

Látkové toky v amfibolitovém povodí Na zeleném u Vodního díla Mariánské Lázně

Pavel Krám^{1,2}, František Veselovský¹, Jan Čuřík^{1,2}, Oldřich Myška^{1,2}

¹Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

²Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno

Abstrakt

Příspěvek se zabývá hydrologií a hydrochemií povodí Na zeleném zalesněném smrkovým lesem rostoucím na podloží, tvořeném kambizemí na amfibolitu. Toto povodí se vyznačuje díky bazickému (zásaditému) podloží poměrně příznivými hydrochemickými poměry pro terestrickou a akvatickou biotu. Povodí se vyznačuje efektivní neutralizací kyselé atmosférické depozice do smrkového ekosystému a to hlavně díky chemickému zvětrávání dvoumocných bazických kationtů, vápníku a hořčíku. Roční průměrný srážkový úhrn do povodí Na zeleném byl za sledované pětileté období 790 mm a průměrný povrchový odtok v posledních dvou letech byl 193 mm. Odtok se pohyboval ve sledovaných letech mezi 24 a 27 % ročních srážkových vstupů do povodí. V povodí se akumuluje jen méně než 20 % celkového dusíku ze srážek na volné ploše. Zhruba 36% dusíku povodí opouští povrchovým odtokem, zhruba z poloviny ve formě dusičnanů a z poloviny ve formě rozpuštěného organického dusíku.

Klíčová slova

malé lesní povodí, atmosférická depozice, povrchová voda, látkové toky, dusičnany, rozpuštěný organický dusík, pufrace kyselosti vod, bazické podloží, smrk ztepilý

Úvod

Z povodí Na zeleném je sice k dispozici zatím poměrně krátká řada hydrologických a hydrochemických měření, ale unikátní geochemické vlastnosti povodí způsobují vhodné doplnění k porovnání výsledků z jiných, dlouhodobě zkoumaných povodí Slavkovského lesa, zejména kyselých Lysiny a ulbrabazického Pluhova boru, které se vyznačují extrémním chemismem povrchových vod (Krám et al., 2012). Biogeochemické podmínky povodí Na zeleném jsou tak daleko příznivější například pro růst stromů (Krám et al., 2017).

Popis území a metody

Zkoumané povodí Na zeleném leží ve Slavkovském lese na území Karlovarského kraje. Slavkovský les tvoří hornatina s nadmořskou výškou až téměř tisíc metrů. Chráněná krajinná oblast (CHKO) Slavkovský les se rozkládá na území o rozloze 640 km². Tato oblast je již od začátku devatenáctého století zalesněná zejména monokulturami smrku ztepilého (*Picea abies*). V tomto území došlo v druhé polovině dvacátého století k masivnímu znečišťování kyselou atmosférickou depozicí a následně pak ke konci devadesátých let k výraznému poklesu depozice (Kopáček et al., 2016) a z toho důvodu i k odpovídajícímu snížení koncentrací síranů a dalších kontaminantů v povrchových vodách (Vuorenmaa et al., 2017, Oulehle et al., 2017).

Povodí Na zeleném leží v jižní části CHKO Slavkovský les mezi Mariánskými Lázněmi a osadou Kladská. Odvodňuje ho malý levostranný přítok do přehradního jezera, vybudovaného v roce 1896 na Úšovickém (Kamenném) potoce (Vodní dílo Mariánské Lázně, 2017), kvůli zásobování Mariánských Lázní pitnou vodou. Jedná se o jeden ze tří povrchových toků ústících do tohoto přehradního jezera a zároveň o tok nejmenší. Povodí Na zeleném má rozlohu 55 hektarů (tab. 1).

V průběhu řešení evropského projektu SoilTrEC se povodí Na zeleném stalo součástí CZO (Critical Zone Observatory, observatoř kritické zóny) Slavkovský les, jednou ze čtyř hlavních evropských observatoří kritické zóny. Jedná se o důležitou zónu, vymezenou mezi vrcholy korun stromů a nezvětralou horninou v podloží. Výzkumy v rámci tohoto projektu týkající se půd, hornin, mykorhízy a vod i v povodí Na zeleném reprezentují například následující publikace: Regelink et al., 2015, Rousseva et al., 2017, Štědrá et al., 2015, Rosenstock et al., 2016, Dannhaus, 2016. Vzhledem k pozdnímu začátku monitoringu není povodí Na zeleném součástí národní sítě malých lesních povodí GEOMON (GEOchemický MONitoring), koordinované od roku 1994 Českou geologickou službou (Lamačová et al., 2014; Oulehle et al., 2017). Nicméně i hydrobiologie potoka Na zeleném již byla popsána, makrozoobentos určili Takaaki Senoo a Filip Beneš z Univerzity Karlovy (Kráš et al. 2015) a bentické řasy popsala Susanne Schneider z norského ústavu NIVA (Schneider et al. 2017).

Povodí Na zeleném bylo kyselými dešti okyseleno jen málo, díky svému podloží, tvořeném amfibolitem, metamorfovanou bazickou (mafickou) horninou, se vyznačuje velmi vysokým zvětráváním složek umožňujících neutralizaci kyselé atmosférické depozice, zejména vápníku (Kráš et al., 2012). Dlouhodobý koncept monitoringu povrchových vod Slavkovského lesa je postaven na zkoumání i dalších tří geochemicky kontrastních povodí, která jsou ale také zalesněna převážně smrkem ztepilým a jsou od sebe vzdálená jen 5 – 10 km, což zaručuje podobné klimatické podmínky i atmosférickou depozici. Podloží povodí Lysina (Kráš, 2011) o rozloze 27,3 ha je tvořeno granitem a vyskytují se tam podzolizované minerální půdy (Regelink et al., 2015, Rousseva et al., 2017) a odtok je kyselý s vysokou koncentrací toxického hliníku (Kráš et al., 2017). Povodí Černého potoka (15,2 ha) má sice téměř totožné granitové podloží, ale vzhledem k plošší morfologii jeho velkou část pokrývá několik metrů mocné rašeliniště (File na Lysině) a odtok z toho povodí je tak extrémně kyselý (Hruška et al., 1997). Další zkoumané povodí, Pluhův bor (21,6 ha), je budováno převážně ultrabazickým serpentinitem (Kráš et al., 2012, 2017, Štědrá et al., 2015) a jeho povrchový odtok je většinou zásaditý. Detailní hydrochemické vzorkování na dvou zmiňovaných povodích začalo daleko dříve než v povodí Na zeleném, už v září 1989 na Lysině a posléze v listopadu 1991 na Pluhově boru. Tato dvě povodí se vyznačují extrémním chemismem povrchových vod. Pro Lysinu je typická vysoká kyselost vod a související vysoké koncentrace toxických forem hliníku (Al) ve vodě, uvolňovaných z půd, díky bazickými kationty chudému žulovému podloží, neschopnému pufrovat kyselou depozici. Naopak Pluhův bor má odtok mírně zásaditý a chemismus, hlavně co se týká kationtů, je značně ovlivněn hořčíkem bohatým hadcovým substrátem. Chemické složení vod amfibolitového povodí Na zeleném leží mezi těmito extrémy (Kráš et al. 2012, 2017). Čtvrté zmiňované povodí (Černý potok) bylo monitorováno od již dubna 1992, ale v nepravidelných intervalech, v posledních letech čtvrtletně, ale výzkum se tam soustředil jen na chemismus ultrakyselých povrchových vod z rašeliniště.

Povrchová voda povodí Na zeleném byla vzorkována poprvé v letech 2001-2003 v rámci grantu poskytnutého Grantovou agenturou ČR a pak v pravidelných měsíčních intervalech v letech 2010-2017, v počátcích zejména díky grantu Evropské komise. V měsíčních intervalech tam byly odebrány také podkorunové srážky (od podzimu 2009), srážky na volné ploše (od podzimu 2011) a půdní vody v pěti hloubkách v hloubce od 10 do 90 cm (od roku 2012). Dvě odběrné nádoby na srážky jsou umístěny v nadmořské výšce 773 m a plocha se stejnými pěti odběráky na podkorunové srážky je situována 750 m n.m. Výpočty se provádějí pro hydrologické roky (1.11. – 31.10.). Průtok při všech odběrech byl měřen měrnou nádobou a stopkami a také byl počítán pomocí hydraulických vztahů pro výšku hladiny vody v měrném přepadu s úhlem 90°. Měrný přepad postavili dávno před začátkem tohoto výzkumu a dále udržují pracovníci podniku Povodí Ohře s.p. Na podzim 2014 byl tento přepad osazen tlakovým čidlem na zaznamenávání výšky hladiny pracovníky firmy Fiedler (obr. 1). Nejbližší klimatická stanice Českého hydrometeorologického ústavu (Mariánské Lázně, Úprava vody) se nachází 1 km jihozápadně od povodí Na zeleném v nadmořské výšce 690 m, na souřadnicích 49°59's.š., 12°42'v.d. Průměrná roční teplota vzduchu na této stanici je 6°C.

Chemické analýzy vod byly provedeny v akreditované laboratoři ČGS v Praze. Kyselost (pH) a granovská titrační alkalita byly měřeny skleněnou elektrodou hned po návratu z terénu, ostatní složky byly měřeny zpravidla během několika týdnů, přitom vzorky byly umístěny v temnu a v teplotě 4 až 6°C. Anionty byly měřeny na HPLC, hlavní kationty na AAS a stopové prvky na ICP MS. Frakce

hliníku byly měřeny podle Driscolla (viz tab. 4). Fosfor a NH_4 a byly měřeny fotometricky. Rozpuštěný organický dusík (DON) byl počítán jako rozdíl mezi celkovým N (změřeném vysokoteplotní oxidací) a sumou N-NO_3 a N-NH_4 . Rovněž rozpuštěný organický uhlík (DOC) byl měřen vysokoteplotní oxidací.

Tabulka 1: Stručný popis povodí Na zeleném ve Slavkovském lese.

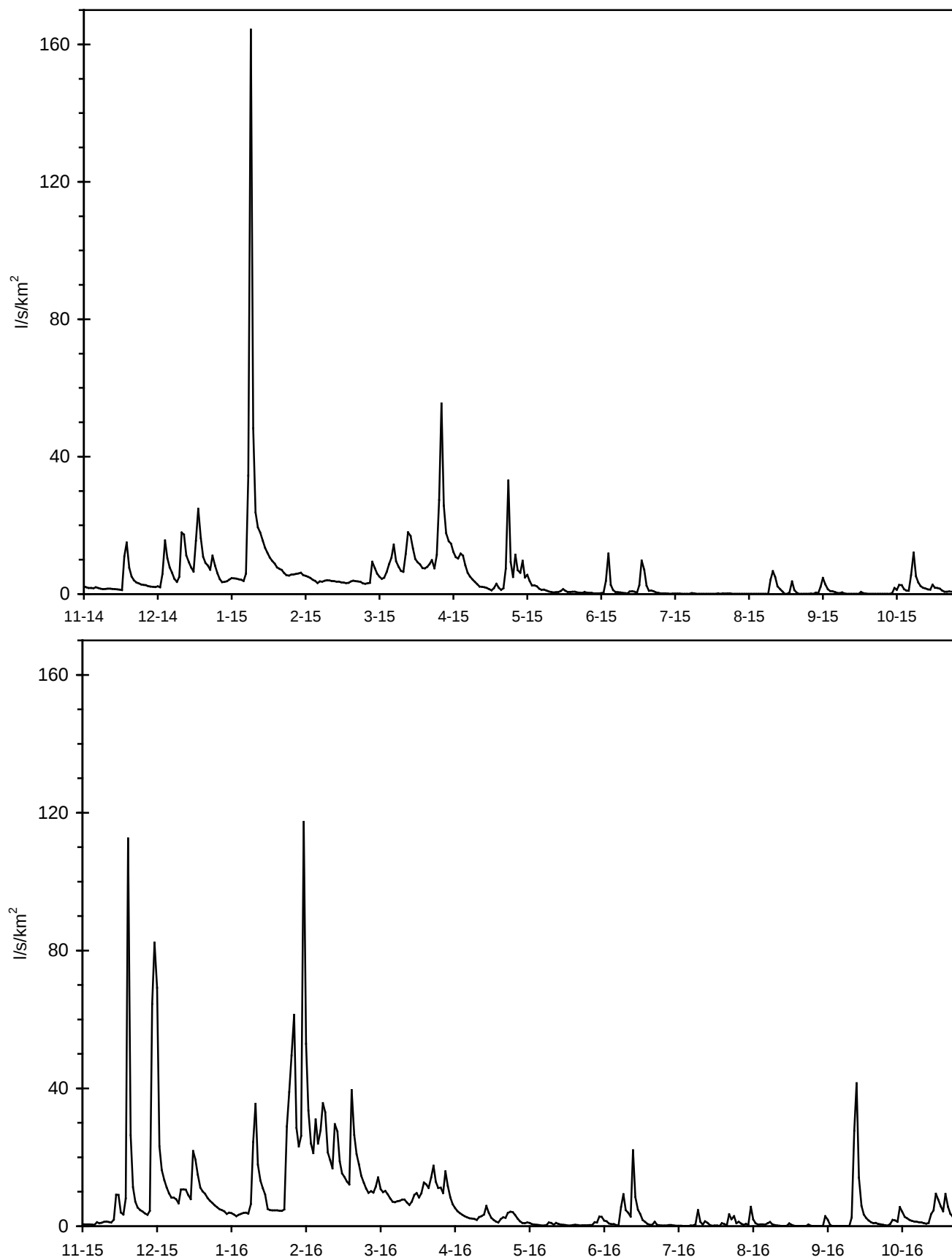
Souřadnice jízku	Plocha (km^2)	Nadm. výška (m)	Hornina	Půda	Porost
50°00'SŠ 12°43'VD	0,55	736 – 802	Amfibolit	Kambizem	Smrk ztepilý (<i>Picea abies</i>)



Obr. 1: Měrný přeliv povodí Na zeleném ve Slavkovském lese, vybavený od 30.9.2014 tlakovým čidlem Fiedler na měření vodní hladiny.

Výsledky a diskuse

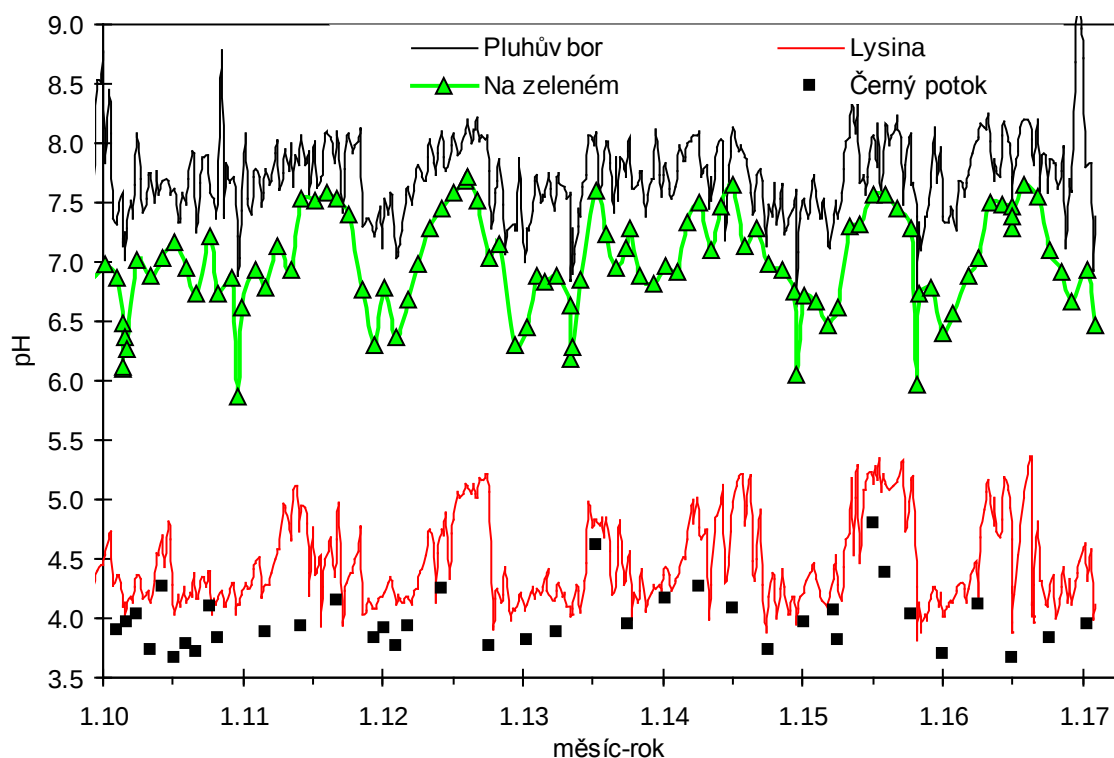
Roční průměrný srážkový úhrn za období pěti monitorovaných let (2012-2016) do povodí Na zeleném byl 788 mm rok^{-1} a úhrn podkorunových srážek za stejné období byl 524 mm rok^{-1} . Průměrný odtok za dvouleté období měření hladiny v desetiminutových intervalech (2015-2016) byl 193 mm rok^{-1} a odpovídal tedy 26% vstupu vody do povodí srážkami (tab. 2). Intercepce odpovídala 264 mm rok^{-1} a evapotranspirace 559 mm rok^{-1} , při zjednodušeném bilančním výpočtu (tab. 3), což u intercepce odpovídá 39% a u evapotranspirace 35% vstupu vody do povodí. Povrchový odtok reagoval velmi rychle na hydrologické události, jako bouřky nebo tání sněhu (obr. 2). Nejvyšší průměrný denní průtok na závěrovém profilu povodí byl zaznamenán 10. ledna 2015 ($90,4 \text{ l s}^{-1}$, specifický průtok $164,4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, odtok $14,2 \text{ mm den}^{-1}$). Naopak nepatrné průtoky blízké nule byly zaznamenány v srpnových týdnech roku 2015.



Obr. 2: Denní průměrné specifické průtoky v závěrovém profilu povodí Na zeleném v hydrologickém roce 2015 (horní obrázek) a 2016 (dolní obrázek), vždy pro 1.11. až 31.10. příslušného roku.

Zvýšené průtoky jsou Na zeleném i na dalších třech sledovaných geochemicky kontrastních lesních povodích Slavkovského lesa spojeny s nejméně příznivým chemickým složením potoční vody, s nejnižším pH (obr. 3) a následně s nejvyššími koncentracemi většiny potenciálně toxických kovů, kdy významná část odtékající vody z povodí proudí v okyseleném prostředí mělkých organických horizontů lesních půd. Naopak všechny hodnoty s nejvyšším pH reprezentují období nízkého průtoku. Velice odlišné poměry z hlediska hydrochemie v těchto čtyřech srovnávaných povodích je způsobena zejména různou rychlostí chemického zvětrávání geologického podloží (Krám et al., 2012, Dannhaus, 2016), pufrujícím kyselou atmosférickou depozicí, zejména prostřednictvím iontové výměny bazických kationtů v půdě, do které se tyto kationty dostávají hlavně prostřednictvím chemického zvětrávání podloží.

Průtokem vážená průměrná roční koncentrace rozpuštěného organického uhlíku (DOC) v potoce Na zeleném je středně vysoká, cca 13 mg l^{-1} (tab. 4) a zvyšuje se za zvýšených průtoků, což odráží větší podíl mělkých půdních vod v povrchovém odtoku a DOC je tak hlavním faktorem krátkodobého okyselení vod. Koncentrace toxických kovů byla vzhledem k příznivému pH nízká, což se týká zejména anorganického monomerního hliníku (Al³⁺), jehož průtokem vážené průměrné koncentrace byly velmi nízké, jen okolo $5 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ (tab. 4). To je příznivý faktor, zejména ve srovnání se špatně pufrovaným a z toho důvodu velmi antropogenně acidifikovaným potokem na Lysině, kde byly koncentrace Al³⁺ o dva řády vyšší. Naopak na výborně pufrovaném Pluhův boru se zase do vody přirozeně uvolňují těžké kovy z ultrabazického podloží, hlavně nikl a chrom (Krám et al., 2012, Novák et al., 2017). Koncentrace těchto kovů v potoce Na zeleném je ale řádově nižší. Chemismus tohoto potoka je tedy příznivý z hlediska hydrobiologického. Poměrně vysoké pH potoka Na zeleném, z hlediska pufrace kyselé depozice, rovnoměrné a dostatečné zastoupení bazických kationtů, hlavně vápníku a hořčíku a nízké koncentrace toxických kovů umožnily hojný výskyt makrozoobentosu, a jeho vysokou biodiverzitu vyjádřenou vysokým počtem čeledí makrozoobentosu (Krám et al., 2015).



Obr. 3: Měsíční hodnoty pH potoka Na zeleném v období od ledna 2010 do února 2017. Porovnání s třemi geochemicky kontrastními smrkovými povodími Slavkovského lesa. Týdenní hodnoty ze serpentinitového povodí Pluhův bor. Týdenní hodnoty také z granitového povodí Lysina s převážujícími podzolovými a glejovými půdami a čtvrtletní hodnoty z granitového povodí Černý potok, s převážujícími rašelinnými půdami.

Tabulka 2: Základní hydrologická bilance povodí Na zeleném (NAZ) za monitorovací období.

Hydrolog. rok	Srážky Mar. Lázně Úpravna vody (ČHMÚ) mm rok ⁻¹	Srážky NAZ mm rok ⁻¹	Podkorunové srážky NAZ mm rok ⁻¹	Odtok NAZ mm rok ⁻¹	Odtok NAZ % srážek	Odtok NAZ % podkorun. srážek
2010	788		575			
2011	802		592			
2012	839	782	547			
2013	942	982	763			
2014	638	672	403			
2015	594	640	376	152	24	40
2016	786	864	532	234	27	44
Počet roků	7	5	7	2		
Průměr	770	788	541	193		
Medián	788	782	547	193		
Směr. odch.	110	126	119	41		
Minimum	594	640	376	152		
Maximum	942	982	763	234		
Počet roků	5	5	5			
Průměr	759	788	524			
Medián	786	782	532			
Směr. odch.	128	126	137			
Minimum	594	640	376			
Maximum	942	982	763			

Tabulka 3: Doplňující hydrologická bilance povodí Na zeleném za pět let. Intercepce byla počítána jako rozdíl mezi srážkami a podkorunovými srážkami. Evapotranspirace (ET) byla zjednodušeně počítána jako rozdíl mezi podkorunovými srážkami a odtokem (ET bez intercepce), nebo jako rozdíl mezi srážkami a odtokem (ET celková), se zanedbáním podpovrchového odtoku a změn zásob podpovrchové vody v povodí.

Hydrolog. rok	Inter- cepce	Evapotran- spirace bez intercepce	Evapo- transpir. celková	Inter- cepce	Evapotran- spirace bez intercepce	Evapotranspirace celková
	mm rok ⁻¹			% srážek		
2012	235			30		
2013	219			22		
2014	269			40		
2015	264	224	488	41	35	76
2016	332	298	630	38	34	73
Počet let	5	2	2	5	2	2
Průměr	264	261	559	34	34,5	74,5
Medián	264	261	559	38	34,5	74,5
Směr. od.	39	37	71	7	0,5	1,5
Minimum	219	224	488	22	34	73
Maximum	332	298	630	41	35	76

Tabulka 4: Objemově vážené průměrné roční koncentrace v povodí Na zeleném v hydrologickýc letech 2015 a 2016 (listopad-říjen). Ali = anorganický monomerický Al (potenciálně toxické specie), Alo = organický monomerický Al (netoxické specie), Alp = partikulární Al (netoxické specie), DIN = rozpuštěný anorganický N (suma NO₃-N a NH₄-N), DON = rozpuštěný organický N, nestan = nestanoveno, ~ = přibližná hodnota stopových prvků, založená jen na prozatím hotových laboratorních analýzách pocházejících jen z první poloviny roku.

Prvek	Jednot.	2015			2016		
		Srážky	Podkorunové srážky	Odtok	Srážky	Podkorunové srážky	Odtok
Mg	mg l ⁻¹	0,050	0,52	2,25	0,045	0,37	2,81
Ca	mg l ⁻¹	0,21	1,48	4,44	0,18	0,99	5,92
K	mg l ⁻¹	0,36	4,07	0,70	0,26	3,72	0,75
Na	mg l ⁻¹	0,20	0,81	3,02	0,13	0,58	3,72
SiO ₂	mg l ⁻¹	nestan	nestan	14,4	nestan		14,1
P	µg l ⁻¹	53,8	57,7	47,1	42,7	66,3	51,4
Al	µg l ⁻¹	10,4	48,8	533	12,7	26	369
Ali	µg l ⁻¹	nestan	nestan	6	nestan	nestan	4
Alo	µg l ⁻¹	nestan	nestan	145	nestan	nestan	87
Alp	µg l ⁻¹	nestan	nestan	383	nestan	nestan	288
Mn	µg l ⁻¹	11,7	278,2	99,3	13,1	193,9	74,0
Fe	µg l ⁻¹	40,4	58,4	440	49,2	43,2	369
Zn	µg l ⁻¹	14,8	21,7	14,5	21,4	16,5	10,4
Pb	µg l ⁻¹	0,59	1,25	0,84	~0,97	~1,57	~0,90
Ni	µg l ⁻¹	0,64	1,22	2,1	~1,23	~2,10	~6,3
Cr	µg l ⁻¹	0,19	0,40	1,18	~0,88	~0,89	~2,2
As	µg l ⁻¹	<0,5	<0,5	0,84	<0,5	<0,5	~0,87
Cd	µg l ⁻¹	0,29	0,11	0,11	~0,025)	~0,07	~0,10
Sr	µg l ⁻¹	1,08	10,76	40,38	~1,02	~8,29	~47,4
F	mg l ⁻¹	<0,02	0,022	0,074	<0,02	0,025	0,099
Cl	mg l ⁻¹	0,35	2,12	1,62	0,22	1,51	1,96
SO ₄	mg l ⁻¹	0,65	4,55	12,59	0,72	2,57	18,37
NO ₃ -N	mg l ⁻¹	0,32	1,78	0,46	0,27	1,08	0,66
NH ₄ -N	mg l ⁻¹	0,35	1,17	0,02	0,39	0,73	0,02
DIN	mg l ⁻¹	0,67	2,95	0,48	0,66	1,81	0,68
DON	mg l ⁻¹	0,051	0,91	0,45	0,08	0,37	0,72
DOC	mg l ⁻¹	1,90	18,4	13,4	1,60	12,1	13,3
H ⁺	µg l ⁻¹	13,2	17,8	0,68	11,4	11,5	0,65
pH	jedn.	4,88	4,75	6,17	4,95	4,94	6,19
alkalita	µeq l ⁻¹	-3,3	13,2	108,7	-0,6	27,0	140,6
vodivost	µS cm ⁻¹	16,2	53,7	63,3	11,7	37,4	83,7
absorbance	254 nm	0,0435	0,464	0,556	0,0231	0,377	0,533

Tabulka 5: Látkové toky v povodí Na zeleném v hydrologických letech 2015 a 2016 (listopad-říjen). Ali = anorganický monomerní Al (potenciálně toxické specie), Alo = organický monomerní Al, Alp = partikulární Al, DIN = rozpuštěný anorganický N (suma $\text{NO}_3\text{-N}$ a $\text{NH}_4\text{-N}$), DON = rozpuštěný organický N, nestan = nestanoveny, pod md = pod mezí detekce, nedom = hodnota prozatím neuvedena, kvůli tomu, že analýzy stopových prvků z druhé poloviny roku ještě nebyly z důvodu poruchy přístroje ICP MS změřeny.

Prvek	Jednotka	2015			2016		
		Srážky	Podkorunové srážky	Odtok	Srážky	Podkorunové srážky	Odtok
Mg	$\text{kg ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	0,32	1,96	3,42	0,38	1,99	6,57
Ca	$\text{kg ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	1,37	5,58	6,74	1,56	5,25	13,82
K	$\text{kg ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	2,42	15,31	1,06	2,14	19,78	1,76
Na	$\text{kg ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	1,30	3,04	4,58	1,15	3,07	8,70
$\text{SiO}_2\text{-Si}$	$\text{kg ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	nestan	nestan	10,22	nestan	nestan	32,83
P	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	344	217	71,4	369	353	120,1
Al	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	66,8	183,7	809,3	109,8	138,5	863,0
Ali	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	nestan	nestan	8,5	nestan	nestan	10,1
Alo	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	nestan	nestan	219,5	nestan	nestan	203,7
Alp	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	nestan	nestan	581,3	nestan	nestan	672,2
Mn	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	75,0	1046,8	150,7	112,8	1031,4	172,9
Fe	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	258,4	219,9	668,2	425,2	230,0	838,9
Zn	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	94,8	81,5	22,0	185,1	88,0	24,4
Pb	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	3,76	4,72	1,27	nedom	nedom	2,10
Ni	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	4,12	3,77	3,19	nedom	nedom	14,7
Cr	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	1,22	1,23	1,79	nedom	nedom	5,09
As	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	pod md	pod md	1,27	nedom	nedom	2,04
Cd	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	0,19	0,42	0,17	nedom	nedom	0,23
Sr	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	6,92	40,49	61,26	nedom	nedom	110,8
F	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	77,0	83,1	112,0	118,8	132,7	231,1
Cl	$\text{kg ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	2,27	8,00	2,45	1,89	8,04	4,57
$\text{SO}_4\text{-S}$	$\text{kg ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	1,39	5,72	6,37	2,08	4,56	14,33
$\text{NO}_3\text{-N}$	kg ha	2,06	6,71	0,70	2,35	5,75	1,53
$\text{NH}_4\text{-N}$	kg ha	2,22	4,39	0,03	3,38	3,90	0,05
DIN	$\text{kg ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	4,28	11,10	0,73	5,73	9,65	1,58
DON	$\text{kg ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	0,33	3,42	0,68	0,64	2,4	1,68
DOC	$\text{kg ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	12,17	69,24	20,29	13	77	31,12
H^+	$\text{g ha}^{-1} \text{ r}^{-1}$	81,2	67,1	1,0	92,6	61,7	1,5

Látkové toky povodí Na zeleném v hydrologických letech 2015-2016 jsou uvedeny v tab. 5. Jedná se o roční hodnoty srážek na volné ploše, podkorunových srážek a povrchového odtoku. Odtok síranové síry byl ve velmi suchém roce 2015 velmi nízký ($6,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$), zatímco v následujícím roce 2016 výrazně zvýšený ($14,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$). To bylo patrně způsobeno změnou oxidačně-redukčních poměrů ve vlhkém období, následujícím po mimořádně dlouhém období sucha, kdy došlo nevyhnutelně k poklesu hladiny podzemní vody v povodí a k následné oxidaci dříve nahromaděné síry v půdních horizontech a zvětralinovém plášti hornin. Na rozdíl od všech povodí sítě GEOMON (Novák et al., 2005) má povodí Na zeleném navíc k dispozici výrazný zdroj horninové síry (Štědrá et al., 2015), uvolňující se postupně do podpovrchových vod chemickým zvětráváním.

Látkové toky anorganického rozpuštěného dusíku (DIN) Na zeleném mají největší podíl na celkovém dusíku ve srážkách (92 %), nižší podíl v podkorunových srážkách (78 %) a nejnižší podíl v povrchové vodě (49 %), což znamená, že více než polovina (51%) rozpuštěného dusíku opouští povodí povrchovým odtokem ve formě rozpuštěného organického dusíku (DON). Celkově opouští povodí 36 % celkového rozpuštěného dusíku, který vstoupil do povodí ve formě srážek na volné ploše.

Velmi vysoké látkové toky draslíku (K) a manganu (Mn) v podkorunových srážkách jsou způsobeny interním cyklem těchto prvků mezi kořeny a jehlicemi a jejich zpětným vymýváním, což je pro smrkové porosty typické. Chemické zvětrávání podložních amfibolitů se projevuje zejména ve zvýšených látkových tocích vápníku (Ca), hořčíku (Mg) a stroncia (Sr) v podkorunových srážkách, ale hlavně v povrchovém odtoku (tab. 5).

Závěr

Hydrologický a hydrochemický výzkum povodí Na zeleném vhodně doplnil předcházející výzkumy geochemicky kontrastních povodí Slavkovského lesa. Toto amfibolitové povodí totiž reprezentuje území se smrkovými monokulturami, které se přitom vyznačuje, díky výraznému chemickému zvětrávání podloží bohatému na vápník a hořčík, příznivými biogeochemickými a hydrochemickými podmínkami pro terestrický i akvatický ekosystém.

Poděkování

Tento výzkum podpořil zejména evropský projekt SoilTrEC (FP7 244118), Norské fondy (EHP-CZ02-OV-1-020-2014) a interní projekt České geologické služby (338100). Tento výzkum byl také podpořen na Ústavu výzkumu globální změny AVČR z prostředků MŠMT v rámci Národního programu udržitelnosti (NPU I, číslo projektu LO1415). Autoři děkují M. Novákovi, J. Hruškovi, F. Oulehle, V. Chlupáckové a V. Bláhovi za spolupráci a podporu. Poděkování patří i pracovníkům ČHMÚ Plzeň za zasílání klimatických dat z jejich stanice a pracovníkům Povodí Ohře, s.p., zejména za vstřícnost při umožnění monitoringu povodí Na zeleném.

Literatura

- Dannhaus, N. (2016): Development of the ^{10}Be (meteoric)/ ^9Be isotope system to quantify Earth surface processes in small headwater catchments with different lithologies. Ph.D. dissertation, Free University of Berlin, Berlin.
- Hruška, J., Johnson, C. E., Krám, P., Liao, C.-Y. (1997): Organic solutes and the recovery of a bog stream from chronic acidification. *Environmental Science and Technology*, 31, 3677-3681.
- Kopáček, J., Hejzlar, J., Krám, P., Oulehle, F., Posch, M. (2016): Modelling precipitation chemistry in the Czech Republic (Central Europe) from 1850-2013. *Water Research*, 103, 30-37.
- Krám, P. (2011): Hydrologická bilance dlouhodobě monitorovaného povodí Lysina. In: Šír M., Tesař M. (eds.) *Hydrologie malého povodí 2011*, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Praha, 259 – 265.
- Krám, P., Hruška, J., Shanley, J. B. (2012): Streamwater chemistry in three contrasting monolithologic catchments. *Applied Geochemistry*, 27, 1854 – 1863.
- Krám, P., Čuřík, J., Veselovský, F., Myška, O., Lamačová, A., Hruška, J., Štědrá, V. (2014): Hydrologie a hydrochemie dlouhodobě zkoumaného ultrabazického povodí Pluhův bor. In: Brych K., Tesař M. (eds.) *Sborník konference Hydrologie malého povodí 2014*, Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Praha, 238 – 245.
- Krám, P., Senoo, T., Beneš, F., Čuřík, J., Veselovský, F. (2015): Limnologie potoka Na zeleném ve Slavkovském lese. In: Rádková V., Bojková J. (eds.) *Sborník příspěvků 17. konference České limnologické společnosti a Slovenské limnologické společnosti*. Masaryk. univ., Brno, 83 – 88.
- Krám, P., Čuřík, J., Veselovský, F., Myška, O., Hruška, J., Štědrá, V., Jarchovský, T., Buss, H. L., Chuman T. (2017): Hydrochemical fluxes and bedrock chemistry in three contrasting catchments underlain by felsic, mafic and ultramafic rocks. *Procedia Earth and Planetary Sciences*, 17, 538 – 541.

- Lamačová, A., Hruška, J., Krám, P., Stuchlík, E., Farda, A., Chuman, T., Fottová, D. (2014): Runoff trends analysis and future projections of hydrologic patterns in small forested catchments. *Soil and Water Research*, 9, 4, 169 – 181.
- Novák, M., Kirchner, J.W., Fottová, D., Přechová, E., Jačková, I., Krám, P., Hruška, J. (2005): Isotopic evidence for processes of sulfur retention/release in 13 forested catchments spanning a strong pollution gradient (Czech Republic, Central Europe). *Global Biogeochemical Cycles* 19, Art. No. GB4012, 1-14.
- Novák, M., Krám, P., Šebek, O., Andronikov, A., Chrástný, V., Martínková, E., Štěpánová, M., Přechová, E., Čuřík, J., Veselovský, F., Myška, O., Štědrá, V., Farkaš, J. (2017): Seasonal changes in Cr fluxes and $\delta^{53}\text{Cr}$ values in runoff from a small serpentinite catchment (Slavkov Forest, Czech Republic). *Chemical Geology*, in review.
- Oulehle, F., Chuman, T., Hruška, J., Krám, P., McDowell, W. H., Myška, O., Navrátil, T., Tesař, M. (2017): Recovery from acidification alters concentrations and fluxes of solutes from Czech catchments. *Biogeochemistry*, 132, 251 – 272.
- Regelink, I. C., Stoof, C. R., Rousseva, S., Weng, L., Lair, G. J., Krám, P., Nikolaidis, N. P., Kercheva, M., Banwart, S., Comans, R. N. J. (2015): Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. *Geoderma*, 247 – 248: 24 – 37.
- Rosenstock, N. P., Berner, C., Smits, M. M., Krám, P., Wallander, H. (2016): The role of phosphorus, magnesium, and potassium availability in soil fungal exploration of mineral nutrient sources in Norway spruce forests. *New Phytologist*, 211, 542 – 553.
- Rousseva, S., Kercheva, M., Shishkov, T., Lair, G. J., Nikolaidis, N., Moraetis, D., Krám, P., Bernasconi, S., Blum, W., Menon, M., Banwart, S. A. (2017): Soil water characteristics of European SoilTrEC Critical Zone Observatories. *Advances in Agronomy*, 142, 29 – 72.
- Schneider S. C., Oulehle F., Krám P., Hruška J. (2017): Recovery of benthic algal assemblages from acidification: how long does it take, and is there a link to eutrophication? *Hydrobiologia*, in review.
- Štědrá, V., Krám, P., Farkaš, J. (2015): Petrologie a geochemie metabazických hornin zastižených jádrovými vrty v povodích Na zeleném a Pluhův bor ve Slavkovském lese v západních Čechách. *Zprávy o geologických výzkumech za rok 2014*, 103 – 108.
- Vodní dílo Mariánské Lázně (2017): <http://www.poh.cz/vd/marianky.htm> (stránka Povodí Ohře, s.p.).
- Vuorenmaa, J., Augustaitis, A., Beudert, B., Clarke, N., de Wit H. A., Dirnbock, T., Frey, J., Forsius, M., Indrikson, I., Kleemola, S., Kobler, J., Krám, P., Lundin, L., Váša, M. (2017): Long-term sulphur and nitrogen mass balance budgets in European forested catchments (1990-2012). *Ecological Indicators*, 76, 15 – 29.

HYDROLOGIE MALÉHO POVODÍ 2017



Organizace
Spojených národů
pro výchovu,
vědu a kulturu

POD
ZÁŠTITOU
ČESKÉ
KOMISE
PRO
UNESCO

Editoři: Karel Brych, Miroslav Tesař

Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i., Pod Paťankou 30/5, 166 12 Praha 6

Praha, 2017

Předmluva editorů

Sborník obsahuje plné texty vědeckých článků. Příspěvky neprošly jazykovou kontrolou a za obsah odpovídají autoři článků. Články byly připraveny jako příspěvky pro konferenci s mezinárodní účastí „Hydrologie malého povodí 2017“, která se konala ve dnech 18. až 20.4. 2017 v Praze. Konferenci pořádal Ústav pro hydrodynamiku AVČR, v.v.i., Praha ve spolupráci s Ústavem hydrológie SAV, Bratislava; Českou vědeckotechnickou vodohospodářskou společností, Praha; Českým hydrometeorologickým ústavem, Praha; Českým národním výborem pro hydrologii a Českým národním komitétem geodetickým a geofyzikálním (asociací IAHS).



Mediálním partnerem konference byla společnost Vodní hospodářství spol. s r.o.



Vědecký výbor konference:

Blažková Šárka, Císlerová Milena, Daňhelka Jan, Doležal František, Holko Ladislav,
Kodešová Radka, Kovář Pavel, Kulhavý Zbyněk, Lichner Lubomír, Miklánek Pavol,
Novák Viliam, Orfánus Tomáš, Parajka Juraj, Pekárová Pavla, Rieder Mark,
Škvarenina Jaroslav, Tesař Miroslav, Vogel Tomáš

Konferenci pořádal a sborník vydal Ústav pro hydrodynamiku AVČR, v. v. i., v Praze roku 2017 v rámci řešení projektu GAČR GA16-05665S.

Foto na obálce: © Vladislav Hošek

Název: Hydrologie malého povodí 2017

Editoři: Karel Brych, Miroslav Tesař

Vydal: © Ústav pro hydrodynamiku AVČR, v. v. i., Pod Patankou 30/5, 166 12 Praha 6

Rok vydání: 2017

ISBN: 978-80-87117-15-6