ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 252 - 259

VLIV PŮDNÍ SLOŽKY A ROZDÍLNÉHO VYUŽITÍ ÚZEMÍ NA ODTOKOVÝ PROCES V EXPERIMENTÁLNÍCH POVODÍCH ZBYTINY

Václav Královec, Zdeněk Kliment, Lukáš Vlček

Studie se zaměřuje na hodnocení odtokové odezvy ve dvou párových experimentálních povodích v pramenné oblasti šumavské Blanice, které se primárně odlišují krajinným a půdním pokryvem. Srážko-odtokové vztahy a odchylky v odtokové odezvě jsou hodnoceny ze tří hledisek: i/ na základě průměrných bilančních charakteristik a míry variability odtoku, ii/ na základě analýzy vybraných srážko-odtokových epizod, iii/ podle hydropedologických charakteristik a retenční kapacity povodí. Obecně se povodí liší především v dlouhodobých odtokových charakteristikách, během srážko-odtokových epizod se rozdíly snižují. Půdní pokryv je v obou povodích poměrně heterogenní a retence povodí je z velké míry závislá na hydropedologických vlastnostech jednotlivých půdních typů a horizontů a aktuální výšce hladiny podzemní vody.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: párový experimentální výzkum, hydrologická bilance, srážko-odtokový proces, krajinný a půdní pokryv, retence vody

INFLUENCE OF SOIL MATRIX AND DIFFERENT LAND USE ON THE RUNOFF PROCESS IN THE EXPERIMENTAL CATCHMENTS ZBYTINY. The study deals with the evaluation of runoff response in two paired experimental catchments in headwater area of Blanice river in the Šumava Mts., which differ primarily in land and soil cover. Rainfall-runoff relationships and differences in runoff responses of both catchments were observed from three points of view: i/ on the basis of average balance characteristics and the rate of runoff variability, ii/ on the analysis of chosen rainfall-runoff events, iii/ according to the hydropedological characteristics and retention capacity of catchment. Generally, catchments differ mainly in long-term runoff characteristics, during rainfall-runoff events the differences decrease. Soil cover is in both catchments rather heterogeneous and water retention of catchment is largely dependent on hydropedological properties of individual soil types and horizons and actual groundwater level.

KEY WORDS: paired catchment research, hydrological balance, rainfall-runoff process, land and soil cover, water retention

Úvod

Změny v hydrologickém režimu jsou často diskutovány v souvislosti se změnami přírodního prostředí a krajiny. Vedle vlivu globálních (klimatických) změn na srážko-odtokový proces je na nižších prostorových úrovních zkoumán zejména dopad změn ve využití krajiny a krajinném pokryvu. Změny se projevují ve vodní bilanci, extremitě odtoku, vlhkosti půdy a evapotranspiraci.

Vlivu změn ve využití území na hydrologické procesy se věnovalo velké množství prací, např. Hibbert (1967), Bosh a Hewlett (1982), Camorani et al. (2005), Oudin et al. (2008) nebo Malý (2009). Hibbert (1967) dospěl ve své studii k závěru, že odtoková odezva povodí na změny ve využití území je vysoce variabilní a většinou nepředvídatelná. O více než 30 let později Kokkonen a Jakeman (2001) uvedli, že stále neexistují žádné spolehlivé a důvěryhodné modely, které by dokázaly předpovědět vliv změny využití území na hydrologickou odezvu v měřených povodích.

Podobně neurčitě se hovoří i o vlivu lesa na odtokové poměry v povodí. Dlouhodobému systematickému výzkumu ve dvojici povodí (cca 4 km^2) v oblasti Javorníků se věnoval od konce 20. let 20. století Válek (1962). Nezalesněné povodí Zděchovky vykazovalo oproti zalesněnému povodí Kychové výrazně vyšší

hodnoty kulminačních průtoků, strmější vzestup a pokles průtoků během odtokové epizody. Bíba et al. (2001) hodnotil dopady vegetačních změn na odtokové poměry dvou zalesněných horských povodí Červík a Malá Ráztoka (cca 2 km^2) v Beskydech v průběhu téměř 50letého monitoringu. Většina studií se o vlivu lesa vyjadřuje v dosti širokém rozmezí od velmi výrazně pozitivního až po těžko prokazatelný. Studie pojednávající o negativním vlivu lesa na transformaci odtoku z povodí jsou poměrně vzácné (Malý, 2009).

Pro detailní výzkum srážko-odtokového procesu jsou vhodné studie v malých experimentálních povodích (0,1-10 km^2). Vzájemné odlišnosti v charakteristice studovaných povodí umožňují sledovat vliv jednotlivých faktorů na odtokový proces (Pavlásek et al., 2006). V malých homogenních plochách lze lépe pozorovat vybraný problém bez intervence rušivých vlivů a na základě hydrologické analogie pak interpretovat výsledky pro větší území (Kříž, 1978; Bosch a Hewlett, 1982). Jednou z nejčastěji používaných metod pro srovnání povodí je metoda párového výzkumu (McCulloch a Robinson, 1993). Základním předpokladem párového výzkumu je, aby si navzájem porovnávaná povodí byla z hlediska prostoru a fyzickogeografických podmínek co nejpodobnější. Podstatné je, aby se výrazně odlišovala ve zkoumaném atributu. Obvykle jsou vybrána sousední povodí, u nichž lze vzhledem k jejich blízké poloze a malé velikosti studované plochy uvažovat stejné příčinné podmínky pro vznik srážko-odtokové události. V párovém srovnávacím výzkumu se sledují jak změny v dlouhodobých bilančních charakteristikách, např. Bosh a Hewlett (1982), Brown et al. (2005) nebo Robinson a Dupeyrat (2005), tak rozdíly v průběhu vybraných srážko-odtokových epizod, např. Iroumé et al. (2005), Pavlásek et al. (2006) nebo Silveira a Alonso (2009).

Půdní složka tvoří důležitý parametr v hodnocení srážko-odtokového procesu. Určuje nejen množství infiltrované vody, ale také dobu jejího zadržení v půdě. Hodnota retence se však v čase mění, hlavně díky půdní vlhkosti a u zamokřených ploch také díky výšce hladiny podzemní vody. U hydromorfních půd může hladina podzemní vody hrát důležitou úlohu především v místech, kdy se téměř po celý rok drží blízko povrchu a vytváří tím minimální prostor pro retenci (Evans et al., 1999, Vlček et al., 2012).

Cílem předkládané studie je zhodnotit odezvy odtoku na spadlé srážky v morfologicky a hydrograficky identických, ale rozdílně využívaných horských povodích Zbytinského a Tetřívčího potoka v pramenné oblasti Blanice v jižních Čechách. Přestože se jedná o přírodě blízké zalesněné či zatravněné prostředí, krajina doznala v průběhu posledního století významných změn (Kliment a Matoušková, 2009). Změny a rozdíly v chování hydrologických systémů z hlediska průměrných dlouhodobých charakteristik, jednotlivých srážko-odtokových epizod či retenční kapacity povodí, jsou hodnoceny na základě párového srovnávacího výzkumu.

Materiál a metody

Charakteristika povodí

Párová povodí Zbytinského (ZBY) a Tetřívčího potoka (TET) se nalézají v pramenné oblasti Blanice ve východní části Šumavy poblíž obce Zbytiny. Reprezentují plošně malá, navzájem sousedící povodí s podobnými fyzickogeografickými a hydrografickými poměry ve výškovém rozpětí 785 až 946 m n. m. Povodí Tetřívčího potoka je charakteristické větším zastoupením glejů a organozemí (cca 1/3 plochy povodí), které přechází v jiné půdní typy s různým stupněm ogelejení (pseudogleje, stagnogleje) a následně v nejčastěji se vyskytující typ kambizem modální. Její zastoupení je dominantní v povodí Zbytinského potoka (44 % plochy). Ve vyšších partiích obou povodí převažuje kryptopodzol. Zkoumaná povodí se liší kromě rozložení půdních typů i krajinným pokryvem. Povodí Zbytinského potoka představuje převážně luční prostředí (cca 2/3 plochy povodí zaujímají louky, 1/3 lesy s převahou smrku). V povodí Tetřívčího potoka je poměr opačný ve prospěch lesa. V obou povodích došlo v průběhu posledních 60 let k výrazným změnám ve využití a struktuře krajiny. Dřívější intenzivní zemědělské hospodaření v povodí Zbytinského potoka dokládá výskyt podpovrchové trubkové drenážní sítě. Odvodněná plocha původně zaujímala 27 % plochy experimentálního povodí. V současnosti je odvodněná plocha pokryta sečenou loukou a drenážní systém je na několika místech narušen. Ve střední a spodní části experimentálního povodí Tetřívčího potoka se naproti tomu nachází hustá sítě povrchových, uměle vytvořených odvodňovacích příkopů.

Monitoring a datové zdroje

Základem experimentálního výzkumu je monitorovací síť vybudovaná na jaře 2006, která umožňuje kontinuální monitoring hydrologických a meteorologických veličin. Skládá se ze dvou hladinoměrů osazených v závěrových profilech obou experimentálních povodí, meteorologické stanice a dalších tří srážkoměrů. Monitoring vodních stavů je doplněn systematickým hydrometrickým měřením průtoků pro odvození relevantní konsumpční křivky. V roce 2011 byla na vybraných lokalitách instalována zařízení pro kontinuální měření objemové půdní vlhkosti a teploty půdy. Pro stanovení potenciální a aktuální retence povodí se používají data z pravidelných odběrných kampaní vzorků půdy a údaje z vrtů sledujících hladinu podzemní vody v hydromorfních půdách.

Použité metody

Hydrologická bilance a variabilita odtoku

Ke stanovení hydrologické bilance bylo potřeba provést výpočet měsíčních, ročních a dlouhodobých odtokových a srážkových parametrů a odtokového koeficientu

s využitím vlastních naměřených homogenizovaných časových řad a odvozených konsumpčních křivek. Z pohledu srážek se uvažovaly úhrny plošných srážek zpřesněné pro každé povodí pomocí interpolační metody IDW vztažené k jejich centroidu.
Variabilita odtoku byla posuzována kromě klasicky používaných metod (křivka M -denních průtoků) také pomocí analýzy hydrologické disturbance (Archer, 2007). Analýza hydrologické disturbance je založena na zkoumání frekvence a doby trvání tzv. pulzů, tj. stavů, při nichž dojde k dosažení nebo překročení určité prahové hodnoty průtoku. Prahové hodnoty představují násobky mediánu průtoku v určitém časovém kroku. Doba trvání jednoho pulzu je určena jako doba mezi překročením konkrétní prahové hodnoty a následným poklesem pod tutéž prahovou hodnotu průtoku.

Analýza srážko-odtokových epizod

Hodnocení srážko-odtokových epizod bylo založeno na podrobné analýze hyetogramu a hydrogramu vybraných srážko-odtokových epizod (Malý, 2009; Pavlásek et al., 2006). Výběru hodnocených srážko-odtokových událostí předcházel nutný pre-processing časových řad zahrnující analýzu a následný výběr srážkových epizod. Hodnoceny byly pouze epizody vyskytující se v období teplého půlroku. K identifikaci hodnocených srážko-odtokových událostí byla dále použita následující kritéria:

- srážková epizoda způsobila pouze jednoduchou povodňovou vlnu,
- v obou povodích byl zaznamenán stejný nebo velmi podobný úhrn a časové rozdělení srážek,
- k dispozici byly kompletní údaje o srážkách a průtocích po celou dobu trvání epizody,
- hodnoceny byly epizody, pro něž byly spolehlivě odvozeny průtoky na základě konsumpční křivky.

Celkem bylo podle výše uvedených kritérií vybráno 47 srážko-odtokových epizod. Pro každou z nich byla vypočtena sada příčinných a závislých proměnných. Z pohledu příčinných proměnných se jednalo především o vlastnosti srážek: doba trvání srážky T_h (min), výška srážkového úhrnu H_s (mm), průměrná intenzita srážky I_p ($mm.h^{-1}$) a nasycenost povodí (index předchozích srážek API30). Na základě těchto parametrů byly odvozeny nejčastěji se vyskytující typy příčinných podmínek, při kterých dochází v obou povodích ke vzniku významné odtokové situace.
Ze sady disponibilních závislých proměnných bylo vybráno pět ukazatelů, které dostatečně vystihují chování daného hydrologického systému. T_{qi} je doba trvání vzestupné větve hydrogramu, T_{qd} je doba trvání sestupné větve hydrogramu do ukončení přímého odtoku (inflexní bod na sestupné větvi). T vyjadřuje celkovou dobu trvání srážko-odtokové události od počátku srážky do ukončení přímého odtoku. T_{lag} je doba prodlení (doba mezi kulminací srážky a kulminací odtoku), q_{max} je velikost specifického kulminačního průtoku odtokové vlny. Hodnoty sledovaných závislých proměnných byly následně vzájemně porovnávány a testovány dle jednotlivých typů příčinných podmínek (dvouvýběrový t-test, Mann-Whitneyův test) mezi oběma povodími.

Hodnocení potenciální a aktuální retence povodí

Z celkové plochy povodí a jednotlivých hloubek půdních sond byl vypočten objem celého půdního pokryvu bez C horizontu, tedy objem A horizontu (případně Oh +A) a B horizontu (případně E + B, B/C). Hodnoty těchto objemů byly upraveny pomocí skeletovitosti a efektivní pórovitosti. Tím byl vypočten objem potenciálních volných pórů v celém výzkumném povodí. Nejprve byla vypočtena hodnota retence jednotlivých půdních horizontů R_A (cm), jejichž součet pak činil potenciální retenci půdního segmentu daného půdního typu:

$$R_A = H \times P \times (1 - S) \quad (1)$$

kde
H – hloubka půdního horizontu [cm],
P – efektivní pórovitost [%],
S – skeletovitost [%].

Do výpočtu potenciální retence nebyl započten vliv vlhkosti ani výšky hladiny podzemní vody. Jednalo se o vyjádření teoretického množství vody, které povodí dokáže maximálně pojmout.
Při výpočtu aktuální nasycenosti povodí a stanovení aktuální retence se vycházelo z podrobného pedologického průzkumu, jehož výsledkem byla mapa půdních typů. V obou povodích je zastoupeno šest dominantních půdních typů a dva subtypy (ORm – organozem mesická, GLo – glej histický, GL – glej modální, KA – kambizem modální, KAg – kambizem oglejená, KP – kryptopodzol modální, PG – pseudoglej modální a SG – stagnoglej modální). Ke zmíněným půdním typům byly vybrány referenční lokality pro odběr půdních vzorků Kopeckého válečky, z nichž byla stanovena okamžitá objemová vlhkost (θ). Zároveň byly v hydromorfních půdách vytipovány lokality pro měření hladiny podzemní vody. Hodnota aktuální retence byla zpřesněna dle aktuální nasycenosti povodí a výšky hladiny podzemní vody v hydromorfních půdách. Aktuální retence povodí byla pro porovnání vypočtena pro různé vlhkostní podmínky (suché období, vlhké období, období před a po srážce).

Výsledky

Hydrologická bilance a variabilita odtoku

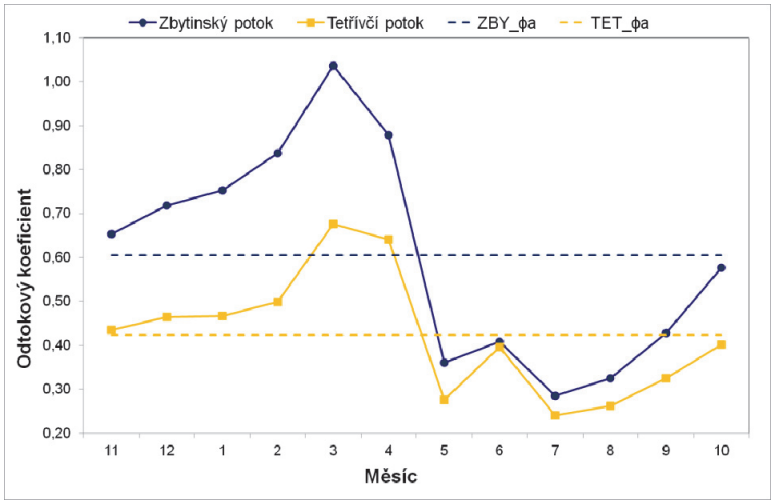
Pro obě povodí byly stanoveny první odhady hydrologické bilance (období 2007-2014). Podle předpokladů byl odtokový koeficient v zalesněném povodí Tetřívčího potoka výrazně nižší než v zatravněném povodí Zbytinského potoka, a to jak za celé hodnocené období, tak v rámci jednotlivých let. V průměru odteklo z povodí

Tetřívčího potoka ročně o 13 % objemu vody ze spadlých srážek méně. Hodnota odtokového koeficientu kolísala v závislosti na vodnosti a ročním období, přičemž větší variabilita mezi chladným a teplým půlrokem byla identifikována v povodí Zbytinského potoka. Největší rozdíly v hodnotě odtokového koeficientu mezi oběma povodími byly v zimním a jarním období (Obr. 1.). Nejnižší hodnoty a nejmenší rozdíly byly naopak zjištěny v letních měsících, ve kterých se soustředilo nejvíce srážko-odtokových epizod.

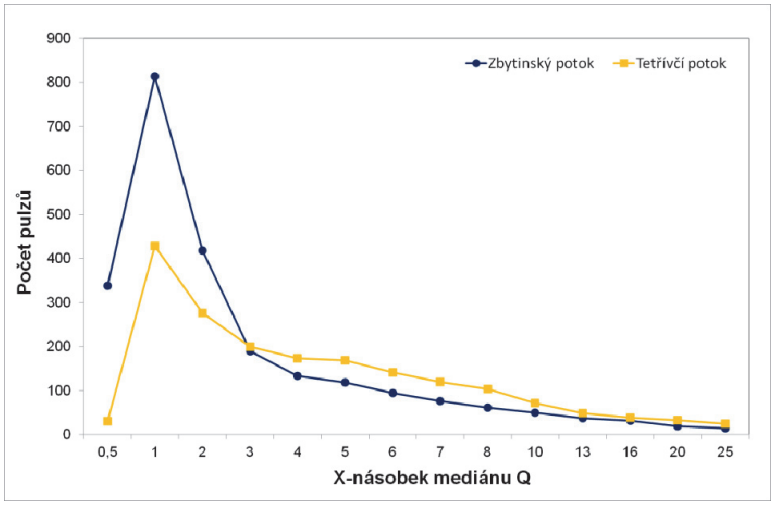
Čáry překročení M-denních průtoků obou sledovaných toků mají na první pohled podobný průběh. Po většinu roku zalesněné povodí Tetřívčího potoka vykazovalo nižší odtokové hodnoty než povodí Zbytinského potoka. Významnější rozdíly se projevily:

- i/ v oblasti nízkých průtoků, kdy zalesněné povodí zejména v málo vodných letech výrazněji nadlepšovalo průtok,
- ii/ v oblasti vyšších průtoků, kdy zalesněné povodí zejména ve vodných letech vykazovalo výraznější odtokové odezvy.

Zajímavé výsledky přinesla i analýza hydrologické disturbance. Vztah mezi počtem pulzů a daným velikostním prahem odtoku ukazuje Obr. 2. Největší počet pulzů byl zjištěn ve velikostní kategorii 1M (tj. medián Q_{hod}). U průtoků menších než 1M naopak dochází k poklesu počtu pulzů vlivem nárůstu doby trvání a koagulací („spojováním") jednotlivých pulzů. Počet pulzů do hodnoty 2M (dvojnásobku mediánu Q_{hod}) je výrazně větší pro luční povodí Zbytinského potoka, v intervalu od 3M do 10M včetně je naopak zaznamenán nepatrně větší počet pulzů u lesního povodí Tetřívčího potoka. Nad prahovou hodnotou 10M je již počet pulzů pro obě povodí velmi podobný.



Obr. 1. Průměrné měsíční hodnoty odtokového koeficientu (2007-2014).
Fig. 1. Average monthly values of the runoff coefficient (2007-2014).



Obr. 2. Počet pulzů pro vybrané hodnoty násobku mediánu Q_{hod} (2007-2014).
Fig. 2. Number of pulses for the chosen values of flow threshold (2007-2014).

Analýza srážko-odtokových epizod

Podle analýzy příčinných faktorů pro 47 hodnocených epizod byly určeny čtyři typy příčinných situací (PS):

- PS1 – krátkodobý déšť průměrné intenzity při nižším nasycení povodí
- PS2 – dlouhodobý déšť nižší intenzity při nízkém nasycení povodí
- PS3 – střednědobý déšť nižší intenzity při vyšším nasycení povodí
- PS4 – krátkodobý intenzivní déšť při vyšším nasycení povodí

Rozdíly v odtokové odezvě byly identifikovány a kvantifikovány podle velikosti odchylky mezi standardizovanými středními hodnotami parametrů hydrogramu. Srovnání odtokových odezev obou povodí pro daný typ příčinné situace ukazuje Tabulka. 1.
Pro jednotlivé sledované parametry hydrogramu byly zjištěny následující poznatky:

- T, T_{qd} – doba trvání sestupné větve odtokové vlny a zároveň i celé srážko-odtokové epizody je při všech příčinných situacích u TET výrazně delší.
- T_{qi} – doba trvání vzestupné větve odtokové vlny je při všech typech příčinných situací srovnatelná a nejsou mezi povodími zaznamenané žádné rozdíly.
- T_{lag} – s poklesem nasycenosti povodí vzrůstá rozdíl v době prodlení ve prospěch TET. Největší rozdíl je zaznamenán u srážek malé vydatnosti při nízkém nasycení povodí, při vyšší nasycenosti povodí a déletrvajících regionálních deštích jsou rozdíly zanedbatelné.
- q_{max} – velikost kulminačního průtoku se liší podle typu příčinné situace, přičemž důležitou roli hraje nasycenost povodí. Při nižší nasycenosti povodí, zejména při déletrvajících srážkách, byly sledovány vyšší kulminační průtoky u TET. Pouze během krátkodobých intenzivních srážek při vyšší nasycenosti povodí byly kulminační průtoky výrazně větší u ZBY.

Rozdíly ve vybraných parametrech hydrogramu pro každou příčinnou situaci byly podrobeny testování statistických hypotéz. U všech ukazatelů se potvrdila nulová hypotéza, což znamenalo, že v odtokové odezvě obou sledovaných povodí na základě hodnocených epizod nebyl prokázán statisticky významný rozdíl.

Hodnocení potenciální a aktuální retence povodí

Retenční potenciál obou povodí je ovlivňován zejména půdním typem, konfigurací terénu (sklonitostí) a krajinným pokryvem. Nejvyšší potenciální retenční kapacita se vyskytuje v plochých pánvích u závěrového profilu Tetřívčího potoka. Nachází se zde poměrně mocné půdy bez skeletu obsahující významné množství organogenního materiálu. Kromě toho se z pohledu retenčního potenciálu pozitivně jeví i relativně hluboké kambizemě modální na plochých rozvodích většinou využívané jako louky nebo pastviny. Nejnižší hodnoty potenciální retence byly naopak nalezeny na svazích nejvyšších vrcholů, kde převažují mělké skeletovité půdy.
V reálných podmínkách se však retence povodí významně mění. Nejméně vhodné půdy pro zadržení vody bývají zpravidla hydromorfní půdy. Tyto půdy jsou po většinu roku nasyceny vodou, a tudíž jsou nevhodné pro infiltraci a zdržení větších srážek. Do této kategorie spadají i stagnogleje a pseudogleje. Tyto půdy se však v povodí Zbytinského potoku neprojevily z hlediska aktuální retence příliš negativně. Důvodem může být meliorační systém, který může změnit stagno(pseudo)-glejový půdotvorný proces a nastartovat proces jiný.
Hodnota potenciální retence se v obou povodích pohybuje kolem 30 cm, přičemž nepatrně vyšší retenční potenciál byl zjištěn v povodí Zbytinského potoka (cca o 2 cm). Z hydrologického pohledu je však důležitější porovnání aktuální retence povodí. Bez ohledu na příčinné podmínky je vyšší retence v povodí Zbytinského potoka (Tabulka 2.). Lze vysledovat, že se v sušších periodách rozdíl mezi povodími ve prospěch ZBY oproti vlhčím periodám trochu zvětšuje.

Tabulka 1. Rozdíly v odtokové odezvě podle typu příčinné situace
Table 1. Differences in the runoff response according to the type of causal situation

Typ příčinné situace	T	T_{qi}	T_{qd}	T_{lag}	q_{max}
PS1	ZBY < TET	ZBY = TET	ZBY < TET	ZBY ≪ TET	ZBY ≤ TET
PS2	ZBY < TET	ZBY = TET	ZBY ≪ TET	ZBY = TET	ZBY ≪ TET
PS3	ZBY < TET	ZBY = TET	ZBY ≪ TET	ZBY ≥ TET	ZBY = TET
PS4	ZBY ≤ TET	ZBY = TET	ZBY < TET	ZBY = TET	ZBY ≫ TET

Vysvětlivky: do 5 % - shodné (=); 5-15 % - nepatrný rozdíl (≤); 15-30 % - výrazný rozdíl (<); nad 30 % - velmi výrazný rozdíl (≪)

Tabulka 2. Potenciální a aktuální retence povodí (cm) během vybraných epizod
Table 2. Potential and actual retention of catchment (cm) during the selected events

Povodí	Potenciální retence	Suché období (15.6.2014)	Období před srážkou (23.8.2014)	Období po srážce (14.9.2014)	Vlhké období (24.4.2015)
ZBY	30,20	17,10	14,00	11,30	12,90
TET	28,10	12,00	10,10	8,30	8,90

Závěr a diskuse

Hodnocení srážko-odtokového procesu je založeno na přístupu black box, tedy zatím bez detailnějšího vyhodnocení jednotlivých odtok ovlivňujících faktorů. Analýzy časových řad vycházejí z vlastních kontinuálně měřených dat z 8letého období pozorování. Doposud relativně krátká řada pozorování nemusí být, ve srovnání s podobně zaměřenými výzkumy, vzhledem k počtu analyzovaných srážko-odtokových epizod dostatečně reprezentativní pro jejich hodnocení a typizaci. I přesto, že data prošla precizní kontrolou, stále zůstává problémem odvození hodnot průtoků nad mez zjištěnou hydrometrováním. Právě data o vyšších průtocích je potřeba nadále zpřesňovat. Z tohoto důvodu nebyly prozatím podrobně hodnoceny extrémní odtokové situace.

Provedené analýzy poukázaly u sledovaných párových povodí na odlišnosti ve srážko-odtokovém procesu. Největší rozdíly vykazují průměrné bilanční charakteristiky, kde ve shodě s poznatky Brown et al. (2005), nebo Robinson a Dupeyrat (2005) odtéká ze zalesněného povodí Tetřívčího potoka méně vody, než z převážně lučního povodí Zbytinského potoka. Rozdíly se projevují zejména v zimním a jarním období. Ve shodě s Brown et al. (2005) lze tento jev přisuzovat vyšší míře intercepce a evapotranspirace lesního, zejména jehličnatého, porostu ve spojení s rozdíly v akumulaci a tání sněhové pokrývky (Holko a Kostka, 2008).

V letním období, kdy nastává největší frekvence srážko-odtokových epizod, nejsou rozdíly z dlouhodobého hlediska tak signifikantní, popřípadě k rozdílům nedochází vůbec. Analýza odtokových čar prokázala, že zalesněné povodí, zejména v málo vodných letech, výrazně nadlepšuje nízké průtoky. Ve vodných letech naproti tomu vykazuje výraznější odtokové odezvy rostoucí s významností epizod. Právě výraznější odtokové odezvy ze zalesněného povodí Tetřívčího potoka jsou patrně hlavní příčinnou jeho vyšší odtokové variability. Poznatek o výskytu výraznějších odtokových odezev ze zalesněného povodí potvrdily i analýzy vybraných srážko-odtokových epizod. Přestože nebyly statisticky prokázány rozdíly v parametrech odtokových epizod obou povodí, podrobné analýzy hyetogramu a hydrogramu upozornily na některé odlišnosti: i) doba trvání sestupné větve odtokové vlny a tedy i celé srážko-odtokové epizody byla delší u Tetřívčího potoka, ii) při srážkách malých úhrnů při nízké nasycenosti povodí byla u zalesněného povodí identifikována delší doba prodlení, iii) velikost kulminačního průtoku byly zpravidla větší u zalesněného povodí, pouze u krátkodobých dešťů velké intenzity při vyšším nasycení povodí byly zaznamenány větší kulminace u lučního povodí.

Z literatury je známo, že se vzrůstající extremitou srážko-odtokových událostí se snižuje vliv vegetace na průběh odtoku a výrazněji se mohou uplatňovat i jiné faktory. Vliv rozdílného vegetačního krytu pro vybrané srážko-odtokové situace podobně neprokázala studie z experimentálních povodí Modrava na Šumavě (Pavlásek et al., 2006). Kulminační průtoky v době analyzovaných epizod byly více závislé na celkovém objemu příčinných srážek než na průběhu intenzity srážek. Značná část odtoku byla spojena s pomalejší odezvou povodí na srážkovou událost, přítomnost plošného povrchového byla výjimečná. Na významný vliv typu vegetačního pokryvu na retenci vody při extrémních srážkách (srážkový úhrn nad 60 mm), které způsobují povrchový odtok, naopak upozornily studie Czelise a Spitze (2003), Kuříka (2000) a Tesaře et al. (2004). Podle Hümanna et al. (2011) závisí tvorba odtoku a retence vody v území hlavně na specifických místních a půdních podmínkách. Tyto podmínky mají větší vliv na tvorbu odtoku než různý typ lesa. Přínos lesa pro zmírnění odtoku a snížení kulminačních průtoků je nejvýraznější v případě malých častých povodní.

Proč však vykazuje námi sledované lesní povodí vyšší variabilitu odtoku než převážně luční prostředí? Vysvětlení bychom mohli hledat v první řadě v půdním prostředí, v jeho prostorové i časové heterogenitě, v rozdílných půdních vlastnostech ovlivňujících infiltraci, retenci a transport vody v půdě. Různé mechanismy transportu vody půdou mohou po dosažení plného nasycení půdního profilu vyvolat rychlý odtok, který může vést k extrémnímu prázdnění celého systému i při malých srážkách (Šanda et al., 2006; Císlerová, 2003). Při tvorbě odtoku se v závislosti na okamžité nasycenosti povodí může uplatňovat vedle většího zastoupení půd s nízkou hydraulickou vodivostí i větší rozsah zamokřených ploch s vysokou hladinou podzemní vody v lesním povodí. Analýza potvrdila negativní vliv hydromorfních půd na retenci povodí a prokázala potenciálně větší riziko lesního povodí při vzniku

významné odtokové události. Tento poznatek je v souladu s rozborem srážko-odtokových epizod a výskytem větších kulminací v lesním povodí při nižší nasycenosti. Hydropedologické podmínky tedy mají při vzniku krátkodobých odtokových epizod zásadní vliv na formování odtoku a průběh odtokové události. Z tohoto pohledu se pak projevují jako vhodnější půdy pro retenci vody v krajině mocné písčitohlinité půdy s minimem skeletu, v tomto případě kambizemě modální na plochých rozvodích.

Poděkování

Předložený výzkum byl proveden za podpory Grantové agentury České republiky, projekt č. P209/12/0997 "Vliv disturbancí horské krajiny na dynamiku fluviálních procesů" a projekt č. 13-32133S "Retenční potenciál pramenných oblastí ve vztahu k hydrologickým extrémům" a za podpory projektu PRVOUK 43 "Geografie".

Literatura

Archer, D. R. (2007): The use of flow variability analysis to assess the impact of land use change on the paired catchments, mid-Wales. Journal of Hydrology, 347, 3-4, s. 487-496.

Bíba, M. et al. (2001): Les a voda – 45 let trvání vodohospodářského výzkumu v Beskydech. Zprávy lesnického výzkumu, 46, 4, s. 231-236.

Bosh, J. M., Hewlett, J. D. (1982): A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation chnges on water yield and evaporation. Journal of Hydrology, 55, s. 3-23.

Brown, A. E. et al. (2005): A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. Journal of Hydrology, 310, 1-4, s. 28-61.

Camorani, G., Castellarin, A., Brath, A. (2005): Effects of land-use changes on the hydrologic response of reclamation systems. Physics and Chemistry of the Earth, 30, s. 561–574.

Císlerová, M. (2003): Preferenční proudění ve vadózní zóně a formování hydrogramu odtoku. In: Šír, M., Lichner, Ľ., Tesař, M. (Eds.): Hydrologie půdy v malém povodí, ČVUT, Praha, s. 103-110.

Czelis, R., Spitz, P. (2003): Retence vody v povodí při povodních. Acta Hydrologica Slovaca, 4, 2, s. 233–241.

Evans, M.G., Burt, T.P., Holden, J., Adamson, J.K. (1999): Runoff generation and water table fluctuations in blanket peat: evidence from UK data spanning the dry summer of 1995. Journal of Hydrology, 221, s. 141-160.

Hibbert, A. R. (1967): Forest treatment effects on water yield. In: Sopper, W.E., Lull, H.W. (Eds.): International Symposium on Forest Hydrology, Proceedings of a National Science Foundation Advanced Science Seminar, Pergamon Press, Oxford, s. 527–543.

Holko, L., Kostka, Z. (2008): Hydrological characteristics of snow cover in the Western Tatra Mountains in winters 1987-2008. Folia Geographica, 39, s. 63-77.

Hümann, M. et al. (2011): Identification of runoff processes – The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods. Journal of Hydrology, 409, s. 637–649.

Iroumé, A., Huber, A., Schulz, K. (2005): Summer flows in experimental catchments with different forest covers, Chile. Journal of Hydrology, 300, 1-4, s. 300-313.

Kliment, Z., Matoušková, M. (2009): Runoff changes in the Šumava Mountains (Black Forest) and foothill regions: Extent of influence by Human Impact and Climate Changes. Water Resources Management, 23, s. 1813-1834.

Kokkonen, T. S., Jakeman, A. J. (2001): A comparison of metric and conceptual approaches in rainfall-runoff modelling and its implications. Water Resources Research, 37, 9, s. 2345-2352.

Kříž, V. (1978): Hydrologická analogie a její využití ke kvantifikaci změn hydrologického režimu řek způsobených činností člověka. Sborník Československé společnosti zeměpisné, 83, 1, s. 33-39.

Kuřík, P. (2000): Vliv lesních porostů na extrémní průtoky. Zprávy lesnického výzkumu, 45, 2, s. 33–37.

Malý, A. (2009): Vliv rozdílného využití krajiny na srážkoodtokový proces v experimentálních povodích Zbytiny. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 151 s.

McCulloch, J. S. G., Robinson, M. (1993): History of forest hydrology. Journal of Hydrology, 150, s. 189-216.

Oudin, L. et al. (2008): Has land cover a significant impact on mean annual streamflow? An international assessment using 1508 catchments. Journal of Hydrology, 357, s. 303–316.

Pavlásek, J., Máca, P., Ředinová, J. (2006): Analýza hydrologických dat z Modravských povodí. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 54, 2, s. 207-216.

Robinson, M., Dupeyrat, A. (2005): Effects of commercial timber harvesting on streamflow regimes in the Plynlimon catchments, mid-Wales. Hydrological Processes, 19, s. 1213–1226.

Silveira, L., Alonso, J. (2009): Runoff modifications due to the conversion of natural grasslands to forests in a large basin in Uruguay. Hydrological Processes, 23, s. 320–329.

Šanda, M. et al. (2006): Vliv půdního profilu na srážkoodtokový proces. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 54, 2, s. 183–191.

Tesař, M., Šír, M., Dvořák, I. J. (2004): Vliv vegetačního porostu a jeho změn na vodní režim půd v pramenných oblastech Krkonoš. In: Štursa, J., Mazurski, K.R., Palucki, A., Potocka, J. (Eds.): Geoekologické problémy Krkonoš. Opera Corcontica, 41, Szklarska Poręba, s. 30-37.

Válek, Z. (1962): Lesy, pole a pastviny v hydrologii pramenných oblastí Kychové a Zděchovky. Práce a studie, 106, VÚV, Praha, 115 s.

Vlček, L., Kocum, J., Jansky, B., Šefrna, L., Kučerova, A. (2012): Retenční potenciál a hydrologická bilance horského vrchoviště: případová studie Rokytecké slatě, povodí horní Otavy, jz. Česko. Geografie, 117, 4, s. 395–414.

INFLUENCE OF SOIL MATRIX AND DIFFERENT LAND USE ON THE RUNOFF PROCESS IN THE EXPERIMENTAL CATCHMENTS ZBYTINY

In the Czech Republic is most headwater areas cover by forest and there are regularly formed a significant runoff events. This is one of the main reasons why is paid to the research of the influence of land cover or forest on runoff great attention. Upper Blanice basin in Šumava Mts. was one of source areas of huge floods in 2002. Together, in this border area significant changes in land use have occurred during last century.

For these reasons, in May 2006 was founded in cadastral area of Zbytiny (district Prachatice) an experimental catchment specialized on research how can different land cover influence runoff process. We talk about two adjoining small catchments with similar physical-geographical and hydrographical conditions that differ by land and soil cover. In catchment of Zbytinský brook predominate cultural meadows, on the other hand in catchment of Tetřívčí brook is forest.

The aim of the submitted research is to evaluate changes and differences in hydrological systems from the point of view of average long-term characteristics, individual rainfall-runoff events or retention capacity of catchment, on the basis of the comparative paired catchment research.

The first estimations of hydrological balance show, that the runoff coefficient in Tetřívčí Brook catchment was significantly lower than in the Zbytinský Brook catchment. From the point of view of runoff variability, more significant differences became evident: i/ in the period of low flows when the forested catchment, especially in years with lower discharge, significantly improved its discharge, ii/ in the period of high flows when the forested catchment, especially in years with higher discharge, showed more significant runoff responses.

By the analysis of rainfall-runoff events was not proved any significant difference in the runoff response in the both monitored catchments. However, some interesting variations were detected. Duration time of the recession limb of hydrograph and at the same time of the complete rainfall-runoff event is in all causal situations in the Tetřívčí Brook longer. With the decrease of the catchment saturation, the difference in the lag time increases in favour of forested Tetřívčí Brook. The greatest difference is recorded for the precipitation of small intensity at the low saturation of the catchment. Specific peak discharge differs according to the type of causal situation, where the important thing is the saturation of the catchment. Higher peak discharges were observed in the Tetřívčí Brook at the lower catchment saturation, especially during long-term precipitations. Peak discharges were significantly higher in the Zbytinský Brook only during short term heavy precipitations at the higher saturation of the catchment.

The potential retention in both catchments is around 30 mm, while slightly higher retention potential was found out in the Zbytinský brook catchment (about 2 mm). From a hydrological point of view is more importantly actual retention of catchment. Regardless of the causal conditions is the water retention higher in the Zbytinský brook catchment. Analysis of retention potential confirmed the negative influence of hydromorphic soils on water retention and showed a potentially higher risk of forest catchment in the formation of significant runoff events.

Václav Královec, Mgr.
Zdeněk Kliment, Doc. RNDr./CSc.
Lukáš Vlček, Mgr.
UK v Praze, Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie
Albertov 6
128 43 Praha 2
Tel.: 221 951 374
E-mail: vaclav.kralovec@natur.cuni.cz
zdenek.kliment@natur.cuni.cz
lukas.vlcek@natur.cuni.cz