} , v období 2003–2008 obsahovala stoková voda vedle jmenovaných látek i vyšší koncentrace Al, Fe a NT. U ostatních látek byly v obou obdobích vyšší obsahy v podkorunových srážkách (tab. 5). Můžeme říci, že v podkorunových srážkách v porostu buku a ve srážkách z volné plochy se v druhém sledovaném období zvýšil spad Na. Na všech plochách se mírně snížil spad K a zřetelně poklesla depozice Ca a Mg. Snižování spadu se projevilo u všech sledovaných kovů (Al, Fe, Mn, Zn, Cu), s výjimkou Zn v porostu 1 a ve stoku po kmenech v porostu buku.

Změny chemismu vody při průchodu lesními ekosystémy

Změny obsahu látek ve vodě při jejím průtoku humusem a půdou odrážejí procesy příjmu živin vegetací, jejich vymývání z živých pleťiv, z odumřelého organického materiálu a z humusu, výměnu látek v sorpčním komplexu půdy i jejich uvolňování z primárních minerálů.

Tab. 1.

Roční spady látek se srážkami v lesních ekosystémech objektu Želivka, 1996–2008 [kg.ha⁻¹.rok⁻¹]
Annual fallout in precipitations in the Želivka forest ecosystems, 1996–2008 [kg.ha⁻¹.year⁻¹]

Porost/Stand	období/period	H	Na	K	Mg	Ca	Al	Mn	Fe	Zn	Cu	NH ⁴⁺	NO ³⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	P	Nt	NT	C _{ox}
holá seč/clear-cut	1996-2002	0,079	2,44	3,61	2,01	11,85	0,138	0,284	0,11	0,273		4,54	22,01	0,228	14,28	18,47	0,512	8,5		36,05
	2003-2008	0,039	2,59	3,41	0,84	6,47	0,055	0,321	0,05	0,181	0,016	3,63	19,06	0,11	7,53	11,94	0,276	6,96	10,38	12,62
mladý porost smrků/ young spruce stand	1996-2002	0,100	2,09	18,39	2,79	11,05	0,366	2,504	0,26	0,201	0,019	7,33	34,35	0,399	9,02	49,13	0,686	13,485		48,62
	2003-2008	0,035	2,02	14,62	1,59	5,85	0,158	1,721	0,101	0,111	0,008	7,15	28,49	0,326	7,27	23,09	0,229	11,76	15,04	51,6
dospělý porost smrků/ mature spruce stand	1996-2001	0,112	3,13	27,57	3,9	19,64	0,563	3,206	0,258	0,456	0,022	11,47	53,78	0,562	13,12	73,97	1,117	20,91		96,78
	2002-2006	0,059	2,76	20,49	2,56	17,05	0,288	2,324	0,175	0,748	0,012	11,61	44,28	0,476	21,1	36,72	0,767	19,12		79,71
mladý porost buku/ young beech stand	1996-2002	0,114	1,86	11,87	1,86	11,1	0,172	0,793	0,119	0,118	0,021	5,26	29,69	0,22	14,32	18,67	0,713	10,79		37,83
	2003-2008	0,076	2,17	10,07	0,96	5,1	0,086	0,569	0,07	0,099	0,014	5,39	23,45	0,177	8,41	12,77	0,365	9,18	9,42	27,61

Tab. 2.

Vývoj koncentrací sledovaných látek ve vodě na holé seči (plocha 3) [mg.l⁻¹]
Development of substances concentrations in the clear-cut water (plot 3) [mg.l⁻¹]

odběrové místo/sampling place	období/period	H	Na	K	Mg	Ca	Al	Mn	Fe	Zn	Cu	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	P	Nt	NT	Cox
srážky volné plochy/open air precipitations (bulk)	1996-2002	0,013	0,397	0,587	0,327	1,92	0,022	0,046	0,018	0,044		0,74	3,57	0,037	2,32	3,00	0,083	1,38		5,86
	2003-2008	0,006	0,405	0,534	0,131	1,01	0,009	0,050	0,008	0,028	0,003	0,57	3,03	0,017	1,18	1,87	0,043	1,09	1,55	2,95
pod horizontem O/ under the „O“ horizon	1996-2002	0,024	0,453	2,70	0,564	1,87	0,266	0,426	0,149	0,029	0,006	0,26	2,00	0,062	2,04	4,41	0,125	0,66		23,29
	2003-2008	0,014	0,660	5,96	0,800	3,73	0,320	0,532	0,211	0,039	0,004	1,39	5,07	0,103	2,28	7,14	0,119	2,21	4,29	41,86
v hloubce 30 cm/in 30 cm depth	1996-2002	0,021	2,160	5,28	1,640	5,5	0,156	0,186	0,126	0,045	0,007	2,51	14,43	0,052	2,55	21,45	1,241	5,66		9,62
	2003-2008	0,007	3,350	2,09	1,620	7,2	0,277	0,033	0,197	0,025	0,005	0,63	3,00	0,032	2,85	23,96	0,521	1,77		5,68

Tab. 3.

Vývoj koncentrací sledovaných látek ve vodě z porostu mladého smrků (plocha 3a) [mg.l⁻¹]
Development of substances concentrations in the water from young spruce stand (plot 3a) [mg.l⁻¹]

odběrové místo/ sampling place	období/period	H	Na	K	Mg	Ca	Al	Mn	Fe	Zn	Cu	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	P	Nt	NT	Cox
podkorunové srážky/ throughfall	1996-2002	0,032	0,656	5,81	0,880	3,49	0,116	0,791	0,082	0,063	0,006	2,320	10,85	0,126	2,85	15,48	0,217	4,25		15,36
	2003-2008	0,013	0,734	5,32	0,578	2,13	0,057	0,626	0,037	0,040	0,003	2,600	10,36	0,119	2,64	8,40	0,083	4,28	4,91	18,58
gravitační voda pod horizontem O/gravi- tational water under the „O“ horizon	1996-2002	0,027	0,420	2,10	0,548	1,94	0,212	0,160	0,176	0,046	0,007	0,774	2,55	0,056	1,81	4,39	0,183	1,17		23,25
	2003-2008	0,027	0,570	2,44	0,560	2,21	0,338	0,144	0,239	0,035	0,004	0,978	4,47	0,073	1,54	4,90	0,140	1,72	2,68	28,67

Změny složení vody ze srážek byly v půdě sledovány v gravitační vodě zachycované lyzimetry umístěnými pod humusovým horizontem O a v povrchových horizontech minerální půdy.

V období let 1996 až 2002 se při průchodu srážkové vody humusovým horizontem seče s travní vegetací zvyšovala průměrná koncentrace většiny sledovaných prvků či iontů (C_{ox} , H, Na, K, Mg, Al, Mn, Fe, F, SO_4^{2-} , P) (tab. 2). Snižoval se obsah Zn, NH_4^+ , NO_3^- a Cl. Nepatrná změna koncentrací byla zjištěna u Ca. Z porovnání složení vody zachycované pod humusem a v hloubce 30 cm se v dlouhodobějším průměru projevil ve vodě nárůst koncentrací Na, K, Ca, Zn, NH_4^+ , NO_3^- , F, Cl, SO_4^{2-} a P. Současně proběhlo snížení koncentrací H, Al, Mn, Fe a C_{ox} . V hlubší části půdního profilu mezi 30 a 100 cm probíhalo ve vodě zvyšování obsahu Na, Ca, Fe, Al a v malé míře též u Cl a SO_4^{2-} . Snížení koncentrací se projevilo u H, Mn, Zn, NH_4^+ , NO_3^- , F, P a C_{ox} (obsahu humusových látek). V druhém období, v letech 2003 až 2008 se v gravitační vodě pod humusovým horizontem projevilo zvýšení průměrných koncentrací všech sledovaných látek.

V mladém porostu smrku byla v letech 1996 až 2002 vedle podkorunových srážek zachycována jen voda pod humusovým horizontem O. V tomto období se v 2 až 4 cm mocném, bohatě prokořeněném horizontu pokravného humusu v perkolující gravitační vodě zvyšovaly obsahy C_{ox} , Al, Fe a Cu. Ostatní ionty byly odlučovány. V druhém sledovaném období 2003–2008 se vedle C_{ox} , Al, Fe, Cu projevoval nárůst koncentrací protonů (H^+) a P. Ostatní prvky či ionty byly z protékající vody v humusovém horizontu odlučovány (tab. 3).

Změny koncentrací sledovaných látek ve vodě protékající ekosystémem dospělého smrkového porostu (plocha 1) jsou uvedeny v tab. 4. Při průchodu vody podkorunových srážek pokravným humusem se v ní v období let 1996–2002 zřetelně zvyšovaly obsahy C_{ox} , H, Mg, Ca, Al, Fe, Mn, Cl, SO_4^{2-} , P a jen mírně narůstaly koncentrace u K, NH_4^+ a Cu, nárůst nebyl patrný u Na/ NO_3^- a F. Pokles koncentrací byl stanoven u Zn. Při průchodu gravitační vody půdou do hloubky 30 cm se v ní zvyšovaly koncentrace Na, Mg, Ca, Cl a SO_4^{2-} . Snižoval se obsah ostatních látek (C_{ox} , H, K, Al, Fe, Mn, Zn, NH_4^+ , NO_3^- , F i P). Ve druhém sledovaném období (2002–2006) prořídly koruny smrku a na jižní straně od měrného zařízení byl porost smýcen ve vzdálenosti menší než je výška stromů. V tomto období ve vodě perkolující pokravným humusem probíhalo navýšování většiny sledovaných látek (C_{ox} , H, K, Mg, Al, Fe, Mn, NH_4^+ , NO_3^- , F, SO_4^{2-} a P), malé změny byly zjištěny u koncentrací Na, Ca, Cl a zřetelný pokles byl stanoven v obsahu Zn. Při dalším průtoku vody povrchovým horizontem minerální půdy do hloubky 30 cm byla zjištěna narůstající a průměrná koncentrace u Na, K, Ca, Al, Zn, NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , P a jen malá změna u Al, Mn, Cl. V této půdní gravitační vodě poklesly průměrné koncentrace C_{ox} , H, Fe a F. V hloubce 100 cm nebyla po roce 2002 voda zachycována.

Vývoj koncentrací látek v porostních srážkách a v půdní vodě v mladém porostu buku (plocha 5) ukazují data v tab. 5. V období let 1996 až 2002 se ve vodě protékající humusovým horizontem, oproti vodě srážkové, zvyšovaly průměrné koncentrace téměř všech sledovaných látek, s výjimkou vodíkových iontů (narostlo pH) a Cl, jejichž koncentrace se snížily. Při další cestě vody povrchovými půdními horizonty se v lyzimetrické vodě, zachycované v hloubce 20 cm, projevovalo zvýšení koncentrací H iontů (pokles pH) a Na, Al, F a SO_4^{2-} . U ostatních prvků nebo iontů byl zjištěn pokles průměrných obsahů.

Ve druhém sledovaném období (2003–2008) se v půdní vodě zachycované pod humusovým horizontem oproti srážkové vodě zvyšovaly průměrné koncentrace většiny sledovaných látek s výjimkou NH_4^+ , NO_3^- a Cl iontů, jejichž průměrné obsahy poklesly. Poněkud se snížila hodnota pH oproti srážkám (narostla koncentrace H^+), ale byla vyšší než v předchozím období. Při průtoku vody půdou měla gravitační voda v hloubce 20 cm větší koncentrace H^+ (nižší pH) a větší koncentrace Na, Zn, Cl, F, SO_4^{2-} a P. Naopak v průměrných hodnotách se projevilo snižování obsahu C_{ox} , K, Mg, Ca, Al, Fe, Mn, NH_4^+ a NO_3^- .

Změny chemismu vody povrchových zdrojů

V tab. 6 jsou uvedeny průměrné koncentrace látek ve vodě povrchových zdrojů v obou hodnocených obdobích. Ve vodě Pekelského potoka byly stanoveny vyšší obsahy bazických kationtů Na, Mg, Ca než v půdní vodě hodnocených lesních porostů. Koncentrace Cl a SO_4^{2-} v podstatě odpovídají množství těchto iontů v půdních vodách. Naopak C_{ox} (humusové látky), sloučeniny N (NH_4^+ , NO_3^-), Fe, Al, Mn, Zn, Cu a P jsou v půdě z protékající vody odlučovány (tab. 2 až 6). Ve druhém hodnoceném období (2003–2008) se ve vodě Pekelského potoka ve srovnání s prvním obdobím (1996–2001) zvýšilo průměrné pH z 7,22 na 7,63. Snížily se průměrné koncentrace aniontů SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl, F a také NH_4^+ a P. Dále poklesly koncentrace kovů Al, Fe, Mn i Zn. Ve vodě se naopak mírně zvýšil obsah rozpuštěných kationtů Na, K, Mg, Ca, a proto vzrostla diference mezi molární hodnotou bazických kationtů a aniontů silných kyselin [$(Na^+ + K^+ + Mg^{2+} + Ca^{2+}) - (SO_4^{2-} + NO_3^- + Cl + F)$], označovaná jako alkalita. Tento rozdíl dosahoval v letech 1996–2002 průměrně 0,580 mmol.l⁻¹, letech 2003–2008 pak 0,712 mmol.l⁻¹. Průměrná alkalita stanovená v jednotlivých vzorcích vody byla 0,684 mol.l⁻¹ (2003–2008).

V povodí Pekelského potoka byl též zjišťován chemismus vody z pramene vyvěrajícího do potoka asi 100 m nad přepadem. Dílčí povodí pramene tvoří také 2 ha zemědělské půdy. Porovnáme-li průměrné výsledky analýz obou hodnocených období, vidíme, že se v druhém období ve vodě zvýšilo pH (z 6,74 na 7,02). Ve vodě se v druhém období podstatněji snížily koncentrace aniontů silných kyselin (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl, F) než koncentrace bazických kationtů. Proto se ve vodě pramene zvýšil rozdíl mezi molární hodnotou bazických kationtů a aniontů silných kyselin z 0,229 na 0,365 mmol.l⁻¹. Podpovodí pramene vytváří vedle zemědělských pozemků i bohatší lesní typy, na rozdíl od větší části povodí potoka.

Tab. 6 obsahuje průměrné hodnoty stanovených koncentrací prvků či iontů ve vodě pramene vyvěrajícího v polích u Brzotic. Zde ve druhém sledovaném období poklesly ve vodě koncentrace téměř všech stanovených prvků. Nejzřetelněji u iontů SO_4^{2-} , Cl, NH_4^+ , dále u Ca, P a kovů Mn, Fe, Zn, méně u NO_3^- . Větší pokles obsahu aniontů oproti bazickým kationtům způsobil zvýšení průměrného pH vody z 6,59 na 6,97, ale zvýšení vypočtené alkality bylo nepatrné (z 0,235 na 0,236 mmol.l⁻¹). Alkalita stanovená v laboratorii byla vyšší než vypočtená KNK, a to 0,287 mmol.l⁻¹. Ve vodě tohoto polního pramene se zřetelně projevují aplikace hnojiv na povodí, především v obsahu NO_3^- , Cl, Ca, Mg a K. Tato voda má též nejvyšší průměrné pH ze všech tří sledovaných povrchových zdrojů.

DISKUSE

V období konce osmdesátých a počátku devadesátých let minulého století probíhalo prudké snižování emisí SO_2 , NO_x , NH_3 a dalších imisních látek v evropském měřítku a současně i v České republice. Poklesy emisí v naší republice do roku 2002 jsou uvedeny v úvodní části tohoto příspěvku. Údaje o poklesu spadu látek v tomto období na výzkumných objektech VÚLHM publikoval LOCHMAN et al. 2005a, 2008a, b. Vývoj depozice látek se srážkovou vodou přímo v objektu Želivka do roku 2000 hodnotí LOCHMAN et al. 2005b. Vývoj celkové depozice hlavních imisních látek a úroveň spadu všech sledovaných látek v monitorovaném porostu smrku v letech 2006 a 2007 uvádí Ročenka programu ICP Forest (BOHÁČOVÁ et al. 2009). V dospělém porostu smrku na monitorační ploše J 140 byly v podkorunových srážkách shledávány nižší roční spady všech látek oproti porostu smrku na ploše 1. Naopak na volné ploše monitoringu, umístěné vedle zemědělských pozemků, byly stanoveny vyšší depozice všech prvků nebo iontů než na seči (plocha 3). Roční koncentrace iontů H^+ , NH_4^+ , NO_3^- a SO_4^{2-} v monitorovaném porostu J 140 vykazují nižší hodnoty než ve smrkovém porostu na ploše 1. Rovněž na volné ploše na seči

Tab. 4.

Vývoj koncentrací sledovaných látek ve vodě protékající dospělým smrkovým porostem (porost 1) [mg.l⁻¹]
Development of substances concentrations in the water percolating mature spruce stand (plot 1) [mg.l⁻¹]

odběrové místo/sampling place	období/period	H	Na	K	Mg	Ca	Al	Mn	Fe	Zn	Cu	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	P	Nt	Cox
podkorunové srážky/throughfall	1996-2001	0,039	1,1	9,66	1,36	6,88	0,197	1,124	0,091	0,16	0,008	4,02	18,85	0,197	4,6	25,93	0,391	7,33	33,92
	2002-2006	0,018	0,87	6,44	0,81	5,36	0,091	0,731	0,055	0,235	0,004	3,65	13,92	0,15	6,63	11,55	0,291	5,98	25,06
graviční voda pod horizontem O/ gravitational water under the „O“ horizon	1996-2001	0,135	1,0	10,77	2,04	11,41	0,961	1,694	0,472	0,077	0,01	4,25	18,32	0,182	6,75	33,79	0,486	7,5	98,37
	2002-2006	0,051	0,9	11,88	1,18	5,35	0,403	1,154	0,248	0,054	0,006	4,80	18,54	0,221	5,61	14,11	0,602	7,29	70,49
graviční voda v hloubce 30 cm/gravitational water in 30 cm depth	1996-2001	0,027	2,74	6,91	8,15	18,26	0,731	0,661	0,161	0,051	0,008	2,63	10,58	0,124	8,34	76,95	0,428	4,43	49,77
	2002-2006	0,032	1,44	14,05	3,03	9,07	0,468	1,008	0,173	0,101	0,007	6,65	30,89	0,156	5,37	21,89	1,559	12,12	51,98

Tab. 5.

Vývoj koncentrací sledovaných látek ve vodě protékající mladým porostem buku (porost 5) [mg.l⁻¹]
Development of substances concentrations in the water percolating young beech stand (plot 5) [mg.l⁻¹]

odběrové místo/sampling place	období/period	H	Na	K	Mg	Ca	Al	Mn	Fe	Zn	Cu	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	P	Nt	Cox
podkorunové srážky/throughfall	1996-2002	0,023	0,475	2,67	0,49	2,54	0,042	0,225	0,031	0,028	0,005	1,07	5,99	0,056	3,09	5,41	0,149	2,18	8,42
	2003-2008	0,017	0,473	2,01	0,21	1,14	0,018	0,127	0,014	0,022	0,003	1,08	5,09	0,032	1,90	2,72	0,085	1,94	1,76
stok po kmeni/stem flow	1998-2002	0,013	0,397	3,09	0,33	0,88	0,030	0,098	0,027	0,012	0,005	1,62	4,56	0,084	1,95	4,29	0,067	2,29	14,49
	2003-2008	0,010	0,380	2,90	0,16	0,66	0,021	0,079	0,020	0,014	0,003	1,36	3,68	0,072	0,97	2,56	0,028	1,96	2,31
graviční voda pod horizontem O/gravitational water under the „O“ horizon	1996-2002	0,020	0,557	5,04	1,05	6,92	0,408	0,794	0,222	0,051	0,010	1,49	20,09	0,057	2,22	7,27	0,449	5,88	33,75
	2003-2008	0,019	0,563	30,50	0,53	3,70	0,503	0,426	0,354	0,042	0,005	0,55	3,53	0,042	1,54	4,65	0,097	1,26	1,96
graviční voda v hloubce 20 cm/ gravitational water in 20 cm depth	1996-2002	0,029	0,680	1,75	0,80	4,15	0,598	0,513	0,096	0,044	0,006	0,68	10,72	0,129	1,96	8,93	0,240	2,95	13,31
	2003-2008	0,030	1,173	1,85	0,51	2,70	0,396	0,341	0,089	0,112	0,004	0,42	2,70	0,093	1,93	8,13	0,114	0,82	1,36

Tab. 6.

Průměrné hodnoty koncentrací sledovaných látek v povrchových vodních zdrojích objektu Želivka [mg.l⁻¹]
Average substances concentrations in the surface water resources of Želivka [mg.l⁻¹]

vodní zdroj/water source	období/period	pH	Cox	Na	K	Mg	Ca	Al	Mn	Fe	Zn	Cu	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	P	alkalita/alkalinity ¹	alkalita/alkalinity ²
Pekelský potok/ stream	1996-2002	7,22	4,44	7,15	1,47	3,1	10,49	0,024	0,008	0,070	0,008	0,003	0,104	2,290	0,100	3,97	18,87	0,042	0,580	
	2003-2008	7,62	2,64	7,50	1,51	3,2	10,67	0,015	0,005	0,026	0,006	0,003	0,028	2,030	0,083	3,28	15,64	0,027	0,712	0,684
lesní pramen/ forest stream	1996-2002	6,74	4,63	12,02	2,49	5,2	15,58	0,008	0,004	0,012	0,018	0,003	0,193	12,800	0,067	7,68	54,51	0,067	0,229	
	2003-2008	7,02	3,54	11,01	2,66	4,3	12,42	0,018	0,007	0,015	0,008	0,003	0,091	8,810	0,054	5,17	41,51	0,027	0,365	0,357
pramen v poli/ field stream	1996-2002	6,59	5,52	14,92	3,70	9,7	33,54	0,011	0,015	0,016	0,010	0,003	0,167	86,210	0,069	30,83	34,43	0,125	0,235	
	2003-2008	6,96	2,50	14,53	3,13	8,2	27,27	0,013	0,003	0,005	0,005	0,003	0,025	80,250	0,052	24,08	25,92	0,032	0,326	0,287

¹ alkalita mmol/alkalinity (Ca²⁺+ Mg²⁺+ K⁺+ Na⁺) - (SO₄²⁻+ NO₃⁻+ Cl⁻+ F⁻); ² alkalita stanovená v laboratoři/laboratory-determined alkalinity

(plocha 3) byly průměrné koncentrace uvedených iontů od roku 1999 spíše nižší než na volné ploše monitoringu. Mezi roky 1998 až 2007 se na plochách monitoringu projevovat trend poklesu koncentrací SO_4^{2-} ve srážkové vodě a menší pokles spadu N . Na plochách monitoringu se od roku 1999 do roku 2007 téměř nezměnilo průměrné roční pH srážkové a okapové vody (BOHÁČOVÁ et al. 2009).

Výsledky analýz srážek volné plochy a podkorunových srážek vyjadřují snižováním obsahu SO_4^{2-} , Cl^- , F^- a kovů pokles znečištění ovzduší plyny a aerosoly a poklesem obsahů Ca , Mg , Al snížení prašnosti v ovzduší. Ve druhém sledovaném období narostly pouze koncentrace u Cl^- v podkorunových srážkách porostu smrku (plocha 1) a u Na v mladém porostu smrku (plocha 3a) a ve srážkách na volné ploše. Nejzřetelnější pokles spadu a koncentrace látek v podkorunových srážkách na ploše 1 je pravděpodobně ovlivněn defoliací dospělého smrkového porostu. V mladých porostech smrku a buku se po těžebním zásahu (probírce) provedeném v první polovině devadesátých let listová plocha zvětšovala. Vliv velikosti listové plochy na intercepci letních srážek v korunách smrku hodnotí KREČMER a FOJT (1987). V korunách starších porostů bylo zachycováno asi 35 % srážek volné plochy a v mladších porostech až 45 % srážek. Ve stejných porostech na objektu Želivka zjistil FOJT (1987) zachycování až 60 % zimních tuhých srážek v korunách smrku.

Obsahy látek ve stoku po kmeni ukazují velké vymývání draslíku z kůry a rovněž velké zachycování NH_4^+ a F^- v kůře buku.

Při hodnocení působení půdního profilu na seči na chemismus odtékající vody je nutné uvést, že do humusu a půdy zasahují kořeny sousedních smrků, které mohou působit na výměnu látek. Nárůst koncentrace většiny látek ve vodě procházející organominerálním a minerálním horizontem do hloubky 30 cm je možné vysvětlit rozkladem humusových látek nebo výměnou kationtů ze sorpčního komplexu za ionty H^+ a díky výměně kationtů ze sorpčního komplexu za ionty H^+ narůstalo pH vody. Spolu s humusovými látkami (C_{ox}) se zde zachycovaly i Fe , Mn a Al . V hlubší části půdního profilu (do 100 cm) ve vodě narůstaly jen koncentrace bazických kationtů v závislosti na růstu koncentrací SO_4^{2-} a Cl^- . Přímo v mladém porostu smrku způsobovala síť povrchových kořenů smrku ve vodě protékající v pokryvném humusu jen navýšení obsahu C_{ox} , Fe , Al a Cu . Ve druhém sledovaném období se ve vodě perkulující humusem zvyšovaly i koncentrace H^+ a P .

V dospělém porostu smrku se v letech 1996 až 2001 ve vodě při průtoku humusovým horizontem zřetelně zvyšovaly koncentrace většiny sledovaných látek, ale jen nepatrně u sloučenin N (NH_4^+ , NO_3^-), u K , F^- a klesaly obsahy Zn . V gravitační vodě protékající půdními horizonty do hloubky 30 cm spolu s nárůstem koncentrací SO_4^{2-} a Cl^- probíhala i sorpční výměna Na , Mg , Ca a narůstalo pH vody.

Pokles koncentrací NH_4^+ , NO_3^- a K ukazuje na jejich odběr kořeny. Nárůst obsahu SO_4^{2-} a Cl^- je důsledkem jejich diskriminace při příjmu živin kořeny porostu, jejich dynamikou v půdě je způsobeno i vymývání kationtů Na , Mg , Ca . Současně byly v povrchovém minerálním horizontu zachycovány i kovy.

Ve druhém období (2002–2006) při zvýšení tepelného požitku půdy se při průchodu vody pokryvným humusem zvyšovaly koncentrace všech zjišťovaných látek s výjimkou Zn . Při průtoku vody organominerálním a povrchovým minerálním horizontem se ve vodě snižovaly jen koncentrace H^+ (zvyšovalo se pH), C_{ox} , Fe a F^- a pokračovalo uvolňování hlavních prvků potřebných pro výživu porostů.

Bohatý opad v porostu buku způsobil v prvním sledovaném období ve vodě protékající pokryvným humusem nárůst obsahu všech prvků a iontů s výjimkou protonů (H^+) a Cl^- . Příznivé minerální složení opadu a průběh mineralizace nepůsobily snížení pH protékající vody. V lyzimetrické gravitační vodě zachycované v hloubce 20 cm se zvyšovaly jen koncentrace Na , Al , F^- , SO_4^{2-} a probíhaly zde procesy uvolňující ionty H^+ a intenzivní odběr živin. Ve druhém sledovaném období

se ve vodě protékající humusovým horizontem vedle koncentrací Cl^- snižovaly i koncentrace NH_4^+ a NO_3^- . Ve vodě zachycované v hloubce 20 cm se oproti vodě proteklé pokryvným humusem zvyšovaly nejen koncentrace H^+ , Na , F^- , SO_4^{2-} , ale i NO_3^- , Cl^- a P . Pokles obsahu většiny živin ve vodě procházející povrchovým minerálním horizontem v porostu buku svědčí o hojnějším prokořnění a jejich intenzivnějším odběru. Prudký pokles obsahu sloučenin dusíku i dalších živin ve vodě protékající humusem pod porostem buku může působit vedle jejich poklesu spadu se srážkami i odvívání opadu buku z lyzimetrů a snižování intenzity rozkladných procesů.

Podle dřívějších šetření v humusových a humózních horizontech dynamika kationtů souvisela hlavně s dynamikou SO_4^{2-} , ale pohyb Fe koreloval s mírou pohybu humusových látek (C_{ox}) (LOCHMAN 1983; LOCHMAN et al. 1982).

Na monitorační ploše J 140, v téměř stejném starém porostu smrku jako na ploše 1, je v Ročence ICP Forest (BOHÁČOVÁ et al. 2009) pro roky 2006 a 2007 uveden obsah sledovaných látek v půdní vodě. Rok 2006 byl posledním rokem výzkumu ve smrku na ploše 1 a je tedy možné porovnání chemismu půdní vody obou ploch (porostů). Průměrné koncentrace látek ve vodě zachycované pod pokryvným humusem na monitorační ploše byly zpravidla nižší zejména u NH_4^+ a NO_3^- , K a Ca a naopak vyšší průměrné koncentrace byly shledány u H , Al , Fe . V půdní vodě získané beztlakovými lyzimetry na monitorační ploše v hloubce 30 cm byly též nižší koncentrace většiny látek než na ploše 1, s výjimkou iontů H , Al , Mn a Zn , jejichž obsah byl ve vodě z monitorační plochy vyšší. Větší obsahy hlavních bioprvků včetně DOC ve vodě z plochy 1 odpovídají vyššímu spadu látek na této ploše a pravděpodobně intenzivnějšímu rozkladu biomasy pokryvného a půdního humusu než na monitorační ploše. Příčinou tohoto jevu byla změna mikroklimatu vyvolaná již zmíněnou těžbou v porostu, která umožnila průnik slunečních paprsků pod korunami smrku na ploše 1. Nízké hodnoty koncentrace NH_4^+ a NO_3^- ve vodě odtékající z humusového horizontu O na monitorační ploše odpovídají spíše průměrným hodnotám stanoveným ve vodě zachycované pod pokryvným humusem v mladém porostu smrku (plocha 3a).

Koncentrace bazických kationtů a aniontů ve vodě Pekelského potoka byly v obou sledovaných obdobích podobné, zejména ve druhém období na povodí neprobíhaly povrchové povodňové odtoky vody. Průměrné koncentrace aniontů mírně poklesly a u bazických kationtů mírně narostly. Zvýšil se jejich podíl přicházející ve formě uhličitánu, a proto narostla alkalita vody. Příznivý vývoj chemismu odtékající vody umožňuje mocný zvětralinný, ale i sedimentový plášť, kterým srážková voda odtéká do Pekelského potoka (KLABLENA 1978). Mírný pokles průměrného obsahu bazických kationtů Na , Mg , Ca ve vodě lesního pramene a podstatnější snížení sloučenin N , Cl^- , SO_4^{2-} a P může být způsoben snížením míry aplikace hnojiv a samozřejmě poklesem spadu většiny látek. Ve vodě pramene v polích u Brzotic se velmi zřetelně projevuje používání hnojiv především v koncentracích nitrátů a chloridů (lehce vyplavitelných) a také v koncentracích Ca , Mg a K . Nejvyšší průměrné roční obsahy nitrátů byly shledávány okolo roku 2000, kdy jejich hodnoty překračovaly koncentrace stanovené na konci osmdesátých let minulého století v období intenzivního hnojení (LOCHMAN et al. 2005a). Nárůst obsahu NO_3^- ve vodách tohoto pramene mohlo způsobit uvolňování dusíku při rozkladu půdní organické hmoty zapříčiněné nárůstem teplot v letním období.

Tyto vysoké koncentrace NO_3^- výrazně překračují limit uvedený ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví ČR č. 252/2004 Sb. pro pitnou vodu (50 mg.l^{-1}). Vyšší hodnoty NO_3^- ve vodách odtékajících ze zemědělsky obhospodařovaných povodí do přehradní nádrže na Želivce jsou kompenzovány nízkými hodnotami NO_3^- ve vodách odtékajících ze zalesněných povodí. Voda Pekelského potoka a pramene v povodí vyhovuje námi sledovanými parametry požadavkům citované vyhlášky MZd. Nedosahuje pouze minimální mezní hodnoty koncentrací obsahu Ca a Mg 30 a 10 mg.l^{-1} .

ZÁVĚR

Na pokusných plochách v lesních porostech na povodí Pekelského potoka se projevilo snižování emisí a imisí, probíhající od konce osmdesátých let minulého století. To probíhá i na počátku 21. století a projevuje se pokračujícím trendem snižování koncentrace sledovaných látek ve srážkových vodách. Sbližuje se míra spadu H iontů na volné ploše (bulk) s jejich spadem s podkorunovými srážkami. Na všech plochách probíhal pokles spadu SO_4^{2-} , Ca, Mg, Al a těžkých kovů, méně u sloučenin dusíku (NH_4^+ , NO_3^-) a Cl⁻ měly nejednotné trendy. Vyrovnávalo se obohacování srážek v korunách smrku a buku. Zřejmě činností epifytní mikroflory na listech buku v závislosti na počasí působí v podkorunových srážkách především kolísání sloučenin N. Zvýšení exponovanosti korun stromů vůči proudění vzduchu zvyšuje imisní zatížení podkorunových srážek.

Při průchodu vody lesními ekosystémy se v pokryvném humusu (horizontu O) ve srážkové vodě projevují nárůsty koncentrací sledovaných látek. Pouze v mladém porostu smrku byly v letech 1996 až 2002 v nevýrazném a silně prokořeněném humusovém horizontu z perkolující vody odlučovány hlavní živiny.

V povrchových horizontech minerální půdy jsou zadržovány z vody humusové látky (C_{ox}), Fe, P a odlučovány sloučeniny N (NH_4^+ a NO_3^-), K, Mn. Zvyšují se koncentrace diskriminovaných iontů SO_4^{2-} a nejednotné trendy mají Cl⁻, Na, F. Zatímco ve smrku v povrchových horizontech minerální půdy ve vodě narůstaly koncentrace Ca a Mg a zvyšovalo se pH, v porostu buku se ve vodě snižovalo pH a snižovaly se koncentrace Ca i Mg, zřejmě v důsledku hlubšího prokořenění buku a odběru živin. Rozklad pokryvného humusu a organického materiálu povrchových minerálních horizontů může být stimulován při nárůstu tepelného požitku způsobeného vysokými vzdušnými teplotami nebo těžebními zásahy spojenými s osluněním povrchu půdy.

Ve vodě Pekelského potoka byly zjišťovány podstatně vyšší obsahy bazických kationtů Na, Mg, Ca než v půdní vodě. Koncentrace Cl⁻ a SO_4^{2-} odpovídaly koncentracím v půdní vodě. Ostatní látky – C_{ox} , H, NH_4^+ , NO_3^- , Fe, Al, Mn, Zn, Cu a P – se z vody v půdě odlučovaly. Ve druhém sledovaném období se snížily koncentrace většiny monitorovaných látek s výjimkou Na, Mg a K, jejichž obsahy spolu s pH a alkalitou narostly. Přispěl k tomu i způsob odtoku vody v tomto období, kdy převažoval podzemní (základní) odtok nad přímým odtokem.

Hluboké zóny zvětrávání spolu s mocným zvodnělým obzorem umožňují odlučování kovů a sloučenin N a P z protékající vody a obohacování vody o Na, Mg, Ca. Složení vody také nevykazovalo větší výkyvy při jednotlivých odběrech.

Bohatší lesní typy a zemědělská produkce na části povodí lesního pramene, spolu s propustnějšími půdami a méně mocnou zónou zvětrávání, způsobovaly výkyvy v chemismu vody lesního pramene.

Ve vodě pramene v polích u Brzotic se projevuje aplikace hnojiv ve vyšší koncentraci použitých látek. Ve druhém sledovaném období (2003–2008) se oproti prvnímu období (1996–2002) snížily koncentrace všech sledovaných iontů, ale poměrně málo u NO_3^- .

Poděkování:

Príspevek byl zpracován v rámci řešení výzkumného záměru MZE0002070203 „Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí“.

LITERATURA

- ALEWELL C., ARMBRUSTER M., BITTERSÖHL J., EVANS C. D., MEESENBURG H., MORITZ K., PRECHTEL A. 2001. Are there signs of acidification reversal in fresh waters of the low mountain ranges in Germany? *Hydrology and Earth System Sciences*, 5: 367–378.
- BOHÁČOVÁ L. et al. 2009. Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice. Ročenka programu Forest Focus 2006 a 2007. Strnady, VÚLHM: 134 s.
- ČHMÚ. 2000. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 1999. Air pollution in the Czech Republic in 1999. Praha, Český hydrometeorologický ústav: 197 s.
- ČHMÚ. 2003. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2002. Air pollution in the Czech Republic in 2002. Praha, Český hydrometeorologický ústav: 158 s.
- EVANS C.D., CULLEN J.M., ALEWELL C., KOPÁČEK J., MARCHETTO A., MOLDAN F., PRECHTEL A., RAGORA M., VESELÝ J., WRIGHT R. 2001. Recovery from acidification in European surface waters. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5: 283–297.
- FERRIER R.C., JENKINS A., WRIGHT R.F., SCHÖPP W., BARTH H. 2001. Assessment of recovery of European surface waters from acidification 1970–2000. An introduction to the Special Issue. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5: 274–282.
- FOJT V. 1987. Zimní atmosférické srážky a sněhové poměry ve smrkových porostech chlumní oblasti. *Práce VÚLHM*, 70: 203–228.
- KLABLENA J. 1978. Zpráva o geofyzikálním měření v prostoru výzkumného povodí VD Želivka. Brno, GEOFYZIKA: 11 s., příl.
- KOLMAN F. 1972. Zhodnocení hydrogeologických prací v Kozlí u Ledče n. Sáz. Praha, Vodní zdroje
- KREČMER V., FOJT V. 1987. Složky vodní bilance ve vztahu k nadzemní biomase korun (Želivka). Etapová závěrečná zpráva úkolu U-331-101-01/04. Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 34 s.
- KREŠL J., HERYNEK J. 1987. Hydrologická charakteristika malého zalesněného povodí, Pekelský potok, 1976–1985. Závěrečná zpráva úkolu 331-101-04/01. Brno, VŠZ: 31 s., příl.
- LOCHMAN V., LETTL A., LANGKRAMER O., JAKŠ M. 1982. Působení imisí ve smrkových porostech na složení půdní gravitační vody. *Práce VÚLHM*, 61: 37–51.
- LOCHMAN V. 1983. Spady v porostech a jejich vliv na lesní půdy. Disertační práce. Jíloviště-Strnady, VÚLHM.
- LOCHMAN V., BÍBA M., FADRHOŇSOVÁ V. 2005a. Vývoj depozice látek a chemismu půdy ve východní části Českého Krasu. *Zprávy lesnického výzkumu*, 50 (3): 191–199.
- LOCHMAN V., FADRHOŇSOVÁ V., BÍBA M. 2005b. Water chemistry development of surface sources in the Želivka area with regard to pollution load and management in the catchment. *Communications Instituti Forestalis Bohemicae*, 21: 54–74.
- LOCHMAN V., BÍBA M., FADRHOŇSOVÁ V. 2008a. Chemistry of water in forests in relation to changes of air pollution load. *Communications Instituti Forestalis Bohemicae*, 24: 131–151.
- LOCHMAN V., BÍBA M., FADRHOŇSOVÁ V. 2008b. Vyhodnocení vývoje chemismu půdního profilu na plochách Zdíkov v oblasti Šumavy. *Zprávy lesnického výzkumu*, 53 (3): 179–191.
- MRÁZ K. 1973. Terénní výzkum lesních humusových forem a půd výzkumného objektu Želivka. Etapová závěrečná zpráva výzkumného úkolu P-16-331-053-01. Jíloviště-Strnady, VÚLHM: 41 s.

PRECHTEL A., ALEWELL C., ARMBRUSTER M., BITTERSÖHL J.M., EVANS C.D., HELLIWELL R., KOPACEK J., MARCHETTO A., MATZNER E., MEESENBURG H., MOLDAN F., MORITZ K., VESELÝ J., WRIGHT R.F. 2001. Response of sulphur dynamics in European catchments to decreasing sulphate deposition. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5, 311–325.

SKJELKVALE B.L., ANDERSEN T., HAALVORSEN G.A., RADUM G.G., HEEGAARD E., STODDARD J., WRIGHT R.F. 2000. The twelve year report. Acidification of surface water in Europe and North America. Trends, biological recovery and heavy metals. Convention on long range transboundary air pollution. International co-operative programme on assessment and monitoring of acidification of Rivers and Lakes. Oslo, Norwegian Institute for Water Research: 115 s.

STODDARD J. L., JEFFRIES D. S., LUKEWILLE A., CLAIR T. D., DILLON P.J., DRISCOLL C.T., MUDROCH P.S., PATRICK S., REHSDORP A., SKJELKVALE B.L., STANTON M.P., TRAEN T.S., VAN DAM H., WEHSTER K.E., WIETIG J., WILANDER A. 1999. Regional trends in aquatic recovery from acidification in North America and Europe 1980–1995. *Nature*, 401: 575–578.

WRIGHT R.F., ALEWELL C., CULLEN J.M., EVANS C.D., MARCHETTO A., MOLDAN F., PRECHTEL A., ROGORA M. 2001. Trends in nitrogen deposition and leaching in acid – sensitive streams in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5: 299–310.

Vyhláška ministerstva zdravotnictví ČR č. 252/2004 Sb.

AIR POLLUTANTS DEPOSITION DEVELOPMENT AND THEIR INPUT INTO RUNOFF WATER IN THE REGION OF BOHEMIAN-MORAVIAN HIGHLAND

SUMMARY

Within the Pekelsky stream research watershed (Bohemian-Moravian Highland, Czech Republic), precipitation chemistry and chemistry of soil water was studied in the young and mature spruce stand, and in young beech stand.

Average data from the periods of 1996–2002 and 2003–2008 show that the average year fallout of protons was decreasing, both in the stands and in clear-cuts; the lowest decrease was recorded in the young beech stand (Tab. 1). As for anions of strong acids, the highest decrease was recorded with SO_4^{2-} , mainly in mature spruce stand. The highest decrease of Cl^- and F^- in the 2003–2008 period was recorded in precipitation water in open clear-cut, where reduction on a half of original value was measured.

Average yearly fallout of NO_3^- also decreased, but the total fallout of Nt ($\text{N}/\text{NO}_3^- + \text{N}/\text{NH}_4^+$) in the period of 2003–2008 decreased only a little, compared with the first period of measurement (1996–2002). In the second period, the deposition of metals – Al, Cu, Fe and Mn decreased. Except for throughfall precipitation in the mature spruce stand and stem-fall in the beech stand, the concentration of Zn also decreased.

In water sampled under the humus horizon with grass cover (clear-cut plot), the concentrations of nearly all the substances increased, with the exception of NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- and Zn, where the trends were unambiguous. In the gravitational water passing through the mineral soil up to 30 cm, concentrations of most substances increased as well as the water pH, and concentrations of Al, Fe, Mn and C_{ox} decreased (Tab. 2). In deeper part of the soil profile, the water pH was further increasing as well as concentrations of Na, Ca, Fe and Al.

In the young spruce stand with densely rooted horizon of upper humus layer, higher concentrations of C_{ox} , Al, Fe were recorded in soil water than in throughfall (Tab. 3).

In the 1996–2002 period, in the water passing through the humus horizon of mature spruce stand, concentrations of C_{ox} , H, Mg, Ca, Al, Fe, Mn, Cl^- , SO_4^{2-} obviously increased while concentrations of Na, NO_3^- and F^- remained unchanged, and concentration of Zn decreased. In the 2003–2006 period, after felling the neighbouring stand, concentrations of all substances in water under the humus horizon were higher, compared to the concentrations in throughfall water; only the amount of Zn decreased. (Tab. 4). In the water under mineral soil of 30 cm depth, amounts of most elements and pH increased, and the concentrations of C_{ox} , Fe a F^- decreased.

In the 1996–2002 period, in the beech stand the amount of nearly all the substances increased in the water passing through the upper humus layer O, with the exception of H^+ and Cl^- . In the 2003–2008 period, concentrations of most substances increased as well, with the exception of NH_4^+ , NO_3^- and Cl^- (Tab. 5). In the depth of 20 cm, the gravitational water showed lower pH than under the humus layer, and higher concentrations of Na, F^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Zn and P. Average concentrations of other substances decreased.

The Pekelsky stream water, compared to soil water in the research plots, had higher Na, Mg, Ca concentrations; pH reached an average value of 7.22 in 1996–2002, and 7.63 in 2003–2008. In the second period, concentrations of strong acid anions decreased and concentrations of the basic cations increased, and at the same time, alkalinity of water increased from $0.580 \text{ mmol.l}^{-1}$ to $0.712 \text{ mmol.l}^{-1}$ (Tab. 6).

Decomposition of the upper humus and organic material of the upper soil horizons and increased release of the evaluated substances can be stimulated by increase of the soil temperatures at high air temperature or after logging. In the Pekelsky stream catchment the forest ecosystems and deep zones of weathering have a positive effect on the chemistry of precipitation water in runoff to the surface sources.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Zdeněk Vícha, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
Na Půstkách 39, 738 01 Frýdek-Místek, Česká republika
tel.: +420 724 222 242; e-mail: vicha@vulhm.cz