

VÝVOJ DEPOZICE LÁTEK A CHEMISMU VODY POVRCHOVÝCH ZDROJŮ NA POVODÍCH V MORAVSKOSLEZSKÝCH BESKYDECH

DEPOSITION AND WATER CHEMISTRY DEVELOPMENT IN THE SURFACE WATER SOURCES OF THE WATERSHEDS IN THE MORAVIAN-SILESIA BESKIDS MTS., CZECH REPUBLIC

ZDENĚK VÍCHA - ZORA LACHMANOVÁ - VĚRA FADRHOŇSOVÁ - VÁCLAV LOCHMAN - MILAN BÍBA
Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady

ABSTRACT

Between the 1980s and 2010, the input of air pollutants into the forest stands was measured within the research watersheds of Červík and Malá Ráztoka (Beskids Mts., Czech Republic). The study focused on the dynamics of elements passing through the forest ecosystems and on run-off water chemistry development. The decrease of the fallout of basic cations in the 1990s was eliminated due to their release from the soil environment. The differences in the ion fall-out and output show the effect of the soil and weathered rock mantel on the concentrations of proton (H^+) and metals (Cu, Fe, Mn, Zn). In all the watersheds studied, the NH_4^+ ions are consumed, and in the Červík watershed, the NO_3^- output seems to overcome its elution. A passive balance of SO_4^{2-} , F⁻ and basic cations Na, Ca, Mg is visible in both watersheds, along with a passive balance also of K in Červík. The decrease of the basic cations fall-out was reflected slightly only in their amount in the water of streams. The decreasing of the dynamics of strong acid anions leads to higher alkalinity of the water sources.

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

Key words: deposition, emission of pollutants, forested watershed, water chemistry, Beskids Mts., Czech Republic

ÚVOD

Cílem příspěvku je vyhodnocení výsledků dlouhodobého sledování dynamiky imisních látek při průchodu půdním prostředím a jejich vlivu na chemické složení vody odtékající do vodních zdrojů. Na příkladu experimentálních povodí v oblasti Moravskoslezských Beskyd je zhodnoceno období od 80. let minulého až do prvního decénia 21. století, kdy došlo k výrazným změnám v množství i charakteru atmosférické depozice látek.

Výzkumná povodí Červík a Malá Ráztoka leží v Chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV) Moravskoslezské Beskydy. Význam pohoří pro zásobování ostravské aglomerace vodou vedl v padesátých letech minulého století k založení těchto experimentálních povodí. Na počátku osmdesátých let zde znečištění ovzduší imisními látkami dosahovalo takového stupně, že působilo akutní poškození porostů, zejména smrku. Tento stav vedl pracovníky VÚLHM k zahájení prací na sledování spadu látek se srážkami a na sledování chemismu vody (obsahu látek) v tocích na výzkumných povodích. Velmi silné zatížení imisními látkami v letech 1981 až 1984 dokládají publikované údaje (JAŘABÁČ, CHLEBEK 1983; LOCHMAN et al. 1986).

Práce uvádějí též data o chemismu půdní a potoční vody. Počátek osmdesátých let je obdobím, ve kterém ještě probíhaly plánované urychlené těžby porostů a jejich obnovy, na povodí Malá Ráztoka spojené se záměnou původních bukových porostů smrkem.

Druhé období sledování vývoje chemismu srážkové vody a vody toků na povodích započalo v roce 1991 a trvá dosud. Reflektuje globální snižování emisí a teritoriální snižování depozice imisních látek v plynné,

aerosolové formě, zejména SO_4^{2-} , Cl⁻, F⁻ a látek obsažených v tuhém spadu. Tyto trendy probíhají i na dalších povodích a výzkumných objektech (LOCHMAN et al. 2008a), ale mají svá specifika způsobená vnějšími faktory (míra znečištění ovzduší, klimatické výchytky) i stavem lesních ekosystémů, včetně jejich půd a geologických podloží. Na koloběhu látek v povodí se uplatňují i prováděné hospodářské zásahy v porostech.

V letech 1981–1982 byly na povodích provedeny první odběry a chemické analýzy vzorků půd. V dalším období působily kyselé spady snižování zásoby výměnných kationtů v minerální půdě a tento trend pokračuje i po roce 2000 (LOCHMAN et al. 2008b). Snižování spadu kyselých látek doprovází i snížení spadu bazických kationtů, dále probíhá depozice potenciálně kyselých látek (NH_4^+) a uvolňování síranů SO_4^{2-} z nestálých vazeb s oxidy Al, při jejichž vymývání jsou odnášeny kationty.

Změny v nasycení půd bazickými kationty a větší spady dusíku než 10 $kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ se však dosud podstatněji neprojevují ve vývoji chemismu vody povrchových zdrojů.

MATERIÁL A METODIKA

Popis povodí

Na povodí Červíku (1,85 km^2) existují samostatná dílčí povodí Červík A (0,88 km^2) a Červík B (0,84 km^2) s měrnými žlaby. Lesní porosty v povodí Červíku A byly mezi roky 1961 až 1989 téměř zcela obnoveny, převážně smrkem. Na povodí Červíku B zůstaly, s výjimkou nahodilých těžeb, převážně nedotčené dospělé smrkové porosty a v posled-

ních dvaceti letech zde probíhají jen nutné obnovní těžby.

Na povodí Malá Ráztoka (2,08 km²) byly převážně dospělé bukové porosty obnoveny do počátku devadesátých let (1976-1990), a to především smrkem. Podrobnější údaje o množství vytěžené dřevní hmoty a jejich zásobách jsou uvedeny v pracích Bíba et al. (2006) a Lochman et al. (2000).

Podrobnější údaje o povodích a jejich srážkoodtokových poměrech jsou uvedeny v tab. 1. Vzhledem k větší průměrné nadmořské výšce povodí Malá Ráztoka a poloze na okraji pohoří (Přední hory) zde bylo zachycováno více srážek než na povodí Červíku (Zadní hory) a probíhá zde i vyšší odtok vody (H₀). Je nutné též uvést, že v letech 1983, 1985 a 1987 byl na povodí Malá Ráztoka aplikován dolomitický vápenec vždy v množství 3 t na ha.

Popis prací

Srážková voda pro chemické rozborů byla zachycována do odkrytých srážkoměrů z umělé hmoty (bulk), umístěných na volné ploše nedaleko měrných žlabů a sumarizována do měsíčních vzorků. Vzorky vod z povrchových zdrojů byly odebírány u měrných přepadů v měsíčních intervalech a při mimořádných (zvýšených) průtocích. Po odběru byly vzorky zamrazeny. Pro množství srážek jsou používány hodnoty průměrných srážek na povodích (Hs). Na povodí Červíku byly od roku 2005 odebírány k rozborům i vzorky vody u hlavního žlabu pod soutokem potoků z Červíku A a Červíku B.

Metodika rozborů vod

Rozborů vody prováděla Zkušební laboratoř VÚLHM v Jílovišti-Strnadedech. Pro měření pH byla používána skleněná elektroda. Pro stanovení

koncentrace SO₄²⁻ a PO₄³⁻ byl do roku 1993 používán kolorimetr Technicon Autoanalyser II a u Cl⁻ a F⁻ iontové selektivní elektrody. Od roku 1994 jsou zjišťovány koncentrace SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻ a F⁻ na kapalinovém chromatografu Termoste Separation Products a NH₄⁺ na kolorimetru SAN Plus Autoanalyser. Od tohoto roku je stanovován rozpuštěný celkový P na spektrofotometru ICP OES Liberty 220 stejně jako koncentrace Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na a Zn. Do roku 1993 byly stanovovány zmíněné kationty na spektrofotometru Varian Techtron. Organický uhlík (Cox) 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.

VÝSLEDKY

Chemismus srážkových vod a celková depozice látek

Během let měření se pH srážkové vody snižovalo při současném poklesu jejich kontaminace hodnotenými látkami (tab. 2). Pokles koncentrací vykazovaly ionty SO₄²⁻, Cl⁻, F⁻, Ca, Mg, Na, Fe a Al. U většiny iontů se projevil zřetelný pokles koncentrací ve druhé polovině devadesátých let minulého století. U sloučenin dusíku (NO₃⁻ a NH₄⁺) byly zjištěny značné výkyvy průměrných ročních koncentrací a trend poklesu není patrný.

Celkové roční spady jsou do značné míry ovlivněny množstvím zachycené vody (tab. 3). Zřetelný je pokles spadů SO₄²⁻ od roku 1997, Cl⁻ od roku 2000 a spadu Ca, Mg, Na po roce 2000. Na vyšším ročním spadu látek se projevuje vliv delšího topného období v zimě 1995/1996 a 2005/2006.

Tab. 1.

Charakteristika experimentálních povodí Červík a Malá Ráztoka
Characteristics of the experimental watersheds Červík and Malá Ráztoka

	Červík	Malá Ráztoka
Východní zeměpisná délka/East longitude	18° 23'	18° 15'
Severní zeměpisná šířka/Northern latitude	49° 27'	49° 30'
Rozloha/Area [km ²]	1,85	2,076
Nadmořská výška/Altitude	640–960	602–1084
Průměrná nadmořská výška/Average altitude	800	840
Prům. plošná sklonitost podle Herbsta/Average slope (according to Herbst) [%]	30	50
Převládající expozice toku/Predominant flow exposure	SV/NE	SZ/NW
Délka toku/Length of the flow [m]	1945	2000
Pramen bystřiny v nadm. výšce/Spring flow – altitude [m]	900	962
Průměrný spád bystřiny/Average gradient of stream [%]	13,9	22,8
Lesnatost povodí/Forest coverage [%]	100	100
Geologický podklad/Geological substrate	godulský pískovec/godulic sandstone	godulský pískovec/godulic sandstone
	istebňanské břidlice/bridle	
Mechanický půdní typ/Mechanic soil type	písčité, jílovito-hlinitý/sand,clayed loam	hlinito písčité/loamy sand
Zastoupení dřevin/Tree species share [%]		
smrk/spruce	80,66	67,5
jedle/fir	1,28	0
buk/beech	17,3	21,93
ost. list./other broadleaves	0,78	10,57
Průměrný věk/Average age	48	51
Zásoba na 1 ha/Stock per 1 ha [m ³]	261	146
Průměrná roční teplota/Average annual temperature [°C]	6,5	6,9
Průměrné roční srážky/Average annual precipitation [mm]	1136,2	1251,7
Průměrný roční odtok/Average annual outflow [mm]	651,3	908,6

Vyšší koncentrace sledovaných látek ve srážkové vodě zachycované na volné ploše u měrného přepadu na Malé Ráztoce než ve vodě na povodí Červíku se projevují zejména od roku 1997. Týká se to iontů SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- , Ca , Mg , K , Na , Fe a Mn (tab. 2). Tato skutečnost spolu s vyššími ročními srážkovými úhrny způsobuje, že spady látek na Malé Ráztoce jsou zřetelně vyšší než na povodí Červíku (tab. 3). Během sledování se současně se snižováním kontaminace srážkové vody hodnocenými ionty snižovalo i její pH (tab. 2). Zřetelný pokles spadu celkového dusíku ($\text{N}/\text{NO}_3^- + \text{N}/\text{NH}_4^+$), zejména po roce 2001, je způsoben především poklesem spadu amonného dusíku (N/NH_4^+).

Chemismus vody vodních toků v povodích

Na povodí Červíku A, s porosty s převládajícím smrkem 2. věkové třídy, je sledován chemismus vody v potoce od roku 1991. Během sledovaného období až do roku 2007 se projevily nejnižší průměrné hodnoty pH okolo roku 1996 (pH 6,5), v dalších letech se hodnoty pH zvyšovaly a roční průměr pH v roce 2007 dosahoval 7,19 (tab. 4). Průměrné roční koncentrace SO_4^{2-} na počátku devadesátých let minulého století překračovaly 18 mg.l^{-1} (v jednotlivých odběrech $i > 21 \text{ mg.l}^{-1}$), po roce 2005 nedosahují 14 mg.l^{-1} . Pokles průměrných koncentrací NH_4^+ probíhá od roku 1992 až dosud. Snižování koncentrací NO_3^- se projevilo po roce 1993, po roce 2001 je spíše patrné jejich navýšení. Průměrné obsahy F^- byly od roku 1994 poměrně vyrovnané, větší kolísání probíhalo u Cl^- . Průměrné roční obsahy rozpuštěných bazických kationtů Ca , K , Mg , Na ve vodě potoka na měrném přepadu Červíku A nevykazovaly zřetelné trendy změn. Snižovaly se koncentrace sledovaných kovů Al , Mn , Zn .

Na povodí Červíku B, s převážně dospělými porosty, se pH vody v potoce odebírané u měrného přepadu pohybovalo na nižších průměrných hodnotách, než ve vodě odebírané na povodí Červíku A. Minimální průměrná roční hodnota pH 5,82 byla stanovena v roce 1996. Od roku 2003 průměrné hodnoty pH zde překračují 6,80. Koncentrace síranových iontů (SO_4^{2-}) v potoční vodě až do roku 1998 překračovaly 20 mg.l^{-1} . V dalších letech se snižovaly, přesto zůstávají stále zřetelně vyšší než ve vodě potoka na Červíku A. Také koncentrace NO_3^- zde byly během pozorování stále vyšší než ve vodě Červíku A, s nejvyššími ročními průměry v letech 1998 a 1999 ($4,92$ a $4,69 \text{ mg.l}^{-1}$). Průměrné obsahy Cl^- a F^- ve vodě potoka na Červíku B v průběhu pozorování mírně klesaly, stejně jako obsahy kationtů Ca a Mg . Zřetelnější pokles průměrných hodnot se v průběhu pozorování projevil u Al , Fe , Mn a Zn . Při srovnání údajů v tab. 4 jsou též patrné vyšší koncentrace Cl^- , F^- , Na , Mn a Zn ve vodě recipientu na povodí Červíku B než na povodí Červíku A.

Ve vodě potoka na Malé Ráztoce se pH vyvíjelo podobně jako na povodí Červíku. Od počátku devadesátých let klesalo do roku 1997 (pH 6,87) a v dalších letech stoupalo až na průměrné hodnoty 7,35 (2007). Průměrné roční hodnoty byly vždy vyšší než v potočích na Červíku. Koncentrace SO_4^{2-} v jednotlivých odběrech vzorků vody na počátku devadesátých let překračovaly 20 mg.l^{-1} a postupně klesly na průměrnou hodnotu $< 14 \text{ mg.l}^{-1}$. Zřetelně se snižovaly obsahy NH_4^+ , obsahy NO_3^- zůstávaly na vyšší úrovni než ve vodě toků na Červíku. Koncentrace Cl^- poklesly až po roce 2000. V pětiletých průměrech se neprojevuje zásadní změna koncentrací kationtů K , Na , Ca a jen mírný pokles obsahu Mg . Klesaly však průměrné koncentrace Al , Mn , Zn .

Rok 1997 je kvůli zvýšeným průtokům (povodňovým vlnám) charakteristický nejen nárůstem koncentrací Al a Fe , ale také snížením průměrů u Ca , Mg , Na . Během období let 1992 až 2007 byly průměrné koncentrace Ca ve vodě potoka na Malé Ráztoce stále vyšší a koncentrace u Mg a K stále nižší než ve vodě potoků na Červíku A a Červíku B.

Tab. 2. Průměrné koncentrace látek ve srážkách z volné plochy na povodích Červíku a Malé Ráztočky
Average concentrations of elements in precipitation in the open plot (bulk) within the Červík and Malá Ráztočka watersheds

Povodí/ Watershed	Období/Period	pH	K	Na	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Zn	NH_4^+	NO_3^-	Cl^-	F	SO_4^{2-}	P	Cu	N_i	TN
Červík	1992–1996	5,8	0,582	1,151	3,91	1,202	0,1	0,025	0,01	0,055	0,583	1,7	2,16	0,085	11,84		0,011	0,836	
	1997–2001	5,01	0,348	0,368	1,49	0,299	0,016	0,012	0,01	0,538	2,08	1,57	1,57	0,036	3,25	0,05	0,004	0,874	
	2002–2006	4,77	0,273	0,203	0,453	0,074	0,013	0,009	0,013	0,022	0,523	1,87	0,572	0,018	1,93	0,039	0,003	0,828	
	2007	4,85	0,219	0,216	0,403	0,079	0,005	0,004	0,006	0,016	0,39	1,86	0,79	0,006	1,85	0,036	0,003	0,81	0,923
Malá Ráztočka	1992–1996	6,28	1,04	0,908	2,78	0,758	0,091	0,015	0,02	2,56	3,42	2,74	0,088	15,49		0,101	0,006	1,69	
	1997–2001	5,02	0,907	0,547	1,7	0,395	0,018	0,023	0,016	1,48	2,39	2,24	0,046	5,1		0,035	0,002	1,07	
Ráztočka	2002–2006	4,92	0,669	0,264	0,73	0,125	0,013	0,014	0,039	0,738	2,19	0,728	0,03	2,51		0,029	0,002	1,24	
	2007	5,12	0,51	0,292	0,614	0,155	0,01	0,01	0,023	0,023	0,782	2,8	0,987	0,008	1,85		0,002	1,24	1,38

Tab. 3.
Spady látek na volně ploše povodí Červíku a Malé Ráztoky (bulk) [kg.ha⁻¹]
Yearly element fall-out in the open plot of the Červík and Malá Ráztoka watersheds [kg.ha⁻¹]

Povodí/ Watershed	Období/Period	H	K	Na	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Zn	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	P	Cu	N*
Červík	1992-1996	0,016	5,84	11,75	39,93	12,27	1,023	0,255	0,105	0,558	5,95	17,29	22,04	0,87	132,66	0,109	8,53	
	1997-2001	0,118	3,95	4,17	16,85	3,39	0,176	0,139	0,118	6,1	22,9	17,77	17,77	0,404	36,87	0,562	0,044	9,91
	2002-2006	0,179	2,9	2,15	4,81	0,79	0,134	0,096	0,133	0,229	5,56	19,85	5,72	0,186	20,46	0,41	0,031	8,78
Malá Ráztoka	1992-1996	0,007	11,07	9,64	29,55	8,05	0,962	0,155	0,209	27,16	36,35	29,1	0,932	164,55	0,239	29,3		
	1997-2001	0,136	12,69	7,66	23,79	5,53	0,252	0,319	0,227	20,72	33,44	31,31	0,648	71,36	1,418	0,083	23,64	
	2002-2006	0,186	7,96	3,15	8,69	1,49	0,15	0,166	0,467	8,79	26,06	8,66	0,298	31,25	0,414	0,027	12,71	

N* = N/NH₄⁺ + N/NO₃⁻

Tab. 4.
Průměrné hodnoty koncentrací látek ve vodě povrchových toků na povodích Červíku a Malé Ráztoky [mg.l⁻¹]
Average values of element concentrations in water of the surface sources in Červík and Malá Ráztoka [mg.l⁻¹]

Povodí/ Watershed	Období/Period	pH	K	Na	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Zn	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	P	Cu	N _i	Alkalita/ Alkalinity
Červík A	1992-1996	6,84	1,11	1,95	6,25	2,46	0,065	0,019	0,008	0,035	0,431	1,67	1,79	0,075	17,19	0,103	0,71	0,11	
	1997-2001	6,78	1,09	1,82	6,17	2,26	0,038	0,042	0,005	0,012	0,113	1,32	2,18	0,064	15,43	0,054	0,004	0,39	0,19
	2002-2006	7,21	1,03	1,97	6,07	2,37	0,026	0,018	0,002	0,005	0,055	1,46	1,19	0,054	13,67	0,036	0,002	0,37	0,26
Červík B	2007	7,19	1,06	2,15	6,18	2,49	0,006	0,009	0,003	0,007	0,041	1,69	1,49	0,041	13,89	0,02	0,003	0,41	0,266
	1992-1996	6,35	1,12	2,37	5,47	2,82	0,073	0,012	0,017	0,038	0,566	3,65	2,51	0,113	20,82	0,003	1,26	0,006	
	1997-2001	6,33	1,22	2,25	5,04	2,51	0,037	0,019	0,021	0,018	0,085	4,12	2,28	0,096	19,53	0,054	0,003	1	0,071
Malá Ráztoka	2002-2006	6,76	1,11	2,24	3,96	2,25	0,027	0,013	0,004	0,01	0,05	2,88	1,33	0,082	15,32	0,036	0,002	0,69	0,091
	2007	6,97	1,1	2,65	4,17	2,39	0,008	0,008	0,007	0,011	0,028	2,22	1,64	0,085	15,96	0,02	0,003	0,52	0,127
	1992-1996	6,94	0,756	1,99	12,84	1,91	0,04	0,008	0,007	0,043	0,401	5,63	2,4	0,082	19,08	0,003	1,58	0,348	
Malá Ráztoka	1997-2001	6,89	0,756	1,72	11,83	1,53	0,03	0,003	0,005	0,015	0,131	5,37	1,67	0,062	15,64	0,056	0,003	1,32	0,33
	2002-2006	7,35	0,704	1,88	12,96	1,48	0,023	0,008	0,001	0,006	0,049	6,77	1,4	0,06	12,92	0,034	0,002	1,57	0,41
	2007	7,35	0,719	2,03	13,09	1,55	0,007	0,005	0,004	0,006	0,043	5,51	1,77	0,039	13,58	0,02	0,003	1,28	0,483

Tab. 5.
Roční depozice prvků a iontů na volně ploše povodí Červíku a Malé Ráztoky [kg.ha⁻¹]
Yearly deposition of elements and ions in the open plot of the Červík and Malá Ráztoka watersheds [kg.ha⁻¹]

Povodí/ Watershed	Období/Period	H	K	Na	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Zn	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	P	Cu	N _i	TN
Červík	2005	0,278	1,74	1,61	2,87	0,51	0,07	0,06	0,13	0,19	5,67	17,19	5,83	0,15	17,44	0,25	0,03	8,28	
	2006	0,119	4,22	3,51	6,2	1,26	0,11	0,13	0,07	0,242	6,74	21,08	8,1	0,213	21,49	0,28	0,03	9,99	
	2007	0,167	2,59	2,55	4,76	0,93	0,06	0,05	0,07	0,19	5,92	21,95	9,35	0,07	21,78	0,42	0,04	9,56	10,6
Malá Ráztoka	2005	0,316	4,31	3,22	6,32	1,1	0,15	0,19	0,52	0,72	10,51	27,5	9,59	0,42	35,48	0,32	0,03	14,38	
	2006	0,098	9,5	4,16	15,83	1,84	0,11	0,1	0,26	0,489	10,58	31,19	11,63	0,194	33,46	0,36	0,03	15,26	14,94
	2007	0,095	6,36	3,67	7,71	1,94	0,12	0,13	0,294	0,29	9,82	35,13	12,39	0,1	32,77	0,36	0,03	15,57	17,29

Tab. 6.

Roční ztráty prvků a iontů s odtokem vody – povodí Červík a Malá Ráztočka
 Yearly losses of elements and ions with water run-off – the Červík and Malá Ráztočka watersheds

Povodí/ Watershed	Období/ Period	H	K	Na	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Zn	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	F	SO ₄ ²⁻	P	Cu	N _t	TN	DOC	
		g.ha ⁻¹																			
	2005	0,606	5,63	11,92	31,53	13,22	0,149	0,105	0,066	0,061	0,369	10,09	6,95	0,375	78,93	0,11	0,011	2,56			
Červík	2006	0,793	8,46	17,44	43,99	18,76	0,071	0,063	0,024	0,079	0,562	15,71	13,12	0,515	110,8	0,158	0,024	3,99	4,16	22,82	
	2007	0,591	7,11	15,24	35,92	16,13	0,039	0,046	0,026	0,046	0,269	11,8	9,94	0,394	95,83	0,131	0,02	2,88	3,31	17,33	
Malá Ráztočka	2005	0,34	5,46	7,36	91,06	10,83	0,183	0,107	0,076	0,06	0,45	38,92	11,44	0,396	101,07	0,16	0,015	9,14			
	2006	0,28	6,95	20,08	134,4	15,54	0,059	0,04	0,1	0,06	0,794	53,72	18,81	0,476	137,43	0,198	0,03	12,95	12,39	24,02	
	2007	0,391	5,62	15,89	102,31	12,11	0,055	0,039	0,031	0,046	0,336	43,04	13,84	0,305	106,13	0,156	0,023	9,99	9,82	15,89	

Tab. 7.

Srovnání průměrných ročních hodnot spadu dusíku (N/NH₄⁺ + N/NO₃⁻) a síry (S/SO₄²⁻) a síry (S/SO₄²⁻) na výzkumném objektu Bílý Kříž a na povodí Červík a Malá Ráztočka
 Comparison of the average year values of nitrogen (N/NH₄⁺ + N/NO₃⁻) and sulphur (S/SO₄²⁻) fall-out within the Bílý Kříž research plot and the Červík and Malá Ráztočka watersheds

Odběrové místo/Sampling plot	Množství srážek/ Amount of precipitation	N/NH ₄ ⁺	N/NO ₃ ⁻	celkový N/ total N	S/SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
		kg.ha ⁻¹ .rok ⁻¹ /kg.ha ⁻¹ .year ⁻¹						
Bílý Kříž volná plocha/open area	1065,9	5,62	4,56	10,19	8,65	0,68	1,89	2,06
ml. porost SM/young spruce stand	1100	6,77	4,65	14,42	18,68	0,79	3,08	5,42
Červík volná plocha/open space	1061,4	4,31	4,49	8,78	6,83	0,52	1,87	1,93
M. Ráztočka volná plocha/open space	1190,3	6,82	5,89	12,71	10,44	0,74	2,19	2,51

Tab. 8.

Průměrné koncentrace iontů ve srážkové a potочноí vodě na povodích Červík a Malá Ráztočka v období listopad 1981 – únor 1984
 Average ion concentrations in precipitation and outflow water within the Červík and Malá Ráztočka, from November 1981 to February 1984

Místo odběru/Sampling plot	pH	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Cu	Nt	
		mg.l ⁻¹													
Červík volná plocha srážky/Červík open space – precipitation	4,20	0,87	1,74	4,30	1,66	0,28	0,06	0,06	0,85	3,58	6,25	11,81	0,01	0,81	
Červík A odtok/Červík A – outflow	6,00	1,49	2,16	10,73	3,69	0,26	0,02	0,02	0,22	6,72	3,50	22,48	0,01	1,52	
Červík B odtok/Červík B – outflow	5,80	1,40	2,61	8,79	3,57	0,22	0,02	0,03	0,13	8,70	3,89	21,89	0,01	1,97	
Malá Ráztočka srážky/Malá Ráztočka – precipitations	5,10	0,54	0,99	4,32	1,51	0,27	0,07	0,07	1,39	3,76	5,20	8,50	0,01	0,85	
Malá Ráztočka odtok/Malá Ráztočka – outflow	6,30	1,02	3,02	15,09	3,38	0,19	0,02	0,02	0,15	9,65	3,68	20,80	0,01	2,18	

Ztráty prvků s odtokem vody a jejich bilance

V tab. 5 jsou pro roky 2005, 2006 a 2007 uvedené roční ztráty prvků z povodí Červíku a Malé Ráztoky, působené odtékající vodou, vypočítané jako součiny jejich průměrných ročních koncentrací iontů a ročních úhrnů srážek (Hs) a odtoků (Ho) v $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Výpočet poskytuje jen orientační hodnoty. Můžeme je porovnat s hodnotami ročních spadů iontů se srážkami zachycovanými na volné ploše (tab. 6). Spady látek s podkorunovými srážkami jsou vyšší. Podle současných měření na jiných plochách však s výjimkou K a Mn nepřekračují hodnoty získané na volné ploše o 50 až 100%. Přistoupíme-li na tento odhad, potom z rozdílu spadu a odnosu iontů je vidět pozitivní působení půd povodí a zvětralinového pláště na zachycování protonů (H^+) a kovů (Cu, Fe, Mn, Zn). Ionty NH_4^+ byly spotřebovávány na obou povodích, na povodí Červíku je patrná i spotřeba nitrátů (NO_3^-). Na obou povodích se projevuje pasivní bilance síranů (SO_4^{2-}) a ještě F. Z údajů v tab. 5 a 6 je zřejmé, že na Červíku probíhaly zřetelné ztráty všech bazických kationtů – K, Na, Ca, Mg. Také na povodí Malá Ráztoka je odnášeno s odtékající vodou podstatně více Na, Ca, Mg, než je zachycováno se srážkovou vodou.

DISKUSE

Předmětem tohoto příspěvku je posouzení vývoje obsahu iontů ve vodách vodotečí na povodí Červíku a Malé Ráztoky v období změn jejich depozice a poklesu zásoby přístupných bazických kationtů v půdních profilech povodí. Sledování spadu prvků bylo prováděno na volné ploše v dolní části povodí poblíž měrných žlabů. Složení srážkových vod (bulk) může být ovlivňováno zdroji znečištění ovzduší z níže položených budov v údolí potoků. Skutečný spad v lesních porostech je vyšší než na volné ploše. Novější výsledky měření prováděného na Červíku v programu ICP Forest II a měření ÚUG Praha ukazují, že spad látek s podkorunovými srážkami v dospělých porostech smrku může být oproti spadu na volné ploše (bulk) maximálně dvojnásobný, s výjimkou K a Mn.

Data o spadu látek na volné ploše v dospělých porostech smrku (bulk) a v mladém smrkovém porostu na objektu Bílý Kříž uvádějí KULHAVÝ et al. (2003, 2004, 2005, 2006, 2007). Údaje dotýkající se sloučenin dusíku (NO_3^- a NH_4^+) a síry (SO_4^{2-}) uvádíme pro srovnání s našimi výsledky v tab. 7. Je možné říci, že uváděné spady na volné ploše objektu Bílý Kříž v letech 2002–2006 jsou ve stejném časovém období srovnatelné se spady na volné ploše povodí Červíku. Větší nadmořská výška objektu Bílý Kříž ovlivňuje navýšení spadu, ale v podstatě lze říci, že na takzvaných Zadních horách jsou depozice sledovaných látek vyrovnané. Koruny stromů navyšují depozice látek nejvýše dvakrát, K a Mn jsou okapovou vodou intenzivně vymývány z listových orgánů a zvyšují své koncentrace mnohonásobně.

Pro povodí Malá Ráztoka, které leží na okraji Beskyd a je více exponované vůči proudění vzduchu, nejsou k dispozici srovnatelné údaje o postupu látek do půd porostů. Lze předpokládat, že kontaminace podkorunových srážek zde bude vyšší než na povodí Červíku.

K posouzení dlouhodobějšího vývoje kontaminace srážek jsou v tab. 8 uvedeny průměrné koncentrace iontů ve srážkové vodě (bulk) na obou povodích v období listopad 1981 – únor 1984. Srážky na Červíku byly zachycovány na seči ve větší nadmořské výšce, než je nynější odběrové místo. Srovnáním dat z osmdesátých let s daty v tab. 2 vyplývá, že podstatné znečištění srážkové vody proběhlo až v devadesátých letech. Odpovídá to i opožděnému snížení emisí S a NO_x v České republice oproti původním státům Evropské unie (FERRIER et al. 2001; WRIGHT et al. 2001).

Voda povrchových zdrojů na povodích Červíku A, Červíku B a Malé Ráztoky nevykazovala v průběhu let pozorování podstatné změny koncentrací rozpuštěných látek. Plynulý byl jen pokles obsahu SO_4^{2-}

a F. Při posuzování jejich vstupu a ztrát z povodí (tab. 5 a 6) je stále zjišťována pasivní bilance. Příčinou je jejich uvolňování z nestálých vazeb s oxidy Al (ALEWELL et al. 1993, 2001; HERRNSTADT 1995; MANDERSCHIED et al. 1995; MATZNER, ULRICH 1990). Jak uvádí PRECHTEL et al. (2001), na většině sledovaných evropských experimentálních povodích byl ve vodách zdrojů pokles síry (SO_4^{2-}) signifikantní, ale nebyly zjištěny pozitivní korelace s poklesem spadu síry.

V období let 1992–2007 se ve vodách námi sledovaných toků v Beskydech snižovaly koncentrace amonných iontů (NH_4^+). Oproti období let 1981–1984 se snížily i průměrné roční koncentrace nitrátů (NO_3^-). Poměrně nízké obsahy NO_3^- ve vodě na povodí Červíku odpovídají spadu celkového N na povodí do $15 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Podle údajů v literatuře (DISE, WRIGHT 1995; GUNDERSEN et al. 1998; KHANNA, ULRICH 1985; ULRICH 1993; WRIGHT et al. 2001) spotřebují přírůstavé lesní ekosystémy ročně asi $10 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ z depozic. Při kalkulaci stejné spotřeby na povodí Malá Ráztoka lze zde předpokládat roční spad N $20 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Přesto, že se na povodí Červíku a Malé Ráztoky v letech 1992–2007 snížil spad bazických kationtů K, Na, Ca se srážkovou vodou, jejich koncentrace ve vodě toků se příliš nezměnily. Určitý pokles obsahu Mg je patrný ve vodě potoka na Červíku B a na Malé Ráztoco.

V časové řadě se zvyšovala alkalita vody všech tří sledovaných toků, počítaná jako molární (ekvivalentní) rozdíl mezi sumou bazických kationtů (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) a sumou aniontů silných kyselin (NO_3^- , Cl^- , F^- , SO_4^{2-}) obsažených ve vodě. Tento rozdíl se zvyšoval především poklesem koncentrací Cl^- a SO_4^{2-} , tyto ionty jsou nahrazovány kyselinou uhličitou (HCO_3^-). Při srovnání koncentrací kationtů K, Na, Ca Mg ve vodách toků v letech 1981–1984 s koncentracemi po roce 1992 je patrný jejich pokles.

Podobnou situaci uvádějí EVANS et al. (2001) v 56 povrchových zdrojích v Evropě, kdy se koncem minulého století v důsledku poklesu obsahu iontů silných kyselin ve vodách zdrojů zvýšila alkalita vody (ANC – acid neutralising capacity), a to i při poklesu obsahu bazických kationtů.

ALEWELL et al. (2001) uvádějí, že se na sledovaných povodích SRN v devadesátých letech minulého století snížila depozice bazických kationtů i jejich koncentrace ve vodě toků. Na povodí Stiele Bramke (Harz) se projevilo pokles bazí ve vodě potoka, i když povodí bylo na počátku sledování vápněno.

Také na Malé Ráztoco byly v potoční vodě vyšší koncentrace bazí na počátku osmdesátých let před opakovaným vápněním (LOCHMAN et al. 1986), než po roce 1992, několik let po vápnění.

Z porovnání dat o spadech se srážkami z let 1981–1984 s daty po roce 1992 je zřejmé snížení depozice Fe a Mn. Kontaminace srážkové vody kovy se snižovala i po roce 1992. Ve vodě potoků se jejich koncentrace snižovaly především vlivem nárůstu jejího pH.

ZÁVĚR

Z výsledků šetření je zřejmé, že při změnách spadu látek, které proběhly v devadesátých letech minulého století a v prvních letech tohoto století, se ve vodě sledovaných povrchových zdrojů na povodí Červíku a Malé Ráztoky neprojevil negativní změny jejího chemismu. Pokles spadu bazických kationtů je eliminován jejich uvolňováním ze zvětralinového pláště. Snižování dynamiky aniontů silných kyselin posiluje alkalitu vody. Obsah chemických ukazatelů vyhovuje hygienickým limitům pro pitnou vodu, pouze koncentrace Ca a Mg jsou pod mezní hodnotou (vyhláška MZd č. 252/2004 Sb.). Z výzkumu také vyplývá, že na obsahu sledovaných látek ve vodách toků Červíku A a Červíku B se projevuje vliv charakteru porostů v povodí a hospodářských opatření.

Dlouhodobé působení intenzivnějšího spadu kyselých imisních látek ovlivňuje zvýšené koncentrace iontů v odtékající vodě. Na chemismu vody povrchových zdrojů se projevila dlouhodobější topná období delších zim. Krátkodobější vliv na chemismus vody zdrojů měly též povodňové průtoky.

Poděkování:

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

Od roku 2012 se na řešení výzkumných projektů v oblasti Moravskoslezských Beskyd finančně podílí společnost MORAVIA STEEL, a. s.

LITERATURA

- ALEWELL C., MATZNER E. 1993. Reversibility of soil solution acidity and of sulphate retention in acid forest soils. *Water, Air and Soil Pollution*, 71: 155–165.
- ALEWELL C., ARMBRUSTER M., BITTERSÖHL J., EVANS C.D., MEESENBURG H., MORITZ K., PRECHTEL A. 2001. Are there signs acidification reversal in fresh waters of the low mountain ranges in Germany? *Hydrology and Earth System Sciences*, 5: 367–378.
- BÍBA M., JAŘABÁČ M., VÍCHA Z. 2006. Poznátky z padesátiletého lesnicko-hydrologického výzkumu v beskydských experimentálních povodích. *Zprávy lesnického výzkumu*, 51 (1): 74–56.
- DISE N. B., WRIGHT R.F. 1995. Nitrogen leaching from European forest in relation to nitrogen deposition. *Forest Ecology and Management*, 71: 153–162.
- EVANS C.D., CULLEN J.M., ALEWELL C., KOPÁČEK J., MARCHETTO A., MOLDAN F., PRECHTEL A., ROGORA 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.
- GUNDERSEN P., CALLESEN I., DE VRIES W. 1998. Nitrate leaching in forest ecosystems is controlled by forest floor C/N ratio. *Environmental Pollution*, 102: 403–407.
- HERRNSTADT CH. 1995. Wechselwirkungen von Aluminium mit wasserlöslichen Bodeninhaltsstoffen. Göttingen, Selbstverlag des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen: 116 s. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme*, Reihe A, Bd. 127.
- JAŘABÁČ M., CHLEBEK A. 1983. Vliv lesního hospodářství na kvalitu vody v beskydských experimentálních povodích. *Lesnictví*, 29: 717–738.
- KHANNA P.K., ULRICH B. 1985. Processes associated with the acidification of soils and their influence on the stability of spruce stands in Solling area. In: Klimo E., Šály R. (eds.): *Air pollution and stability of coniferous forest ecosystems*. International symposium. Ostrava, October 1-5, 1984. Brno, University of Agriculture: 23–26.
- KULHAVÝ J., DRÁPELOVÁ I., LESNÁ J. 2003. Depoziční toky a chemismus lyzimetrických vod ve smrkové monokultuře při různém způsobu obhospodařování. *Beskydy – The Beskids Bulletin*, 16: 39–46.
- KULHAVÝ J., DRÁPELOVÁ I., REMEŠ M. 2004. Depoziční toky a chemismus lyzimetrických vod ve smrkové monokultuře při různém způsobu obhospodařování – výsledky za rok 2003. *Beskydy – The Beskids Bulletin*, 17: 45–52.
- KULHAVÝ J., DRÁPELOVÁ I., REMEŠ M. 2005. Depoziční toky a chemismus lyzimetrických vod ve smrkové monokultuře při různém způsobu obhospodařování – výsledky za rok 2004. *Beskydy – The Beskids Bulletin*, 18: 35–42.
- KULHAVÝ J., DRÁPELOVÁ I. 2006. Depoziční toky a chemismus lyzimetrických vod ve smrkové monokultuře při různém způsobu obhospodařování (2005). *Beskydy – The Beskids Bulletin*, 19: 35–42.
- KULHAVÝ J., DRÁPELOVÁ I. 2007. Depoziční toky a chemismus lyzimetrických vod ve smrkové monokultuře při různém způsobu obhospodařování (2006). *Beskydy – The Beskids Bulletin*, 20: 117–124.
- LOCHMAN V., JAŘABÁČ M., CHLEBEK A. 1986. Působení lesních porostů a sečí na chemické složení vody odtékající do vodních zdrojů na výzkumných povodích v Beskydech. *Práce VÚLHM*, 68: 73–117.
- LOCHMAN V., CHLEBEK A., JAŘABÁČ M., ŠEBKOVÁ V. 2000. Působení lesů v Povodí Červíku a Malé Ráztoky na chemismus vody povrchových zdrojů. *Journal of Forest Science*, 46: 305–324.
- 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., VÍCHA Z., OCEÁNSKÁ Z. 2008b. Dynamika chemismu lesních půd v Moravskoslezských Beskydech. *Zprávy lesnického výzkumu*, 53 (2): 94–109.
- MANDERSCHIED E., MATZNER E., MEIWEES K.J., XU Y. 1995. Long-term development of element budgets in a Norway spruce. [*Picea abies* (L.) Karst.] forest of the German Solling area. *Water, Air and Soil Pollution*, 79: 3–18.
- MATZNER E., ULRICH B. 1990. Acid precipitation and forest decline in Germany. Summary of the present state of knowledge. In: Klimo E., Materna J. (eds.): *Verification of hypotheses on the mechanisms of damage and possibilities of recovery of forest ecosystems*. International workshop. September 4-8, 1989. Brno, University of Agriculture: 77–90.
- PRECHTEL A., ALEWELL C., ARMBRUSTER M., BITTERSÖHL J., CULLEN J.M., EVANS C.D., HELLIWEL R., KOPACEK J., MARCHETTO A., MATZNER E., MESENBURG 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.
- ULRICH B. 1993. 25 Jahre Ökosystem und Waldschadenforschung im Solling. *Forstarchiv*, 64: 147–152.
- WRIGHT R.F., ALEWELL C., CULLEN J.M., EVANS C.D., MARCHETTO F., 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.

DEPOSITION AND WATER CHEMISTRY DEVELOPMENT IN THE SURFACE WATER SOURCES OF THE WATERSHEDS IN THE MORAVIAN-SILESIA BESKIDS MTS., CZECH REPUBLIC**SUMMARY**

The experimental watersheds of Červík and Malá Ráztoka in the Moravian-Silesian Beskids Mts. (Czech Republic) were established to study the impact of fast felling and the change of tree species composition on the changes in the precipitation – outflow balance. Both watersheds are fully forested. The Červík watershed (1.85 km²) is divided into two separated sub-watersheds: Červík A (0.88 km²) with renewed, mostly spruce stands, and Červík B (0.84 km²), which is dominated by mature spruce stands; only the necessary regeneration felling was performed over the last twenty years. In the Malá Ráztoka watershed (2.07 km²), the mostly beech stands were renewed quickly up to the beginning of the 1990s, mostly with spruce (Tab. 1). Dolomite lime was applied aerially in the Malá Ráztoka watershed in 1983, 1985 and 1987, in doses of 3 t per ha⁻¹. All-year regular monitoring of elements fall-out and water chemistry has been taking place since the summer of 1991. During the measuring at the weirs in Červík, the fall-out of SO₄²⁻, F⁻ and, since 1997, also of Cl⁻, decreased. An increasing trend is not evident for the nitrogen compound (NO₃⁻ a NH₄⁺) (Tab. 2). Within the open plot near the measuring weir in Malá Ráztoka, the concentration of elements was higher, and there were also higher fall-outs at times of higher precipitation. The fall-out of elements, including NH₄⁺, and the pH of the precipitation were lower during the monitoring period (Tab. 3).

Within the Červík A watershed with mostly young spruce stands, the lowest pH values of outflow water were measured in 1996 (pH 6.5); in the following years, the average water pH increased (the pH was 7.19 in 2007) (Tab. 4). The average amounts of SO₄²⁻, NH₄⁺, Al, Mn, Zn decreased. The average concentrations of the other ions did not change significantly.

In the Červík B watershed with mostly mature spruce stands, the pH of the water in the stream had lower average values compared to Červík A. The lowest value of the average water pH was 5.82 in 1996. Thereafter it started to increase and reached 6.97 in 2007 (Tab. 4). Between 1992 and 2006, the average amounts of SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Cl⁻, F⁻, Ca, Mg, Al, Mn, Zn decreased and, with the exception of Ca and Fe, they were higher than in Červík A.

The pH in the stream of Malá Ráztoka developed similarly to Červík. After a decrease in 1997 (6.87), it increased up to 7.35 in 2007 (Tab. 4). The amounts of SO₄²⁻, NH₄⁺, Cl⁻, F⁻, Al, Mn, Zn and Mg decreased. The concentrations of Ca and NO₃⁻ remained higher than in Červík. The year 1997 was characterized by increased concentrations of Al and Fe and decreased average concentrations of Ca, Mg and Na in the water of all three streams due to higher flow (floods).

According to recent measurements taken on other plots in the Beskids region, the fall-out of elements in the stands (throughfall) exceeds (with the exception of K and Mg) the fall-out on open plots by 50 to 100 %.

If we accept this estimate, then the differences in the fall-out (Tab. 5) and outflow (Tab. 6) of the ion concentrations show the effect of soil and weathered rock (Tab. 5) mantel on proton (H⁺) and metal (Cu, Fe, Mn, Zn) accumulation. In all the watersheds that were studied, the NH₄⁺ ions are consumed, and in the Červík watershed the fall-out of NO₃⁻ is higher than its elution. A passive balance of SO₄²⁻, F⁻ and basic cations (Na, Ca, Mg) is visible in both watersheds, and in Červík also of K. The decrease of basic cation fall-out was only slightly visible in their amount in water of the streams (Tab. 7, 8). The lower dynamic of strong acids increases the alkalinity of the water sources.

The research shows that the stand composition has an impact on the amount of element concentrations in the water of the streams in the Červík A and Červík B watersheds. The short-term effect of water-floods was also important.

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