

## **Tvorba odtoku na povodí napadeném kůrovcem smrkovým - Große Ohe v Národním parku Bavorský les**

Runoff generation in the Große Ohe catchment of the Bavarian forest NP  
affected by bark beetle infestation

*Kristýna Svobodová<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Fakulta životního prostředí, ČZU v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6, Česká republika*

### **Abstrakt**

Předmětem projektu je studium charakteru odtoku z povodí v NP Bavorský les, které bylo během 90. let napadeno kůrovcem smrkovým (*Ips typographus*). Příspěvek je prezentován na počátku výzkumu, v prvním roce doktorského studia, tudíž se bude věnovat především metodice a očekávaným výsledkům. V období 6/2013 až 9/2013 budou zmonitorovány dvě povodňové události. Na základě separace hydrogramu s použitím stabilních izotopů <sup>18</sup>O a <sup>2</sup>H bude určeno množství tzv. „pre-event“ a „event water“. Možné zdroje a pohyb jednotlivých složek odtoku budou určeny na základě dalších naměřených charakteristik. Následovat bude srovnání s fyzikálním modelem pohybu vody v nesaturovaném prostředí. Výsledkem bude popis charakteru jednotlivých složek odtoku a srovnání s povodňovými událostmi analyzovanými na studovaném povodí v roce 2007, v době jiného stádia přirozené obnovy.

**Klíčová slova:** vodní režim lesa, *Ips typographus*, separace hydrogramu

### **Abstract**

The aim of the research is to study the character of the runoff generation in the Große Ohe catchment which was affected by bark beetle infestation during 90s. The presentation takes a place at the beginning of the research therefore only methods and expected results are going to be presented. During 6/2013 – 9/2013 two flood events are going to be monitored. The amount of „pre-event“ and „event water“ is going to be determinate by the hydrograph separation method based on the stable isotopes. Other characteristics are going to be used for investigation of probable pathways and runoff origins. Consequently the water flow in unsaturated zone is going to be simulating by physically based model. Results are going to show character of the particular runoff components depending on the initial catchment

conditions. Further comparison with the previously analyzed flood events from 2007 are going to take place.

**Keywords:** water regime of a forest, *Ips typographus*, hydrograph separation

## Úvod

Proces tvorby odtoku je velmi komplexní problematika, která není detailně popsána. V současné době se k jeho studiu jeví vhodné metody založené na koncentraci chemických prvků, jejich izotopů a využití v separaci hydrogramu (Joerin 2002).

Klasická metoda separace hydrogramu používaná především pro vodohospodářské účely byla zaměřena na oddělení základního a přímého odtoku (Sherman 1932, Meyboom 1961, Singh 1968). Současné metody separace hydrogramu rozdělují odtok na složku tzv. „pre-event water“ a „event water“. Kdy „pre-event water“ je podzemní a půdní voda, která byla zadržena v povodí již před srážkovou událostí a „event water“ je voda nová a zahrnuje dopadající srážky, povrchový odtok a rychlý podpovrchový odtok (Sklash and Farvolden 1979, Bonell et al. 1990). Tyto metody jsou založeny na zákonu o zachování hmotnosti:

$$Q_R = Q_O + Q_N$$

$$Q_R C_R = Q_O C_O + Q_N C_N$$

kde  $Q_R$ ,  $Q_O$ ,  $Q_N$  jsou složky odtoku na měrném profilu, původní a nové vody a  $C_R$ ,  $C_O$  a  $C_N$  jsou koncentrace příslušných složek. Jako nejvhodnější z hlediska stability jsou považovány izotopy  $^{18}\text{O}$  a  $^2\text{H}$  (Gremillion et al. 2000). Tyto izotopy se vyskytují v určitém poměru v každé složce vody. Jejich poměr vůči běžným izotopům  $^{16}\text{O}$  a  $^1\text{H}$  je určen fyzikálními a chemickými procesy, které probíhají z důvodu rozdílných vlastností jednotlivých izotopů téhož prvku (především hmotnosti). Změna jejich relativních poměrů vytváří jedinečnou izotopovou kompozici, která poukazuje na zdroj dané složky a procesy, které jí ovlivňovali během jejího pohybu hydrologickým cyklem (Leibundgut et al. 2009). Původ vody o známém poměru izotopů lze určit na základě odvození od VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water).

V separaci hydrogramu lze použít i další chemické prvky, jejichž koncentrace vypoví více o původu dané vody; např. zvýšený obsah DOC (dissolved organic carbon) signalizuje větší množství vody pocházející z vrchní humusové vrstvy (Casper et al. 2003, Schwarze und Beudert 2009). Naopak obsah  $\text{SiO}_2$  dokazuje přítomnost vody z hlubší půdní vrstvy (Puhlmann and Schwarze 2007). Za účelem rozdělení odtoku na více složek o různém původu je používána tří-složková separace hydrogramu (Ogunkoya and Jenkins 1993, Hoeg et al. 2000). S nárůstem počtu složek separace se značně zvyšuje složitost řešení.

Předkládaný výzkum se na základě charakteristiky povodí před povodňovou událostí, odebrání vzorků odtoku na různých stanovištích během události a jejich následné analýzy, zaměří na detailní popis pohybu půdní vody, jejich možných zdrojů a význam solifunkční vrstvy, jenž je pro studované území charakteristická. Zároveň bude pohyb půdní vody ve variabilně saturovaném prostředí simulován pomocí softwaru HYDRUS (Šimunek et al. 2006). Modelované situace a jejich přiblížení k realitě se odvíjí od množství dostupných vstupních parametrů např. detailní popis půdních vlastností či schopnost vyjádření dynamiky kořenového systému (odumírání/růstu). Právě náročnost na vstupní parametry je v tomto odvětví výzkumu stěžejní.

### **Materiál a metody**

Studované povodí Große Ohe (19,1 km<sup>2</sup>), se subpovodími Forellenbach (0,7 km<sup>2</sup>) a Markungsgraben (1,1 km<sup>2</sup>), jejichž hlavní charakteristiky znázorňuje Tabulka 1, se nalézají v NP Bavorský les v nadmořské výšce 700 až 1453 m.n.m.. Průměrné srážky jsou 1670 mm/rok s vysokým podílem sněhu (30 až 40%), průměrná roční teplota činí 5,5°C. Před napadením kůrovcem bylo povodí kompletně zalesněné se složkou 28% listnatých stromů (převážně *Fagus sylvatica*) a 70% jehličnatých stromů (převážně *Picea abies*). V důsledku kůrovcové kalamity v 90. letech zde postupně až 90% smrkového porostu odumřelo.

Půdní vrstva je vyvinuta 60 až 100 cm od periglaciální solifunkční vrstvy, která je 0,3 až 1,5 m silná s vrchní hrubě skeletovitou vrstvou, dominantním půdním typem jsou kambizemě (Beudert und Breit 2004).

**Tabulka 1** Hlavní charakteristiky povodí Große Ohe a subpovodí Markungsgraben a Forellenbach

	<b>Große Ohe</b>	<b>Markungsgraben</b>	<b>Forellenbach</b>
Plocha (km <sup>2</sup> )	19,1	1,1	0,7
Nadmořská výška (m.n.m.)	770 - 1435	890 - 1355	787 - 1293
Průměrný sklon (°)	11,1	16,1	8,4
Průměrné srážky (mm/rok)	1670	1800	1630
Průměrný odtok (m <sup>3</sup> /s)	0,605	0,046	0,022
Jehličnatý/listnatý porost (%)	71/29	84/16	69/31

Kontinuální hydrometeorologické monitorování probíhá již dlouhodobě, povodí Große Ohe je sledováno od počátku 70. let díky spolupráci Národního parku Bavorský les s řadou vědeckých asociací, od roku 1987 je na subpovodí Markungsgraben sledován charakter podzemní vody za účelem její ochrany. Subpovodí Forellenbach je součástí monitorovacího programu zaměřeného na monitoring změn ekosystémů způsobených antropogenní činností od roku 1990 (Beudert und Breit 2004).

Následkem napadení smrkového porostu kůrovcem odumřelo na některých místech až 90% porostu. Nejvíce zasaženo bylo výše položené povodí Markungsgraben, jehož složka jehličnatého porostu tvořila 84%.

### *Sběr dat*

Odběr vzorků během dvou povodňových událostí o rozdílné intenzitě a době trvání proběhne v období s největší četností srážek a zároveň bez sněhového pokryvu, tedy od června do října 2013. Pro analýzu událostí na základě separace hydrogramu budou odebrány vzorky ze srážek, celkového odtoku, půdní a podzemní vody. Srážky budou odebrány pomocí srážkoměru a automatického vzorkovače ISCO 3700 nastaveného pomocí hladinového spínače pro odběr vzorku v případě dosažení srážek stanovené hladiny (Schmitt 2008). Průtokoměru ISCO model 3220 a vzorkovače ISCO 3700 bude použito k odběru vody na měrném profilu. Přičemž nastavení vzorkovače je nutno přizpůsobit očekávané povaze srážek za účelem zachycení celé povodňové vlny. Tento fakt je velmi důležitý z hlediska analýzy odtékající vody **těsně** před nárůstem povodňové vlny, a tedy správného stanovení koncentrace „pre-event water“. Půdní voda bude odebrána z instalovaných lyzimetrů a podzemní voda pomocí čerpadla (Beudert und Breit 2004). Vzorkovač je vybaven 24 plastovými lahvemi s obsahem 1000 ml, z toho bude použito 100 ml pro chemickou analýzu (pH, el.vodivost, DOC, N, K, Na, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Cl, Si,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) a 200 ml ke stanovení izotopů  $^{18}\text{O}$  a  $^2\text{H}$ .

### *Zpracování dat*

Stanovené poměry izotopů budou využity pro 2složkovou separaci hydrogramu (Schwarze und Beudert 2009). Tímto bude stanoven poměr původní vody a vody pocházející z působících srážek. Pro další rozdělení odtoku bude použita 3složková separace s využitím poměru  $^{18}\text{O}$  a  $^2\text{H}$  a koncentrace DOC popř.  $\text{SiO}_2$  (Ogunkoya and Jenkins 1993, Hoeg et al. 2000).

Na základě změny polohy hladiny podzemní vody a vývoje půdní vlhkosti během povodňové události bude určen původ a pohyb jednotlivých složek odtoku. Koncentrace jednotlivých prvků během hydrogramu objasní poměry složek odtoku pocházejících z rozdílných půdních horizontů (Schwarze und Beudert 2009). Finální krok ve studiu pohybu vody v nesaturovaném prostředí bude simulace fyzikálně založeným softwarem HYDRUS (verze 2-D Standard).

### **Očekávané výsledky**

Výsledkem vyhodnocení povodňových událostí bude popis tvorby odtoku, pravděpodobného původu jednotlivých složek a jejich pohybu v závislosti na stavu povodí před událostí. Podobné analýze se na řešeném povodí již věnovala Schmitt (2008). V rámci tohoto výzkumu byly během června 2007 odebrané vzorky během povodňové události, která byla způsobena srážkami o velké intenzitě a krátkém trvání. Naopak v září 2007 byla analyzována událost způsobená dlouhotrvajícím deštěm s nízkou intenzitou. Rozbor obou událostí poukazuje na přítomnost velkého množství „pre-event water“ v odtoku z povodí během povodňové vlny. Pokles koncentrace  $\text{SiO}_2$  a zároveň nárůst DOC během kulminace poukazuje na původ této vody ze svrchních půdních vrstev, přičemž největší podíl „pre-event water“ byl naměřen na odtoku z povodí Markunsgraben, které bylo zasaženo kůrovcem nejvíce. Simulace pomocí fyzikálního modelu HYDRUS s použitím dat z událostí z roku 2007 i nově naměřených napomohou k objasnění původu velkého množství „pre-event water“ a určení pohybu vody v nesaturovaném prostředí.

Nově analyzované události budou srovnány s výsledky z roku 2007. Dále budou porovnány změny v poměru „pre-event“ a „event water“ a určen vliv přirozeného vývoje vegetace. V roce 2007 bylo téměř celé zasažené území pokryto odumřelým lesem. V současné době se dané území nalézá ve zcela jiném stádiu vývoje lesa způsobeném samovolnou obnovou.

### **Diskuse**

Popisu dynamiky odtoku na studovaném povodí v Národním parku Bavorský les se již věnují Schwarze und Beudert (2007) a Schmitt (2008). Dle jejich výzkumu pochází největší část „pre-event water“ z půdní vody. K rozdílnému závěru dochází výzkum z pohoří Harz, Německo (Herrmann et al. 2007), kde byla prokázána jako hlavní složka odtoku podzemní voda. Jako možné vysvětlení uvádějí Schwarze und Beudert (2007) přítomnost periglaciální solifunkční vrstvy, která je pro toto území charakteristická. Reakce povodí na srážkové

události rozdílné intenzity a doby trvání se odvíjí od stavu povodí před analyzovanou událostí, především na distribuci půdní vlhkosti (Merz and Plate 1997, Zehe and Blöschl 2005). Studium provázanosti počátečních podmínek povodí a odtoku a jejich simulací se zabýval Kampf (2010). V simulacích používá rozdílných hodnot počáteční půdní vlhkosti na hypotetickém povodí a dále sleduje odezvu povodí prostřednictvím softwaru HYDRUS.

Přínos prezentovaného výzkumu tkví v současné aplikaci reálně naměřených dat během analyzovaných povodňových událostí a podrobné charakteristiky povodí jako například půdní vlastnosti, vegetační kryt, či přítomnost solifunkční vrstvy promítnuté v parametrech modelu. Toto umožní vytvoření simulace, která co nejvíce odpovídá reálně probíhajícím přírodním procesům. Výsledky pak bude možné diskutovat s výzkumy, které používají rozdílné metody. Celkový výzkum se bude podílet na odpovědi na otázku, zdali je možné za účelem predikce aplikovat jeden model na více rozdílných povodí a za jakých podmínek nebo je odezva každého povodí úzce spjata s jeho fyzickogeografickou charakteristikou a specifickými podmínkami před událostí v takové míře, že je predikce téměř nemožná.

## **Závěr**

Množství vody, která se nachází v systému povodí před povodňovou událostí, je mnohem větší než se na základě klasických metod separace hydrogramu (Sherman 1932) předpokládalo. Izotopová hydrologie je v současné době aktuální téma a jeví se jako perspektivní metoda k detailnějšímu popisu tohoto systému. Pro simulaci přírodních procesů se používá široké spektrum modelů ve všech odvětvích vědy. Kombinace těchto dvou přístupů by mohla vést k jasné definici procesu tvorby odtoku a spuštění mechanismů, které zadržanou vodu v půdě uvádějí do pohybu. Porozumění procesu pohybu vody v systému povodí je důležité z hlediska možné predikce pohybu kontaminantů, pesticidů apod. v rámci vodní bilance povodí.

## **Literatura**

Beudert, B., Breit, W., 2004. Zwölf Jahre Integrated-Monitoring-Programm an der Messstelle Forellenbach Bayerischer Wald, Förderkennzeichen 351 01 012 Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Sachsgbiet IV, Im Auftrag des Umweltbundesamtes 05/2004: 612 S.

- Bonell, M., Pearce, A.J. and Stewart, M.K., 1990. The identification of runoff production mechanisms using environmental isotopes in a tussock grassland catchment, eastern Otago, New Zealand. *Hydrological Processes* 4: 15-34.
- Casper, M.C., Volkmann, H.N., Waldenmeyer, G., Plate, E.J., 2003. The separation of flow pathways in a sandstone catchment of the Northern Black Forest using DOC and a nested Approach. *Physics and Chemistry of the Earth* 28: 269 – 275.
- Gremillion, P., Gonyeau, A., Wanielista, M., 2000. Application of alternative hydrograf separation models to detect in flow paths in a watershed undergoing urban development. *Hydrological Processes* 14: 1485 – 1501.
- Herrmann, A., Schoniger, M., Schumann, S., Thies, R., 2007. Integrative experimentelle Erfassung und Modellierung des Abflussbildungsprozesses im paläozoischen Mittelgebirge. *Proceedings Synap 5./6.10.2006. Dresdner Schriften zur Hydrologie* 5: 172 – 180.
- Hoeg, S., Uhlenbrook, S., Leibundgut, Ch., 2000. Hydrograph separation in a mountainous catchment – combining hydrochemical and isotopic tracers. *Hydrological Processes* 14: 1199 – 1216.
- Joerin, C., Beven, K.J., Iorgulescu, I., Musy, A., 2002. Uncertainty in hydrograf separations based on geochemical mixing models. *Journal of Hydrology* 255: 90 – 106.
- Kampf, S.K., 2010. Variability and persistence of hillslope initial conditions: A continuous perspective on subsurface flow response to rain events. *Journal of Hydrology* 404: 176 – 185.
- Leibundgut, Ch., Maloszewski, P., Kull, Ch., 2009. *Tracers in Hydrology*. - Wiley, UK, 432 pp.
- Mayboom, P., 1961. Estimating ground-water recharge from stream hydrographs. *Journal of Geophysical Research* 66(4): 1204 – 1213.
- Merz, B., Plate, E.J., 1997. An analysis of the effects of spatial variability of soil and soil moisture on runoff. *Water Resources Research* 33 (12): 2909–2922.
- Ogunkoya, O. O., Jenkins, A., 1993. Analysis of storm hydrograf and flow pathways using free-component hydrograf separation model. *Journal of Hydrology* 142: 71 – 88.
- Puhlmann, H., Schwarze, R.: Editors for the German part (2007): *Forest hydrology – results of research in Germany and Russia. Deutsches Nationalkomitee für das International Hydrological Programme (IHP) der UNESCO und das Hydrology and Water Resources Programme (HWRP) der WMO. Koblenz, 2007: 137 pp.*

- Schmitt, S., 2008. Tracerhydrologische Untersuchungen zu Veränderungen im Wasser- und Stoffhaushalt von Einzugsgebieten im Nationalpark Bayerischer Wald infolge borkenkäferinduzierten Absterbens von Fichtenbeständen. Unveröffentlichte Diplomarbeit am IHM der TU Dresden: 157 S.
- Schwarze, R., Beudert, B., 2009. Analyse der Hochwassergenese und des Wasserhaushalts eines bewaldeten Einzugsgebietes unter dem Einfluss eines massiven Borkenkäferbefalls. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 53 (4): 236 – 249.
- Sherman, L. K., 1932. Streamflow from rainfall by the unit-graph method. In: Chow, V., Maidment, D., Mays, L., 1988: *Applied hydrology*, 572 pp.
- Singh, K.P., 1968. Some factors affecting baseflow. *Water Resources Research* 4(5): 985 – 999.
- Sklash, M.G. and Farvolden, R.N., 1979. The role of ground water in storm runoff. *Journal of Hydrology* 43: 45-65.
- Šimunek, J., van Genuchten, M.Th., Šejna, M., 2006. The HYDRUS Software Package for Simulating Two- and Three-dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-saturated Media, Version 1.0, Technical Manual. PC Progress, Prague, Czech Republic.
- Zehe, E., Blöschl, G., 2004. Predictability of hydrologic response at the plot and catchment scales: role of initial conditions. *Water Resources Research* 40: 183 – 202.

### **Poděkování**

Příspěvek a realizace projektu se koná za podpory Národního parku Bayerischen Wald a TU Desden, Institut für Hydrologie und Meteorologie. Tímto bych chtěla vyjádřit vřelý dík Norbertu Prange a dalším kolegům z TUD za asistenci a trpělivost při studiu metodiky výzkumu. Dále bych chtěla poděkovat organizaci Deutsche Bundesstiftung Umwelt, za jejíž podpory byla spolupráce s Národním parkem a TUD navázána.

### **Kontakt:**

Kristýna Svobodová

Česká zemědělská univerzita v Praze

Kamýcká 129

165 21 Praha 6 – Suchbátka



V současné době:

Technische Universität Dresden

Institut für Hydrologie und Meteorologie

Bergstraße 66

01069 Dresden

+49015155720966

Kristyna.Svobodova@mailbox.tu-dresden.de