SIMULACE TVORBY ODTOKU VE DVOU GEOCHEMICKY KONTRASTNÍCH POVODÍCH ZÁPADNÍCH ČECH MODELEM SACRAMENTO (SAC-SMA)

Pavel Krám, Josef Buchtele, Marie Buchtelová

Hydrologické poměry na dvou malých lesních povodích Slavkovského lesa byly simulovány srážko-odtokovým předpovědním modelem Sacramento. Podloží povodí Lysina je tvořeno leukogranitem chudým na bazické kationty, zatímco povodí Pluhův Bor je tvořeno serpentinitem s extrémně vysokým obsahem hořčíku. Z toho důvodu je povrchový odtok z Lysiny chronicky kyselý, zatímco odtok z Pluhova Boru je slabě kyselý, neutrální až alkalický (podle hydrologické situace). Simulována byla tvorba průměrných denních odtoků v letech 1989-2002. Složka podzemní vody tvořila v celkovém potočním odtoku z povodí celých 55% na povodí Lysina, ale pouze 37% na povodí Pluhův Bor. Podíl půdní vody byl na Lysině 37% a na Pluhově Boru 52%. Dlouhodobý podíl povrchové ("nové") vody byl nižší (7%) na Lysině než na Pluhově Boru (11%). Vyšší zastoupení "nové" vody a nižší podíl "staré" vody při tvorbě odtoku z povodí Pluhův Bor ve srovnání s povodím Lysina byl způsoben zejména nižší propustností půd a hornin na Pluhově Boru.

Klíčová slova: hydrologický model, srážko-odtokové modelování, tvorba odtoku, lesní povodí, acidifikace

Runoff generation simulations at two geochemically contrasting catchments in western Bohemia by the Sacramento (SAC-SMA) model. *Hydrology at two small forest catchments of the Slavkov Forest was simulated with a rainfall-runoff forecasting Sacramento model. The Lysina catchment is underlain by base cation poor leucogranite however Pluhův Bor is underlain by magnesium extremely rich serpentinite. Therefore the streamwater runoff is chronically acidic at Lysina and slightly acidic, neutral to alkaline at Pluhův Bor (according to hydrologic conditions). Generation of the medium daily runoff was simulated for the period of 1989-2002. Mean portions of groundwater in the total streamwater runoff from the catchments were 55% at Lysina and 37% at Pluhův Bor. The proportion of soil water was 37% at Lysina and 52% at Pluhův Bor. Long-term mean proportions of surface ("new") water were 7% at Lysina and 11% at Pluhův Bor. Higher proportion of "new" water and lower proportion of the "old" groundwater in the streamwater runoff at Pluhův Bor in comparison to Lysina was caused by lower permeability of soils and bedrocks at Pluhův Bor.*

Keywords: hydrologic model, rainfall-runoff modeling, streamwater generation, forest catchment, acidification

---

ÚVOD

Tvorba odtoku z malých lesních povodí je velmi komplikovaný fyzikální proces, který je těžké skutečně objektivně zahrnout do předpovědních hydrologických a případně i hydrochemických modelů (Bonell 1993, McDonnell 2003).

Denní úhrny srážek a denní průměrné teploty vzduchu na dvou malých lesních povodích Slavkovského lesa v západních Čechách byly použity pro modelování průměrných denních průtoků v monitorovaném období v letech 1989-2002. Modelování srážko-odtokových procesů v časovém kroku jednoho dne bylo realizováno se záměrem praktického počítačového simulování denních odtoků a zjištění případné rozdílnosti mechanismu tvorby odtoku v kontrastních geochemických podmínkách. Slavkovský les se nachází uprostřed takzvaného lázeňského trojúhelníku tvořeného Karlovými Vary, Mariánskými Lázněmi a Františkovými Lázněmi. Toto území se vyznačuje značnou pestrostí geochemických poměrů (Malenovský et al. 2004) a extémně rychlým snižováním antropogenního znečištění povrchových vod sírany v 90. letech 20. století (Majer et al. 2005).

POPIS POVODÍ

Obě zkoumaná povodí jsou zalesněná převažně smrkovými monokulturami (smrkem ztepilým, *Picea abies*). Plocha povodí Lysina je větší (0,273 km^2) než plocha povodí Pluhův Bor (0,216 km^2). Rozpětí nadmořských výšek je 829-949 m n.m. (Lysina) a 690-804 m n.m. (Pluhův Bor). Průměrné srážkové

úhrny za sledované období jsou 953 mm (Lysina), respektive 783 mm (Pluhův Bor), průměrný úhrn podkorunových srážek je 715 mm (Lysina), respektive 529 mm (Pluhův Bor). Není tedy divu, že průměrný roční odtok v závěrovém profilu povodí je vyšší na Lysině (432 mm) než na Pluhově Boru (253 mm). Povodí Lysina ležící na podloží budovaným světlou žulou (leukogranitem) reprezentuje velmi zranitelné území vzhledem ke kyselé atmosférické depozici. Naopak povodí Pluhův Bor, jehož podloží je tvořeno na hořčík bohatou silikátovou horninou hadcem (serpentinitem), je schopno neutralizovat kyselé vstupy z atmosféry (Krám et al. 1997, Hruška a Krám 2003,). Z toho důvodu je povrchový odtok z Lysiny celoročně kyselý, zatímco odtok z Pluhova Boru je sice při zvýšených průtocích slabě kyselý, ale při základním odtoku až alkalický (Krám et al. 2003, Shanley et al. 2004, Laudon et al. 2005).

POPIS MODELU

Hydrologické poměry byly simulovány modelem Sacramento Soil Moisture Accounting (SAC-SMA), spojeným s Andersonovým sněhovým modelem (Burnash 1995). Jedná se o koncepční srážko-odtokový model, se shrnutými vstupními daty a parametry, který již byl úspěšně použit k simulaci vodního režimu v řadě malých povodí (Buchtele et al. 1996, 2000a,b, 2004, Hrkal et al. 2002). Model reprezentuje povodí jako soustavu vertikálně a horizontálně uspořádaných nádrží, v nichž je voda zadržována (intercepcí), odčerpávána (evapotranspirací) nebo vsakována (infiltrací do hlubších zón) a kde na závěr odtéká v šesti různých formách ze závěrového profilu povodí (Burnash 1995).

VÝSLEDKY SIMULACÍ A DISKUZE

Model byl implementován tak, aby byla vyrovnaná bilance odtoku za celé simulované období (Obr.1). Míra kalibrační shody mezi měřenými a simulovanými průtoky byla na sledovaných dvou povodích přijatelná. Složka podzemní vody (PRM + SUP) tvořila v celkovém potočním odtoku z povodí celých 55% na povodí Lysina, ale pouze 37% na povodí Pluhův Bor (Obr. 2). Podíl půdní vody (INT) byl na Lysině 37% a na Pluhově Boru 52%. Dlouhodobý podíl povrchové ("nové") vody (SUR + DIR + IMP) byl nižší (7%) na Lysině než na Pluhově Boru (11%). Vyšší zastoupení "nové" vody a nižší podíl "staré" vody při tvorbě odtoku z povodí Pluhův Bor ve srovnání s povodím Lysina byl způsoben zejména nižší propustností půd a hornin díky vyššímu obsahu málo propustných jílů na povodí Pluhův Bor. Tyto počítačově simulované proporce složek odtoku na povodí Lysina jsou ve hrubé shodě s dříve publikovanými hodnotami (Buzek et al. 1995) získanými chemickým rozčleněním hydrogramu založeném na stabilním izotopu kyslíku (^{18}O) a koncentraci organických kyselin (stará podzemní voda: 56%, stará půdní voda: 40%, nová voda povrchového odtoku: 4%).

Podle výsledků simulací modelem Sacramento jsou kulminační povodňové odtoky silně ovlivňované komponentou reprezentující přímý povrchový odtok z dočasně nasycených oblastí (DIR). Týká se to zejména extrémní povodně z 12. a 13. srpna roku 2002 (Obr. 3).

I relativně malý podíl podzemní vody byl schopen efektivně neutralizovat kyselý atmosférický vstup do povodí Pluhův Bor. To ukazuje na mimořádný pufrační potenciál substrátu vzniklého na podložním serpentinitu. Ani zjevně delší doba zdržení vody v povodí Lysina nestačila na neutralizaci kyselé depozice díky na báze velmi chudému podzolizovanému substrátu vzniklém na leukogranitu.

Poděkování

Tento výzkum byl podpořen Grantovou agenturou České republiky (526/01/1135, 205/03/0468). Autoři děkují J. Hruškovi, D. Fottové a V. Bláhovi za dlouhodobou spolupráci, V. Kmínkovi a J. Václavkovi za pravidelný terénní monitoring na sledovaných povodích.

Literatura

Bonell, M. (1993) Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests. Journal of Hydrology, 150: 217-275.

Buchtele, J., Eliáš, V., Tesař, M. and Herrmann, A. (1996) Runoff components simulated by rainfall-runoff models. Hydrological Sciences Journal, 41: 49-60.

Buchtele, J., Buchtelová, M., Gallart, F., Latron, J., Llorens, P., Salvany, C. and Herrmann, A. (2000a) Rainfall-runoff processes modelling using the Sacramento and Brook models in the Cal Rodó catchment (Pyrenees, Spain). UNESCO Technical Documents in Hydrology, Paris, 37: 15-22.

Buchtele, J., Buchtelová, M., Tesař, M. a Kulasová, A. (2000b) Porovnávání simulací vodního režimu v povodích s různými geomorfologickými podmínkami a antropogenním ovlivněním. Sborník konf. Hydrologické dny 2000 – Nové podněty a vize pro příští století, Plzeň,18.–21.9.2000, II. díl, 397-406.

Buchtele, J., Košková, R. a Jařabáč, M. (2004) Vyšetřování vodního režimu ve dvou experimentálních povodích v Beskydech. Sborník workshopu Adolfa Patery 2004 - Extrémní hydrologické jevy v povodích, 10.11.2004. České vysoké učení technické, fakulta stavební, Praha, 173-180.

Burnash, J.C.R. (1995) The NWS River Forecast System – Catchment Modeling. In: Singh, V.P. (ed.) Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, 311-366.

Buzek, F., Hruška, J. and Krám, P. (1995) Three-component model of runoff generation, Lysina catchment, Czech Republic. Water, Air, and Soil Pollution 79: 391-408.

Hrkal, Z., Buchtele, J., Tikkanen, E., Käpaho, A. and Šantrůček, J. (2002) The role of groundwater in the acidification of the hydrosphere – examples from small catchments in the Bohemian Massif. NGU-Bulletin, Norwegian Geological Survey, Trondheim, 439: 99-105.

Hruška, J. and Krám, P. (2003) Modelling long-term changes of streamwater chemistry in two catchments with contrasting vulnerability to acidification. Hydrology and Earth System Sciences 7: 525-539.

Krám, P., Hruška, J., Wenner, B.S., Driscoll, C.T. and 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., Hruška, J. and Bishop, K. (2003) Monitoring and modeling of long-term changes of streamwater chemistry in two small catchments with contrasting vulnerability to acidification. UNESCO Technical Documents in Hydrology, Paris, 37: 197-202.

Laudon, H., Hruška, J., Köhler, S. and Krám, P. (2005) Predicting episodic stream water acidification and recovery in a heavily impacted catchment. Environmental Science and Technology, 39: 3197-3202.

Majer, V., Krám, P. and Shanley, J.B. (2005) Rapid regional recovery from sulfate and nitrate pollution in streams of the western Czech Republic – comparison to other recovering areas. Environmental Pollution, 135: 17-28.

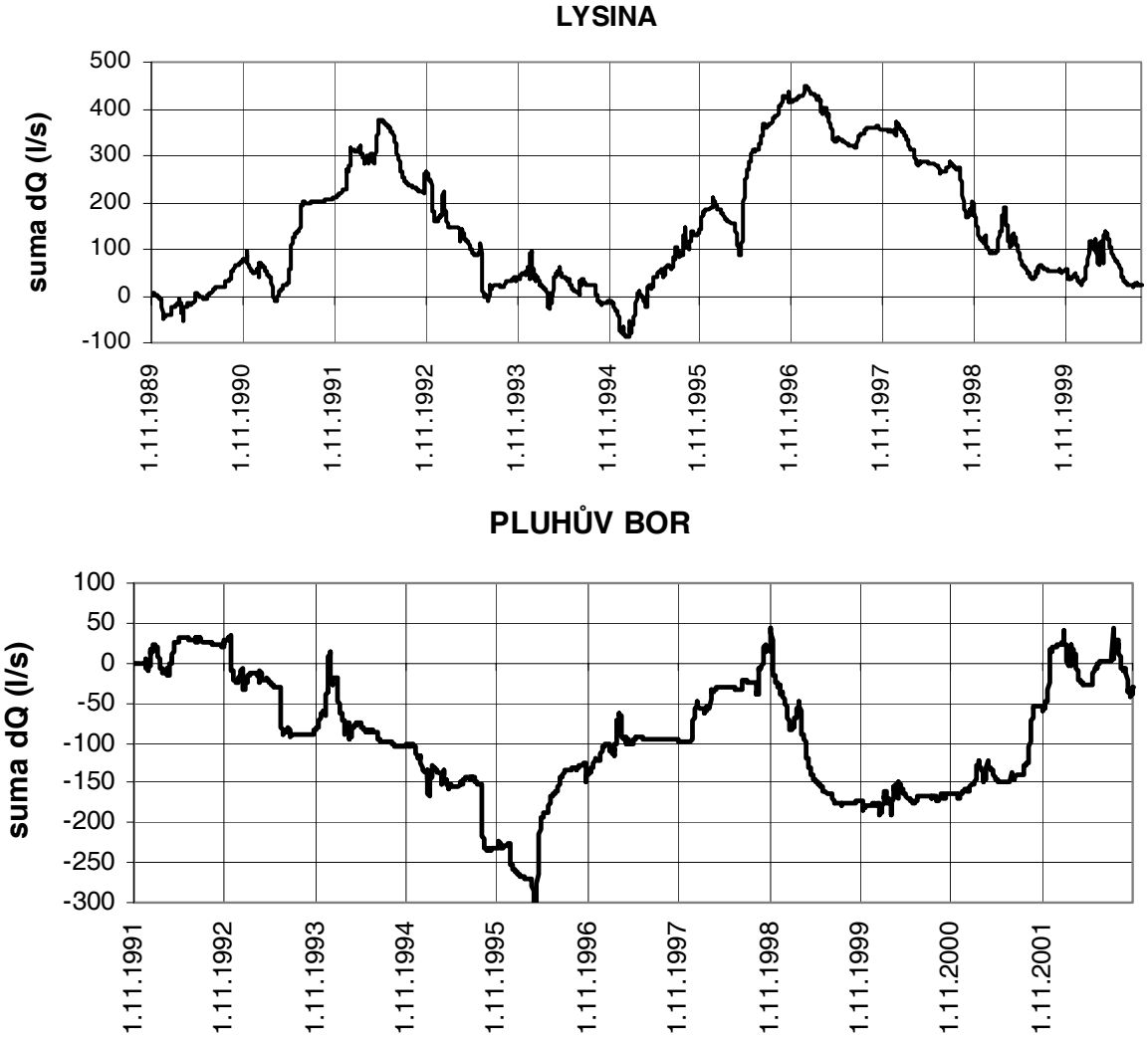
Malenovský, Z., Cudlín, P. a Krám, P. (2004) Vliv geologického podloží na chřadnutí smrčin v západních Čechách: vyhodnocení 21 petrograficky homogenních povodí Slavkovského lesa metodami dálkového průzkumu Země na 7 různých horninách. Atmosférická depozice 2004 (eds. M. Šír a M. Tesař), Ústav pro hydrodynamiku Akademie věd ČR, Praha, 49-56.

McDonnell, J.J. (2003) Where does water go when it rains? Moving beyond the variable source area concept of rainfall-runoff response. Hydrological Processes, 17: 1869-1875.

Shanley, J.B., Krám, P., Hruška, J. and Bullen, T.D. (2004) A biogeochemical comparison of two well-buffered catchments with contrasting histories of acid deposition. Water, Air, and Soil Pollution: Focus, 4/2-3: 325-342.

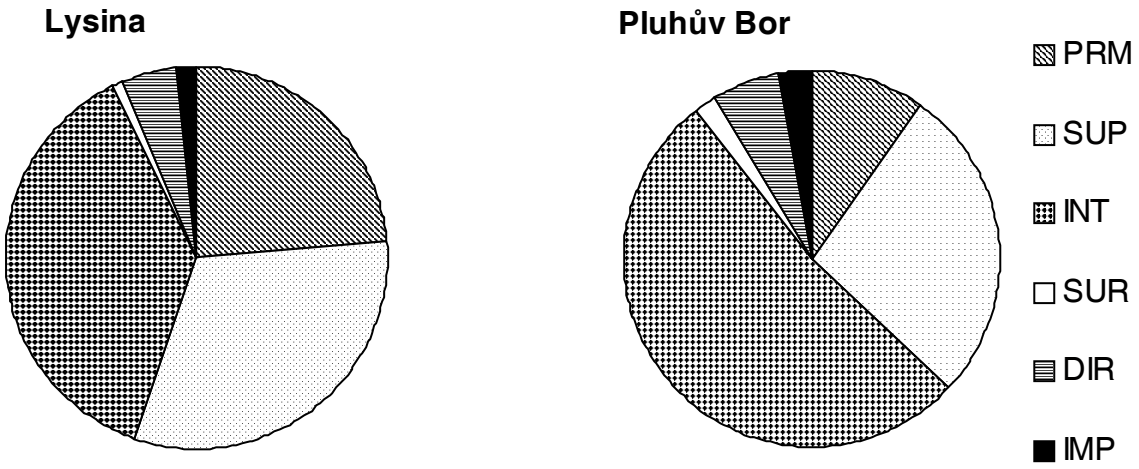
Autoři

Pavel Krám, Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1, ČR, kram@cgu.cz
Josef Buchtele a Marie Buchtelová, Ústav pro hydrodynamiku, Akademie věd ČR, Pod Paťankou 5, 166 12 Praha 6, ČR; buchtele@ih.cas.cz, buchtelova@ih.cas.cz



Obr. 1 a,b Akumulované diference mezi pozorovanými a simulovanými denními odtoky na dvou sledovaných povodích

Fig. 1 a,b Accumulated differences between observed and simulated daily runoff values at two monitored catchments

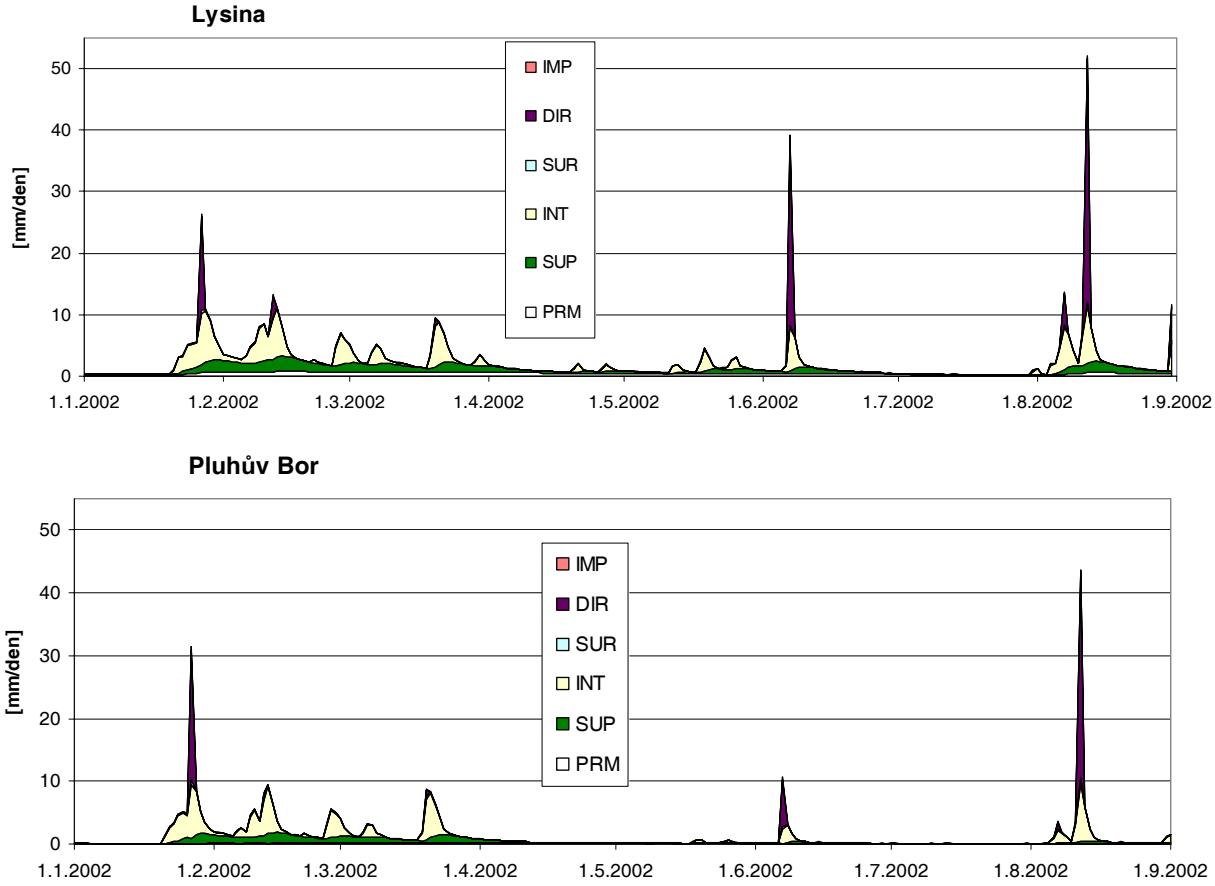


PRM- primární odtok z hlubších kolektorů podzemních vod, **SUP**- dodatkový odtok z mělkých kolektorů podzemních vod, **INT**- interflow (podpovrchový odtok půdou), **SUR**- povrchový (plošný) odtok, **DIR**- přímý povrchový odtok z dočasně nasycených oblastí, **IMP**- povrchový odtok z permanentně nepropustných oblastí

PRM- primary deep groundwater flow (baseflow), **SUP**- supplementary shallow groundwater flow (baseflow), **INT**- interflow (soilwater flow), **SUR**- surface (sheet) water flow, **DIR**- direct overland (surface) flow from temporally saturated areas, **IMP**- overland flow from permanently impervious areas

Obr. 2 Dlouhodobé průměrné podíly simulovaných složek odtoku na dvou sledovaných povodích

Fig. 2 Long-term mean proportions of simulated runoff components at two monitored catchments



PRM- primární odtok z hlubších kolektorů podzemních vod, **SUP**- dodatkový odtok z mělkých kolektorů podzemních vod, **INT**- interflow (podpovrchový odtok půdou), **SUR**- povrchový (plošný) odtok, **DIR**- přímý povrchový odtok z dočasně nasycených oblastí, **IMP**- povrchový odtok z permanentně nepropustných oblastí

PRM- primary deep groundwater flow (baseflow), **SUP**- supplementary shallow groundwater flow (baseflow), **INT**- interflow (soilwater flow), **SUR**- surface (sheet) water flow, **DIR**- direct overland (surface) flow from temporally saturated areas, **IMP**- overland flow from permanently impervious areas

Obr.3a,b Denní podíly simulovaných složek odtoku na dvou sledovaných povodích

Fig. 3a,b Daily proportions of simulated runoff components at at two monitored catchments