

Hydrologická bilance dlouhodobě monitorovaného povodí Lysina

Pavel Krám

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

Abstrakt

Zkoumány byly hydrologické charakteristiky malého lesního povodí Lysina ve Slavkovském lese, zkoumaného intenzivně od roku 1990 do roku 2010. Povodí se vyznačuje vysokou kyselostí povrchové vody. Pozornost byla věnována vyhodnocení denních průměrných srážek a odtoků v časovém měřítku dnů, měsíců a let. Roční průměrný srážkový úhrn do povodí Lysina je 985 mm a průměrný povrchový odtok je 453 mm. Odtok se pohybuje mezi 35% a 59% ročních srážkových vstupů do povodí.

Klíčová slova: Malé lesní povodí, denní průměrné odtoky, denní srážky, měsíční odtoky, kumulativní odtoky, čára překročení, acidifikace vod.

Úvod

Příspěvek se věnuje základním srážkovým a odtokovým charakteristikám malého lesního povodí Lysina v západních Čechách, kde je k dispozici nepřetržitá řada měření z období 21 hydrologických roků.

Popis území a metody

Povodí Lysina leží v severozápadní části Čech, na území Karlovarského kraje, v oblasti Chráněné krajinné oblasti Slavkovský les. Plocha povodí, které leží v nadmořské výšce 829–949 m n.m., je 27,3 ha. Nalézá se přibližně 1 km na sever od osady Kladská na jihovýchodním úpatí hory Lysina (982 m n.m.), druhé nejvyšší hory Slavkovského lesa. Podloží je formováno leukogranitem (světlou žulou s velmi malým množstvím tmavé slídy – biotitu), na povodí převažují podzolované půdy. Výzkumné povodí Lysina neobsahuje rašeliniště. Povodí je celé zalesněné stejnověkými monokulturami smrku ztepilého (*Picea abies*). Průměrná roční teplota vzduchu je 5°C (Krám et al., 1997, Hruška et al., 2002).

Povodí Lysina bylo vybráno pro podrobný monitoring z geochemických a hydrochemických důvodů již v roce 1987. Důvodem bylo, že v tomto roce bylo zjištěno, že povrchové vody na leukogranitech Slavkovského lesa vykazují extrémní kyselost (pH se vyskytovalo v průměru mírně nad hodnotou 4,0) a mimořádně vysoké koncentrace toxického hliníku uvolňovaného díky antropogenní acidifikaci z podložních půd a hornin (Krám, 2005, Krám et al., 2009). V průběhu roku 1988 bylo provedeno několik orientačních odběrů a v následujícím roce 1989 byl vybudován měrný přepad s plovákovým limnigrafem. Kontinuální měření průtoků a výpočty průměrných denních průtoků probíhají od 18.9.1989 až do současnosti. Pro hodnocení denních srážkových úhrnů se využívá blízká srážkoměrná stanice ČHMÚ v obci Lazy, která je vzdálená 3 km severozápadně od výzkumného povodí Lysina. Pro odhad srážkových úhrnů pro poněkud výše položené povodí Lysina byly použity i srážkové úhrny z totalizátoru umístěného na vrcholu hory Lysina a tak převzaté srážkové hodnoty ze stanice Lazy byly pro povodí Lysina zvýšeny o 2,2%.

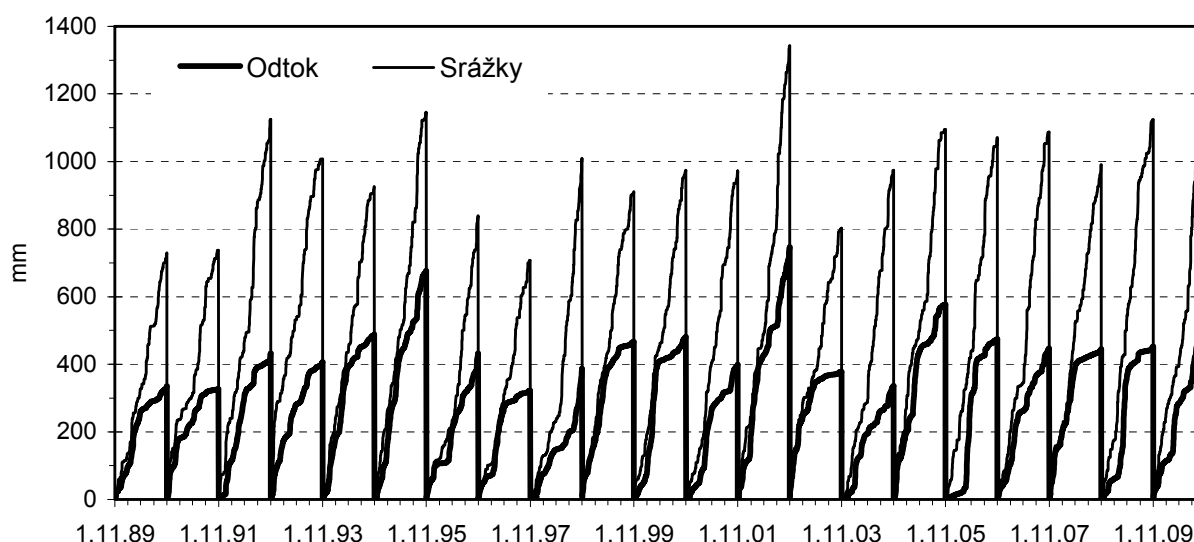
Výzkumné povodí Lysina je od roku 1994 součástí národní sítě malých lesních povodí GEOMON, koordinované D. Fottovou z České geologické služby (Fottová, Skořepová, 1998, Oulehle et al., 2008). Lysina je také jedním ze dvou českých povodí v mezinárodní síti více než padesáti evropských povodí nazvané ICP Integrated Monitoring (Krám et al., 2008, Bringmark et al., 2009). Dále se Lysina stala součástí rozsáhlé databáze povrchových vod Evropy a severní Ameriky sítě ICP Waters. V roce 2009 se Lysina stala jednou ze čtyř evropských observatoří kritické zóny evropského výzkumného

projektu SoilTrEC (Banwart et al., 2011) a v roce 2010 se Lysina stala i jedním ze zástupců dlouhodobého výzkumu ekosystémů (Czech ILTER, 2011, Lischeid et al., 2010).

V současné době dochází k mírnému ozdravení terestrického a akvatického ekosystému povodí Lysina, které je doprovázeno výrazným zvyšováním koncentrací rozpuštěného organického uhlíku v povrchových vodách (Hruška et al., 2009). Povodí Lysina bylo hodnoceno z hlediska odtokových charakteristik v rámci sítě 14 českých povodí GEOMON (Kráš, Fottová, 2007a, b, 2008). V počátcích je detailní modelování vlivu klimatické změny na odtokové poměry na Lysině (Benčoková et al., 2010a, b).

Výsledky a diskuse

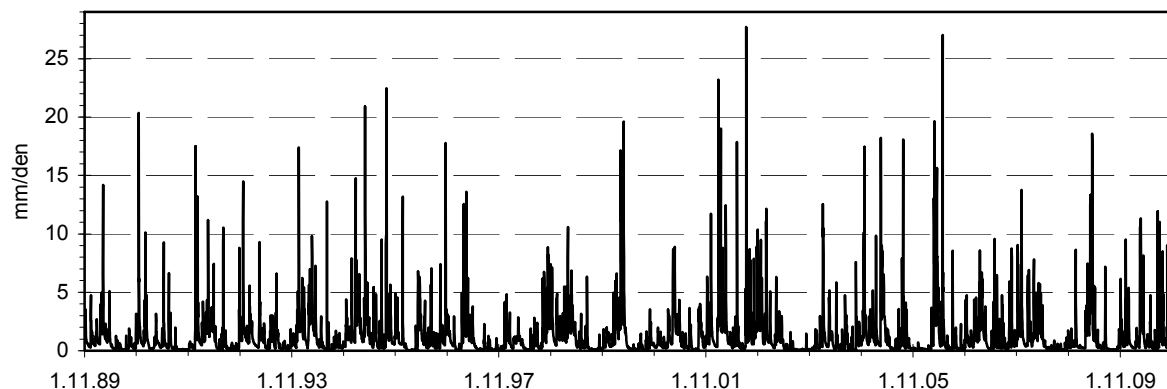
Kumulativní růst srážek a odtoků v rámci jednotlivých hydrologických roků znázorňuje obr. 1. Z něho jsou patrné na první pohled nejvodnější i nejsušší roky a je z něho možno vyčíst i například, že k nejvýraznějšímu přibývání odtokové výšky docházelo v srpnu 2002, nebo že naopak nejpomalejší přibývání odtoku se odehrávalo v letním a podzimním období následujícího roku 2003. Roční průměrný srážkový úhrn do povodí Lysina je téměř 1000 mm a průměrný odtok přibližně 450 mm, což odpovídá 46% vstupu vody do povodí (tab. 1). Srážkové úhrny se pohybovaly od minima (708 mm rok⁻¹) v hydrologickém roce 1997 do maxima (1342 mm rok⁻¹) v povodňovém roce 2002. Nízké úhrny pod 800 mm rok⁻¹ byly zaznamenány také v letech 1990–1991, a zvýšené úhrny nad 1100 mm rok⁻¹ pak byly zaznamenány v letech 1992, 1995, 2009 a 2010. Nejnižší odtokové výšky byly zaznamenány v roce 1997 (322 mm rok⁻¹), 1991, 1990, 2004 a 2003, naopak nejvyšší v roce 2002 (747 mm rok⁻¹), 1995 a 2005. Procentuálně odteklo nejméně srážek v roce 2004 (35%), nejvíce pak v letech 1995 (59%) a 2002 (56%). Všechny průměrné denní odtoky za 21 kompletních hydrologických roků jsou na obr. 2. Nejdelší období nízkého odtoku nastalo v letních a podzimních měsících hydrologického roku 2003. Naopak nejvyšší denní průtoky (nad 20 mm rok⁻¹), byly registrovány v 6 individuálních dnech, průtoky v rozmezí 15–20 mm rok⁻¹ v 16 dnech. Nejvyšší denní průtoky byly zaznamenány 12.8.2002 (28 mm rok⁻¹) a 28.5.2006 (27 mm rok⁻¹). Zvýšené průtoky jsou na Lysině vždy spojeny s nejméně příznivým chemickým složením potoční vody, s vysokou kyselostí (nízkým pH) a s vysokými koncentracemi rozpuštěného hliníku.



Obr. 1: Kumulativní srážky a odtoky v denním kroku pro 21 hydrologických roků v období 1990–2010 na povodí Lysina.

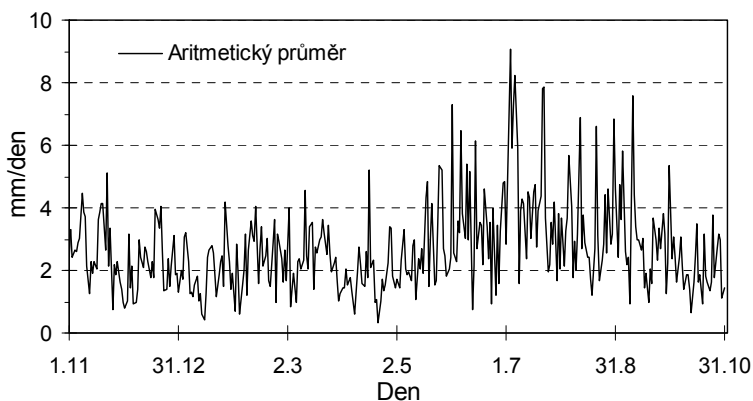
Tabulka 1: Hydrologická bilance povodí Lysina. Roční odhad evapotranspirace (výparu) byl počítán zjednodušeně jako rozdíl mezi ročními srážkami a ročním odtokem.

Hydrologický rok	Srážky (mm rok ⁻¹)	Odtok (mm rok ⁻¹)	Evapotranspirace (mm rok ⁻¹)	Odtok (% srážek)
1990	730	336	395	46
1991	737	327	411	44
1992	1124	432	693	38
1993	1008	406	602	40
1994	925	489	437	53
1995	1146	677	470	59
1996	840	432	408	51
1997	708	322	385	46
1998	1010	387	623	38
1999	910	467	444	51
2000	974	482	492	50
2001	972	399	574	41
2002	1342	747	595	56
2003	803	378	425	47
2004	974	337	637	35
2005	1095	577	518	53
2006	1071	474	597	44
2007	1087	447	640	41
2008	990	445	545	45
2009	1124	453	671	40
2010	1104	504	600	46
Aritmetický průměr	985	453	531	46
Medián	990	445	545	46
Směr. odchylka	155	106	98	6

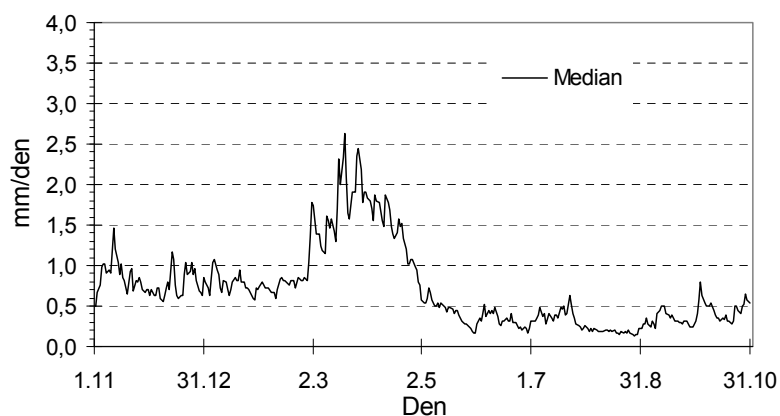
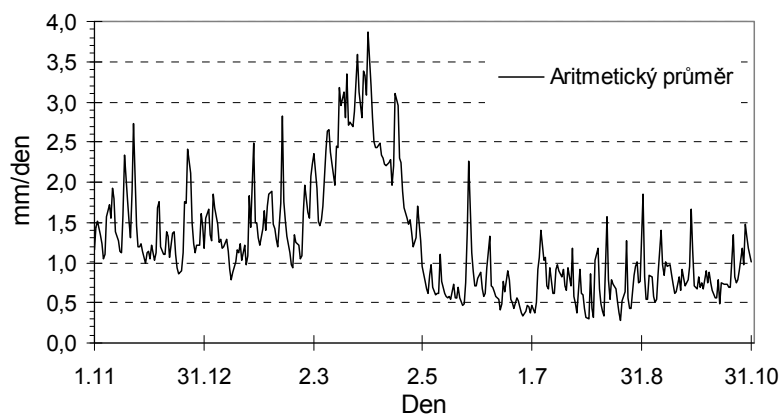


Obr. 2: Denní průměrné odtoky zaznamenané v závěrovém profilu povodí Lysina během 21 hydrologických roků 1990–2010.

Srážkové úhrny na Lysině jsou velmi rozkolísané. Nejvyšší úhrny se vyskytují od začátku června až téměř do poloviny září (obr. 3). Naopak nulové mediánové hodnoty naprosto převažují poslední červencový týden a po celý srpen (neukázáno). Průměrné odtoky jsou rozkolísané. Výrazný nástup zvýšených odtoků je patrný v březnu (obr. 4). Od 26.3. do 3.4. je období nejvyšších odtoků, s průměrným odtokem téměř stále nad 3 mm den⁻¹. Naopak nejnižší průměrné odtoky byly spočteny pro poslední červnový týden. Mediány denních průtoků (obr. 4) se vyznačují nižšími hodnotami i jejich menší rozkolísaností. Celý srpen se vyznačuje nejnižšími mediány denních odtoků.

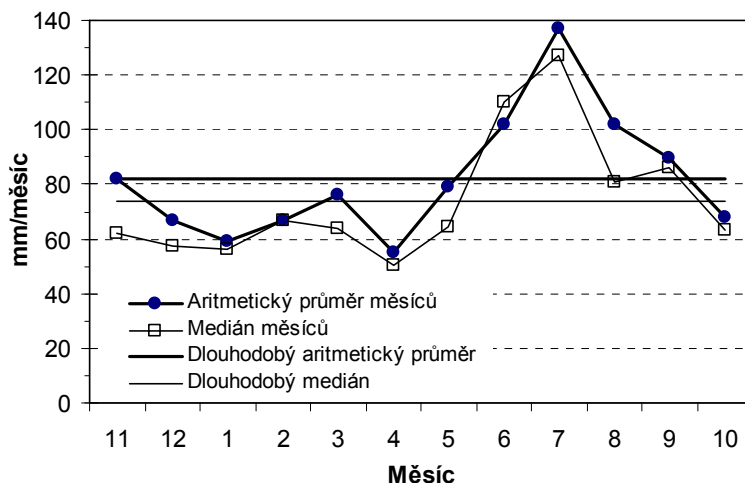


Obr. 3: Aritmetické průměry denních srážkových úhrnů pro období hydrol. roků 1990–2010 na Lysině.

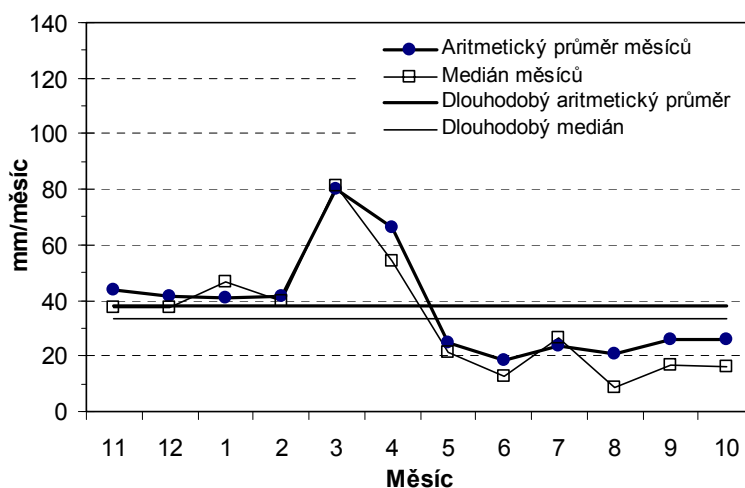


Obr. 4: Aritmetické průměry a mediány denních odtoků pro období hydrol. roků 1990–2010 na Lysině.

Nejvyšší průměrné i mediánové srážkové úhrny se vyskytují v červenci (137 respektive 127 mm měsíc⁻¹), nejnižší naopak v dubnu (55 respektive 50 mm měsíc⁻¹), období měsíců června až září se vyznačuje nadprůměrnými měsíčními hodnotami (obr. 5). Dlouhodobý měsíční průměr srážek je 82 mm měsíc⁻¹, dlouhodobý měsíční medián je 74 mm měsíc⁻¹. Naopak dlouhodobý měsíční průměr odtokových výšek je 38 mm měsíc⁻¹ a jejich dlouhodobý měsíční medián je 33 mm měsíc⁻¹ (obr. 6). Výrazně zvýšený měsíční odtok je v březnu (průměr 80 mm měsíc⁻¹, medián 81 mm měsíc⁻¹) a v dubnu (průměr 66 mm měsíc⁻¹, medián 54 mm měsíc⁻¹).



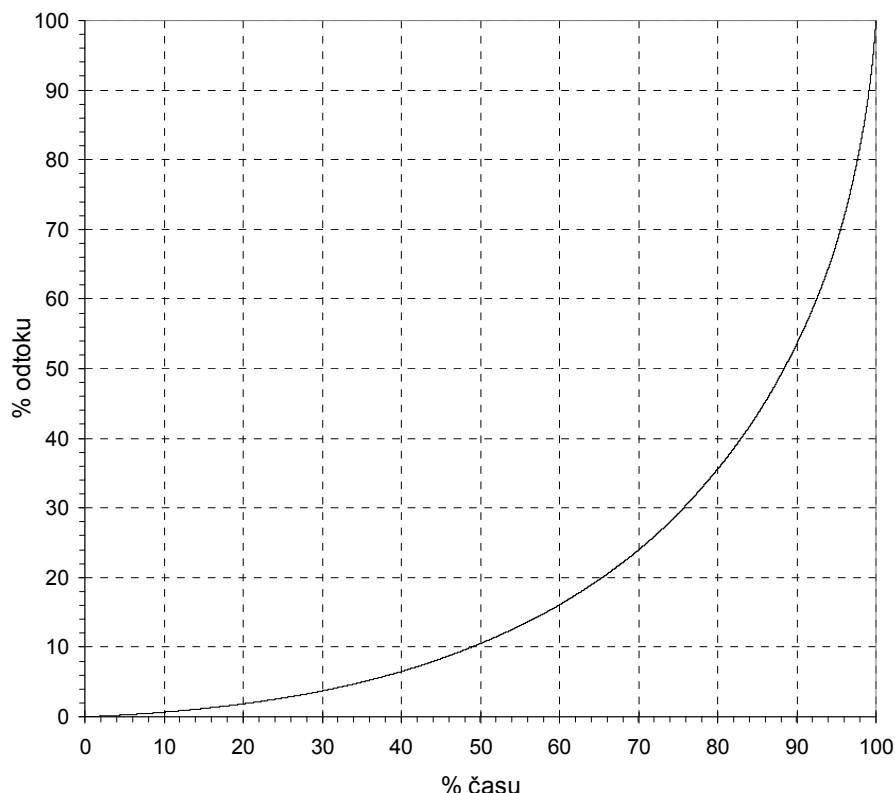
Obr. 5: Měsíční charakteristiky srážek ve srovnání s dlouhodobými hodnotami na Lysině z hydrologických roků 1990–2010.



Obr. 6: Měsíční charakteristiky odtoků ve srovnání s dlouhodobými hodnotami na Lysině z hydrologických roků 1990–2010.

Čára překročení dokumentuje dlouhodobou charakteristiku průměrných denních odtoků (ob. 7). Celkově během poloviny monitorovacích času reprezentující nižší polovinu průtoků odteče z povodí Lysina jen 10,5% vody. Během například 90% celkového monitorovacích času odteče 53,6% vody a

během 99% času 88,7% vody. To znamená, že během zbývajících pouhého 1% monitorovacího času reprezentovaného nejvyššími odtoky odeče zbýající množství vody, to znamená 11,3% vody.



Obr. 7: Čára překročení denních průtoků na povodí Lysina sestavená z dat v hydrologických rocích 1990–2010.

Závěry

Malé lesní povodí Lysina reprezentuje extrémně antropogenně acidifikované povodí střední Evropy. Zpracované hydrologické charakteristiky povodí jsou založeny na 21 hydrologických letech nepřetržitého měření. Roční průměrný srážkový úhrn do povodí Lysina byl 985 mm a průměrný povrchový odtok byl 453 mm. Povrchový odtok byl v průměru na úrovni 46% srážkových úhrnů, ale pohyboval se v širokém rozmezí, mezi 35% a 59%. Nejvyšší denní průtok z povodí Lysina mezi lety 1990 a 2010 byl zaznamenán dne 12.8.2002 (28 mm rok⁻¹). Bylo zjištěno, že z dlouhodobého hlediska je období od 26.3. do 3.4. obdobím nejvyšších odtoků, s průměrnými hodnotami téměř stále nad 3 mm den⁻¹.

Poděkování: Tento příspěvek vznikl zejména díky podpoře Ministerstva životního prostředí ČR (Projekt VaV SP/1a6/151/07 Daniely Fottové). Za svědomitou obsluhu limnigrafu a jiné terénní práce na povodí Lysina náleží poděkování pozorovateli Václavu Kmínkovi z Kladské. Poděkování patří i pozorovateli Heleně Šlesingerové ze srážkoměrné stanice ČHMÚ Lazy a následně i pracovníkům ČHMÚ Plzeň za pravidelné zasílání odpovídajících srážkoměrných dat.

Literatura

Banwart, S., Bernasconi, S., Bloem, J., Blum, W., Brandao, M., Brantley, S., Chabaux, F., Duffy, C., Lundin, L., Krám, P., Nikolaidis, N., Novák, M., Panagos, P., Ragnarsdottir, K.V., Reynolds, B., Rouseva, S., de Ruiter, P., van Gaans, P., van Riemsdijk, W., White, T., Zhang, B. (2011): Assessing soil processes and function across an international network of critical zone observatories: research hypotheses and experimental design. *Vadose Zone Journal*, in review.

- Benčoková, A., Krám, P., Hruška, J. (2010): The impact of climate change on hydrological patterns in headwater catchments of Czech GEOMON network. In: Zuber A., Kania J., Kmiecik E. (eds.) 38th International Association of Hydrogeologists Congress Proceedings. Groundwater Quality Sustainability, University of Silesia, Krakow, 947–950.
- Benčoková, A., Krám, P., Hruška, J., Stuchlík, E. (2010): Future and recent changes in flow patterns in the Czech headwater catchments. In: Holzmann H., Godina, R., Muller G. (eds.) Hydrological responses of small basins to a changing environment, 13th Conference of Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins Proceedings, Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management. Vienna, 5–8.
- Bringmark, L., Lundin, L., Dieffenbach-Fries, H., Beudert, B., Grabner, M., Ruoho-Airola, T., Lyulko, I., Váňa, M., Krám, P., Augustaitis, A., Schulte-Bisping, H. (2009): Heavy metal budgets and critical loads at ICP Integrated Monitoring sites. *Finnish Environment* 23, 64–70.
- Czech ILTER, 2011. International Long-Term Ecological Research in the Czech Republic. <http://www.lter.cz>
- Fottová, D., Skořepová, I., 1998. Changes in mass element fluxes and their importance for critical loads: GEOMON network, Czech Republic. *Water, Air, and Soil Pollution* 105, 365–376.
- Hruška, J., Moldan, F., Krám, P. (2002): Recovery from acidification in Central Europe- observed and predicted changes of soil and streamwater chemistry in the Lysina catchment, Czech Republic. *Environmental Pollution*, 120, 261–274.
- Hruška, J., Krám, P., McDowell, W. H., Oulehle, F. (2009): Increased dissolved organic carbon (DOC) in Central European streams is driven by reductions in ionic strength rather than climate change or decreasing acidity. *Environmental Science and Technology*, 43, 4320–4326.
- Krám, P. (2005): Chemické složení odtoku ze tří geochemicky kontrastních podloží (leukogranit – serpentinit – amfibolit). Sborník konference Hydrologie malého povodí 2005 (eds. Šír, M. et al.), Ústav pro hydrodynamiku Akademie věd ČR, Praha, 181–186.
- Krám, P., Fottová, D. (2007a): Charakteristiky denních povrchových odtoků ze čtrnácti lesních povodí sítě GEOMON v hydrologických rocích 1994–2005. Výzkumná zpráva projektu VaV SP/1a6/151/07 MŽP ČR. Knihovna České geologické služby, knihovna Ústavu pro hydrodynamiku AVČR, Praha, 1–267.
- Krám, P., Fottová, D. (2007b): Charakteristiky denních povrchových odtoků ze čtrnácti lesních povodí české sítě GEOMON v hydrologických rocích 1994–2005. In: Jakubíková A., Broža V., Szolgay J. (eds.) Sborník workshopu Adolfa Patery 2007 Extrémní hydrologické jevy v povodích, České vysoké učení technické, Praha, 61–68.
- Krám, P., Fottová, D. (2008): Extrémny denních odtoků ze sítě lesních povodí GEOMON. In: Šír M., Tesař M., Lichner L. (eds.) Sborník konference Hydrologie malých povodí 2008, Ústav pro hydrodynamiku Akademie věd České republiky, Praha, 155–161.
- Krám, P., Hruška, J., Wenner, B. S., Driscoll, C. T., Johnson, C. E. (1997): The biogeochemistry of basic cations in two forest catchments with contrasting lithology in the Czech Republic. *Biogeochemistry*, 37, 173–202.
- Krám, P., Beudert, B., Červenková, J., Čech, J., Váňa, M., Fottová, D., Dieffenbach-Fries, H. (2008): Daily streamwater runoff characteristics of the ICP-IM catchments (CZ01, CZ02, DE01) in the Bohemian Massif. 17th Annual Report 2008, UNECE CLRTAP, ICP IM, *Finnish Environment*, 28/2008, 39–47.
- Krám, P., Hruška, J., Driscoll, C. T., Johnson, C. E., Oulehle, F. (2009): Long-term changes in aluminum fractions of drainage waters in two forest catchments with contrasting lithology. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 103, 1465–1472.
- Lischeid, G., Krám, P., Weyer, C. (2010): Tracing biogeochemical processes in small catchments using non-linear methods. In: Muller F., Baessler C., Schubert H., Klotz S. (eds.) Long-term ecological research – between theory and application. Springer, Berlin. 221–242.
- Oulehle, F., McDowell, W.H., Aitkenhead-Peterson, J.A., Krám, P., Hruška, J., Navrátil, T., Buzek, F., Fottová, D. (2008): Long-term trends in stream nitrate concentrations and losses across watersheds undergoing recovery from acidification in the Czech Republic. *Ecosystems*, 11, 410–425.

