

# SROVNÁNÍ DENNÍ DYNAMIKY PRŮTOKŮ PAHORKATINNÝCH MIKROPOVODÍ V NĚKOLIKADENNÍCH PERIODÁCH BEZE SRÁŽEK

## STREAMFLOW DIURNAL DYNAMICS OF UPLAND MICROWATERSHEDS DURING PRECIPITATION-FREE PERIODS

PETR KUPEC ✉ - JAN DEUTSCHER

Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav tvorby a ochrany krajiny, Zemědělská 3, CZ - 613 00 Brno, Czech Republic

✉ e-mail: xkupec@node.mendelu.cz

### ABSTRACT

During the 2011 vegetation season, streamflow, precipitation and temperature were measured in two experimental upland microwatersheds with different vegetation cover (forest, grassland). Since both catchments are located in similar natural conditions, the differences between forested and afforested area were related to the effects of woody vegetation. During precipitation-free periods lasting several days, a trend of decreasing streamflow during sunlit part of the day was observed on both localities. Its mean amplitude reached 27% and 17% of initial morning maximum for afforested and forested catchment, respectively. During the night, streamflow increased back to its morning maximum in the forested catchment, while it reached 90% only in the afforested one. We explain these differences by the ecosystem effects of woody vegetation, mainly the ability to decrease transpiration losses during the hottest parts of the day, which results in a potential to function as a source of water during the night.

**Klíčová slova:** mikropovodí, vnitrodenní průtok, dřevinná vegetace, pahorkatiny

**Key words:** microwatershed, diurnal streamflow, woody vegetation, uplands

### ÚVOD

V současné době rychle se měnícího využívání krajiny, globálních změn klimatu a rostoucí potřeby kvalitní pitné vody a jiných ekosystémových účinků lesních povodí stoupá i poptávka po lepším využívání a poznání těchto cenných ekosystémů (SUN et al. 2008; VÖRÖSMARTY et al. 2010). Roste také povědomí o rychlém snižování biodiverzity sladkovodních recipientů (ALLAN, FLECKER 1993; RICHTER et al. 1997; DUDGEON et al. 2006; STRAYER 2006). Jako jedna ze zásadních otázek spojených s ekologií a hydrologií lesních povodí se jeví i časová závislost objemu průtoku na převažující formě vegetace v povodí. Průtok v korytech drobných vodních toků je významnou složkou vodní bilance celého území a jeho hodnoty, změny a trendy mají velkou vypovídací hodnotu o celkovém stavu povodí (RICHTER et al. 2003, 2006; ARTHINGTON et al. 2006, 2010). Průtok v korytě je formován dlouhodobě neměnnými abiotickými podmínkami prostředí (sklon, reliéf, geologie podloží apod.), mezi které můžeme za určitých podmínek zařadit i relativně stále biotické podmínky, jako je vegetační kryt (MARTIN, PIERCE 1980; LYNCH, CORBETT 1990; SWANK et al. 2001; POMEROY 2003). Pochopení vlivu těchto změn na fungování krajiny má klíčový význam nejen v předcházení katastrofických scénářů (KIDANE et al. 2012), ale i optimalizaci využívání krajiny (GOLDSTEIN et al. 2007; LANGHAMMER, VILÍMEK 2008).

Pro vyhodnocování uvedených změn je často využíváno tzv. komparativních povodí s obdobnými přírodními podmínkami a rozměry, ovšem s odlišným vegetačním krytem či způsobem hospodaření s tím, že hlavní podstatou dosud prováděných experimentů byly zejména různé typy lesnických zásahů – zalesňování, odlesňování, obnova a převody (BROWN et al. 2005). Z postupně prováděných review experimentálních povodí (BOSCH, HEWLETT 1982; STEDNICK 1996; BROWN et al. 2005; VARHOLA et al. 2010; HRACHOWITZ et al. 2013) vyplývá, že z hlediska sledování průtoků v závislosti na změnách vegetace je k dispozici množství publikovaných dat o celkovém ročním množství vody vázané ve vegetaci a jeho změnách v závislosti na provedených hospodářských zásazích, avšak existuje stále málo publikovaných výsledků z oblastí střední Evropy.

Zatímco vliv vegetace na roční průtoková množství v povodích je tedy poměrně dobře probádán (ZHANG et al. 2001), vliv vegetace na sezónní, měsíční a denní průtoková množství je v literatuře zmiňován pouze okrajově. V domácích poměrech se k tématu blíží např. práce ČERNOHOUS, ŠACH (2008), KOVÁŘ, BAČINOVÁ (2015) či ŠACH, ČERNOHOUS (2015). Přitom vliv vegetace na sezónní, měsíční a denní průtoková množství či vlhkostní poměry v půdním pláští mají pro pochopení vodního hospodářství krajiny bezpochyby větší význam než roční objemy vody vázané ve vegetaci (HRACHOWITZ et al. 2013).

V podmínkách České Republiky (ČR) je celkový stav řešené problematiky obdobný. Existuje řada publikovaných dat z experimentálních zalesněných povodí z horských oblastí, která popisují vodní bilanci porostů, odtokové charakteristiky a vliv lesnických zásahů či změn ve využívání krajiny na dlouhodobé popisné charakteristiky (MRÁZ et al. 1990; TESAŘ et al. 1992; KANTOR 1995; KŘOVÁK, KUŘÍK 2001; KULHAVÝ et al. 2002; ŠANDA et al. 2006, 2009; ŠVIHLA et al. 2010; ŠACH et al. 2014 a jiní). Mimo horské oblasti, např. v pahorkatinách, jsou publikované výsledky zejména o krátkodobých sezónních, měsíčních či denních charakteristikách průtoku vzácné (DEUTSCHER, KUPEC 2014; KOVÁŘ, BAČINOVÁ 2015). Základním cílem experimentu bylo vyhodnocení vlivu dřevinné vegetace v pahorkatinném mikropovodí na množství vody v korytě ve vegetačním období během několikadenních period bez deště a ověřit tak její ekosystémové účinky v relativně sušších obdobích, která nás velmi pravděpodobně čekají vzhledem k většině scénářů globální klimatické změny (IPCC 2007; EEA 2012).

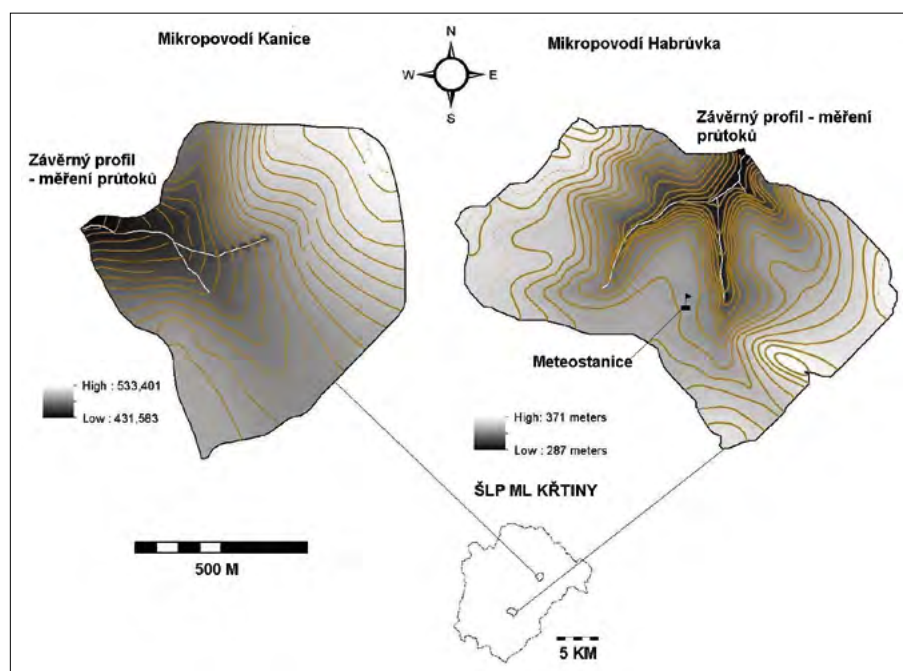
## MATERIÁL A METODIKA

Popisovaný experiment byl realizován formou studie dvou srovnávacích mikropovodí (BROWN et al. 2005). Byla vybrána dvě mikropovodí s obdobnými přírodními podmínkami na území Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny (ŠLP ML Křtiny), ovšem odlišným vegetačním krytem – zalesněné mikropovodí Kanice a bezlesé travino-bylinné mikropovodí (viz tab. 1, situace viz obr. 1). Obě zkoumaná mikropovodí se nacházejí v českém masivu na podloží z kyselých rul a granitů, kde převládajícím půdním typem je kambizemě. Průměrné roční srážky dosahují 610 mm a průměrná roční teplota okolo 7 °C. Klima je ovlivněno výraznou členitostí terénu s významným vlivem expozice.

Jelikož jsou pramenná mikropovodí z vodohospodářského hlediska relativně neměnnými přesně definovatelnými územími, byly jejich přírodní podmínky při vyhodnocování uvažovány jako nezávislé

**Tab. 1.**  
Charakteristiky experimentálních mikropovodí  
Description of experimental microwatersheds

| Charakteristika/Characteristic                    | Kanice  | Habrůvka  |
|---|---|---|
| Plocha povodí/Area (ha)                           | 65  | 50  |
| Délka hlavního toku/Main stream length (m)        | 640   | 680   |
| Průměrná nadmořská výška/Altitude (m)             | 332   | 480   |
| Expozice/Exposure                                 | severní/north   | severozápadní/northwest   |
| Lesnatost/Forest cover (%)                        | 98  | 10  |
| Druhá skladba porostů/<br>Species composition (%) | <i>Fagus sylvatica</i> 25, <i>Pinus sylvestris</i> 20, <i>Quercus petraea</i> 15, <i>Tilia platyphyllos</i> 15, <i>Picea abies</i> 10, <i>Carpinus betulus</i> 10, <i>Larix decidua</i> 5 | <i>Fagus sylvatica</i> 55, <i>Acer pseudoplatanus</i> 20, <i>Fraxinus excelsior</i> 15, <i>Larix decidua</i> 10 |



**Obr. 1.**  
Situace mikropovodí Habrůvka a Kanice s lokalizací v rámci ŠLP ML Křtiny

**Fig. 1.**  
Situation of the Habrůvka and Kanice microwatersheds and their localisation (TFE MF Křtiny = Training Forest Enterprise Masaryk Forest Křtiny)

proměnná. Měřeny byly dynamicky se měnící podmínky na povodí, a to vstupy do povodí (srážky), výstupy (odtok) a klimatické faktory (teplota vzduchu), viz obr. 2. Výstupy z povodí byly na obou povodích měřeny krátkodobým kontinuálním stanovováním průtoků metodou měření výšek hladin nad mobilní maskou měrného Thomsonova přelivu ultrazvukovými hladinoměrnými čidly s intervalem zápisu 10 minut (viz DEUTSCHER, KUPEC 2010, 2012). Bylo použito ultrazvukové čidlo US1200, specifická přesnost měření je výrobcem udávána do 1 % z rozsahu, pracovní rozsah čidla je 0,15–1,2 m. Čidlo bylo umístěno tak, aby měřilo výšku hladiny ve zdrženém prostoru nad maskou ve vzdálenosti přibližně dvojnásobku výšky paprsku (cca 10–15 cm). Jako datalogger byla využita řídicí jednotka M4016, která zaznamenává měřené hodnoty výšek hladin a pomocí přednastavené přepočtové rovnice pro Thomsonův přeliv současně prováděla v 10minutových intervalech výpočet průtoků. Tato měření probíhala v týdenních intervalech (celkem 10 měření na každé lokalitě), během vegetační doby od května do října (ve dnech s minimy teplot nad 10 °C) v dopoledních, odpoledních a nočních úsecích dne. Vstupy do povodí a klimatické faktory byly měřeny poloprofesionální klimatickou stanicí Vantage Vue umístěnou v prosvětlené vrcholové části Kanického povodí dle manuálu pro meteorologická měření programu ICP forest s intervalem zápisu 10 minut (RASPE et al. 2010) a bylo použito pro obě lokality, které jsou od sebe vzdáleny vzdušnou čarou necelých 5 km. Nezálesněné mikropovodí Habrůvka bylo uvažováno jako referenční lokalita, pro zalesněné mikropovodí Kanice, jelikož na Habrůveckém mikropovodí nejsou srážky a průtok v korytě ovlivňovány dřevinnou vegetací. Tím, že abiotické podmínky obou povodí jsou velmi podobné, byly pozorované rozdíly vysvětlovány funkčními účinky dřevinné vegetace (především evapotranspirace). Z provedených měření byla vyhodnocována ta, jimž nepředcházela (po dobu tří dní), či během nichž nedošlo k výraznější srážkové činnosti (0,2 mm/den), viz obr. 2. Z pořízených hodnot teplot a průtoků v desetiminutových intervalech byly vypočteny hodinové průměry. Tyto hodinové průměry průtoků (stejně jako teplot) byly dále zprůměrovány tak,

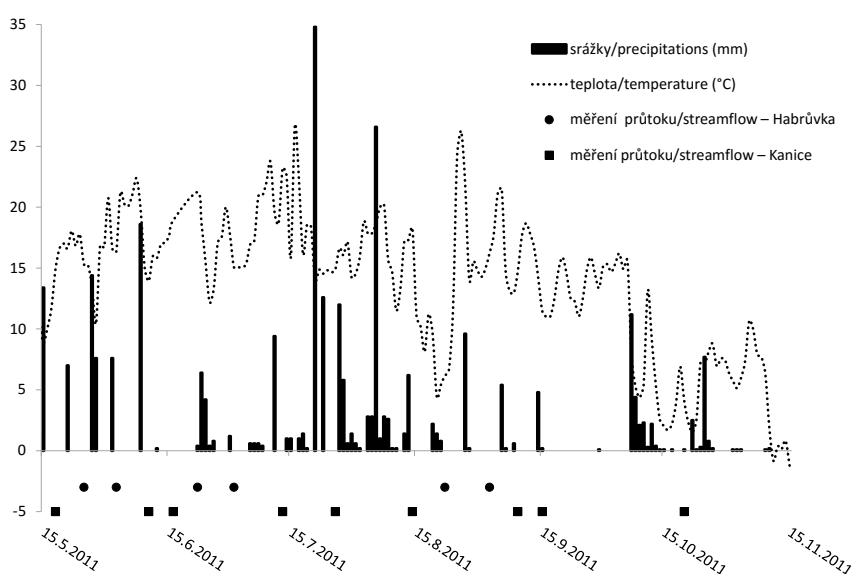
aby prezentovaly průběh průtoků v celém jednom dni v definované bezsrážkové periodě ve vegetačním období. Na tomto souboru dat byla provedena trendová analýza. Dynamika obou proměnných byla hodnocena na základě této analýzy denního průběhu hodnot vztahených k ranní hodnotě v 9:00 středoevropského letního času, kdy bylo pozorováno denní maximum průtoků. Jak již bylo uvedeno výše, výsledky byly interpretovány ve vztahu k odlišnému vegetačnímu krytu obou povodí s tím, že bezlesé povodí bylo uvažováno jako referenční, bez vlivu dřevinné vegetace. Základní cíl experimentu, tedy zjištění vlivu dřevinné vegetace na průtok, byl odvozen z porovnání rozdílů na obou lokalitách.

### Výsledky

Teplota, resp. její trend, k němuž jsou vztaheny níže prezentované trendy průtoků na obou povodích, dosahovala maxima okolo 14:30 hodin a její hodnoty se pohybovaly mezi 15–32 °C. Minimální teploty se pohybovaly v rozmezí od 8 °C do 20 °C a bylo jich dosaženo okolo 6:00 ráno. Teplota se během dne navýšovala v průměru o 7 °C, což odpovídalo přibližně 45 % původní ranní hodnoty (obr. 3).

### Referenční bezlesé mikropovodí Habrůvka

Průměrné denní průtoky nezálesněného povodí Habrůvka ve vegetačním období bez srážek dosahovaly hodnot od 0,18 l/s po 0,69 l/s s dlouhodobým průměrem okolo 0,4 l/s. Průměrný specifický odtok ve vegetačním období bez srážek dosahoval 0,8 l/s/km<sup>2</sup>. Pokud se týká dynamiky průtoků v korytě (obr. 3), pak tento dosahoval maxima ráno okolo 9:00, následně docházelo k jeho klesání s intenzitou v průměru okolo 0,017 l/s za hodinu. Minima dosahoval průtok okolo 17:00, kdy se v průměru nacházel na 73 % původní ranní hodnoty, ovšem tento pokles byl během měřených dní rozkolísaný (20–50 %), zejména v závislosti na maximální denní teplotě. Přes noc pak docházelo k jeho pozvolnému nárůstu v průměru na 90 % ranní hodnoty.



Obr. 2.

Klimadiagram za vegetační období 2011, datum měření průtoků na lokalitě Kanice (čtverec) a Habrůvka (kruh)

Fig. 2.

Climograph for 2011 vegetation season, dates of streamflow measurements in Kanice (full square) and Habrůvka (full circle)

### Lesní mikropovodí Kanice

Průměrné denní průtoky zalesněného povodí Kanice ve vegetačním období bez srážek dosahovaly hodnot od 0,60 do 1,21 l/s s dlouhodobým průměrem okolo 0,7 l/s. Průměrný specifický odtok ve vegetačním období bez srážek dosahoval 1,08 l/s/km<sup>2</sup>. I zde bylo lze pozorovat opačnou dynamiku průtoku v porovnání s denním průběhem teplot (obr. 3). Průtok dosahoval maxima ráno okolo 9:00. Poté docházelo k jeho klesání s intenzitou v průměru přibližně 0,14 l/s za hodinu. Minima bylo dosaženo okolo 19:00, kdy se v průměru nacházel na 83 % ranní hodnoty. Přes noc pak docházelo k pozvolnému nárůstu v průměru zpět na ranní maximum.

### Porovnání výsledků z obou lokalit

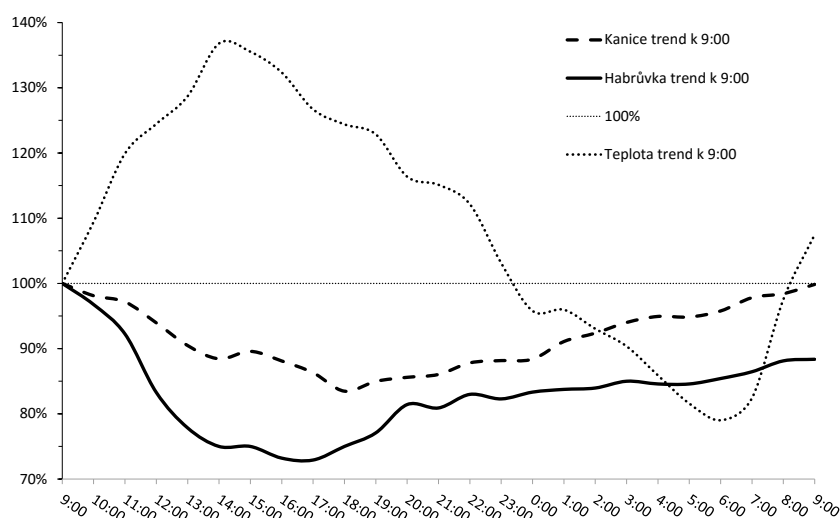
Obě lokality shodně vykazují trend klesání průtoku během osluněné části dne, i když na nezalesněném mikropovodí Habrůvka dosahoval průtok svého minima v průměru o dvě hodiny dříve. Maximální denní pokles průtoku dosahoval na lokalitě Habrůvka v průměru na 0,13 l/s, což odpovídalo 27 % původní ranní hodnoty. Na lokalitě Kanice byl maximální denní pokles kvantifikován v průměru na 0,16 l/s, což odpovídalo 17 % původní ranní hodnoty. Jako zásadní rozdíl mezi oběma lokalitami se jeví odlišné chování průtoku v noci, kdy na bezlesé lokalitě průtok stagnuje a dochází pouze k dílčímu navýšení v průměru na úroveň 90 % ranní hodnoty. Na zalesněném povodí

je oproti tomu možno pozorovat relativně výrazný nárůst v průměru až na 100 % ranní hodnoty. V suchých dnech tedy na bezlesém mikropovodí Habrůvka docházelo k neustálému poklesu množství vody v korytě o 10 % za den, v průměru o 0.08 l/s.

## DISKUSE

Z výsledků vyplynulo, že během vegetačního období v několikadenních periodách bez srážek docházelo v bezlesí k úbytku množství vody v korytě v průměru o 10 % za den, zatímco na zalesněném mikropovodí k tomuto úbytku nedocházelo. Vzhledem k úvodnímu výběru zkoumaných mikropovodí lze rozdílné chování průtoků během dne na obou lokalitách připsat ekosystémovým účinkům dřevinné vegetace.

V obdobích s nižšími průtoky jsou drobné vodní toky výhradně zásobovány právě vodou z lesních zdrojů. Celkový roční objem odtoku z lesů pro celou ČR činí v průměru 0,75–1,04 násobek odtoků ze zemědělských kultur. Tato hodnota kolísá podle vodnosti jednotlivých let, horní hodnoty 1,04 dosahuje v letech suchých. V pahorkatinách je však, při relativně vyšších hodnotách územního výparu, rozdíl mezi objemem odtoku z lesů a zemědělských pozemků zpravidla vyšší. Z lesů odtéká v průměru jen asi 60–70 % odtoku z bezlesí (ŠVIHLA 2001). Naše měření ukázala, že při srovnání specifického odtoku



**Obr. 3.**

Dynamika vnitrodenního průtoku a teploty během suchých period vegetačního období 2011 v Habrůvce (plná čára) a Kanicích (čárkovaná čára)

**Fig. 3.**

Diurnal dynamics of streamflow and temperature during precipitation-free periods of the 2011 vegetation season in Habrůvka (full line) and Kanice (dashed line)

**Tab. 2.**

Specifický odtok z experimentálních povodí  
Specific discharge from experimental catchments

|  | Specifický odtok/Specific discharge (l/s/km <sup>2</sup> ) |                   |
|--|--|-------------------|
|  | les/forest   | bezlesí/grassland |
| Válek (in RIEDL, ZACHAR 1973) – hory/mountains | 1.21   | 0.78              |
| KŘOVÁK, KUŘÍK 2001 – hory/ mountains           | 4.1  | 1.5               |
| DEUTSCHER, KUPEC 2011 – pahorkatina/uplands    | 1.08   | 0.8               |

z obou lokalit, byl odtok v popsáných podmínkách ze zalesněného povodí Kanice o 77 % nižší než odtok z bezlesí, což přibližně odpovídá výše popsané situaci v ČR.

V horských povodích v suchých obdobích je průměrný denní odtok ze zalesněných horských mikropovodí zpravidla výrazně vyšší než z bezlesí, a to zejména v závislosti na zdravotním stavu vegetace a době od smýcení porostů (Z. Válek in RIEDL, ZACHAR 1973; KŘOVÁK, KUŘÍK, 2001; viz tab. 2). Naše výsledky z pahorkatin podtrhují rozdílné podmínky horských a pahorkatinných povodí, kdy celkový průměrný specifický odtok z horských povodí může i několikrát (3–4 ×) převyšovat odtok z povodí pahorkatinných.

Prezentovaná dynamika průtoku v suchých periodách je v souladu s předpokládanou dynamikou transpiračních procesů (STOCKER 1956; ALLEN et al. 1989). Intenzita transpirace za jasného počasí obvykle dosahuje amplitudy kolem poledne s propadem v poledních hodinách (STOCKER 1956; ALLEN et al. 1989). Tímto lze vysvětlit výrazný trend klesání průtoku v korytě během dopoledních hodin, který byl pozorovaný na obou lokalitách. Dle našich měření dosahuje denní amplituda poklesu průtoku 27 % v bezlesí a 17 % v zalesněném povodí, kde však k tomuto poklesu dochází v průměru o dvě hodiny déle (pokles je tedy méně výrazný, zato však vytrvalejší). Nižší amplituda poklesu průtoku na bezlesém mikropovodí i delší doba poklesu na zalesněném povodí může být zdůvodněn odlišným chováním dřevinné a travino-bylinné vegetace, zejména schopností dřevin ovládat intenzitu transpirace; snížit ji v v nejteplejších částech dne, zejména uzavíráním průduchů; a opět ji navýšit během odpoledních hodin (BLÁHA et al. 2003; SCHULZE et al. 2005).

## ZÁVĚR

Vliv lesních společenstev na časovou dynamiku průtoku během dne byl zkoumán na dvou experimentálních povodích. Bezlesé povodí bylo použito jako referenční a pozorované rozdíly oproti zalesněnému povodí byly vztaženy k vlivu a ekosystémovým účinkům lesní vegetace. Zkoumána byla časová dynamika objemových charakteristik průtoku v suchých periodách vegetačního období, kdy je vliv vegetace na průtok v korytě nejzřetelnější. Identifikované trendy ukázaly, že objem průtoku v korytě drobného toku dosahoval maxima ráno a následně klesal, zejména vlivem zvýšené transpirace vegetace na povodí. Tento trend byl přítomen nejsilněji v bezlesí, lesní porosty byly schopny omezit intenzitu transpirace uzavřením průduchů v nejparnějších částech dne a snížit tím celkový výpar a zároveň pokračovat v transpiraci i za horších světelných podmínek, čímž bylo vysvětleno, že v bezlesí bylo minimum průtoku dosaženo v průměru o dvě hodiny dříve než na zalesněném povodí. Nejvýraznějším zjištěným rozdílem však byla odlišnost dynamiky průtoku v noci. V bezlesí v noci docházelo pouze k mírnému nárůstu objemu vody v korytě v průměru na 90 % ranní hodnoty, zatímco na zalesněném povodí docházelo k nárůstu zpět na ranní úroveň. Hydrické účinky bylinné vegetace nebyly schopny úbytek vody nahradit a docházelo tu ke snížení množství vody v korytě v průměru o 10 % za den. Oproti tomu zásoba vody v lesních porostech dovozovala vyrovnat průtok v korytě na původní ranní hodnotu. To ukazuje, že lesní porosty v těchto případech přes noc fungují jako zdroje vody pro celý vodní tok a mohou pomoci udržovat pozitivní vodní bilanci krajiny.

### Poděkování:

Článek je publikován na základě příspěvku prezentovaného na konferenci Lesnická hydrologie – věda a praxe pořádané VÚLHM Strnady v Ostravici – Septná ve dnech 21.–23. 9. 2015.

## LITERATURA

- ALLAN J.D., FLECKER A.S. 1993. Biodiversity conservation in running waters. Identifying the major factors that threaten destruction of riverine species and ecosystems. *BioScience*, 43 (1): 32–43.
- ALLEN R.G., JENSEN M.E., WRIGHT J.L., BURMAN R.D. 1989. Operational estimates of evapotranspiration. *Agronomy Journal*, 81 (4): 650–662.
- ARTHINGTON A.H., BUNN S.E., POFF N.L., NAIMAN R.J. 2006. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications*, 16 (4):1311–1318.
- ARTHINGTON A.H., NAIMAN R.J., MCCLAIN M.E., NILSSON C. 2010. Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: new challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*, 55, 1–16. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2009.02340.x
- BLÁHA L., BOCKOVÁ R., HNILIČKA F., HNILIČKOVÁ H., HOLUBEC V., MÖLLEROVÁ J., ŠTOLCOVÁ J., ZIEGLEROVÁ J. 2003. *Rostlina a stres*. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby: 156 s.
- BOSCH J.M., HEWLETT J.D. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55 (1/4): 3–23.
- BROWN E.A., ZHANG L., MCMAHON A.T., WESTERN W.A., VERTESSY A.R. 2005. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*, 310: 28–61. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2004.12.010
- ČERNOHOUS V., ŠACH F. 2008. Daily baseflow variations and forest evapotranspiration. *Ekológia (Bratislava)*, 27 (2): 189–195.
- DEUTSCHER J., KUPEC P. 2010. Flow rate evaluation of small forest streams. In: Kravka, M. (ed.): *Colloquium of Landscape Management*. Brno, Mendelova univerzita: 6–11. [CD-ROM]
- DEUTSCHER J., KUPEC P. 2012. Flow-rate estimation of a small watercourse as a basic water balance element of a forest microwatershed. In: Horodnic, S-A. et al. (eds.): *Proceedings of the International Conference Integrated Management of Environmental Resources*. Suceava, November 4–6th, 2011. Suceava, Editura Universitatii „Stefan cel Mare”: 119–124. DOI: 10.13140/2.1.3931.2162
- DEUTSCHER J., KUPEC P. 2014. Monitoring and validating the temporal dynamics of interday streamflow from two upland head microwatersheds with different vegetative conditions during dry periods of the growing season in the Bohemian Massif, Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186: 3837–3846. DOI: 10.1007/s10661-014-3661-5
- DUDGEON D., ARTHINGTON A.H., GESSNER M.O., KAWABATA Z.I., KNOWLER D.J., LÉVÉQUE C. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81: 163–182.
- EEA. 2012. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Union: 300 s. EEA Report No. 12/2012. DOI: 10.2800/66071
- GOLDSTEIN R.M., CARLISLE D.M., MEADOR M.R., SHORT T.M. 2007. Can basin land use effects on physical characteristics of streams be determined at broad geographic scales? *Environmental Monitoring and Assessment*, 130: 495–510. DOI: 10.1007/s10661-006-9439-7
- HRACHOWITZ M., SAVENIJE H.H.G., BLÖSCHL G., McDONNELL J.J., SIVAPALAN M., POMEROY J.W., ARHEIMER B., BLUME T., CLARK M.P., EHRET U., FENICIA F., FREER J.E., GELFAN A., GUPTA H.V., HUGHES D.A., HUT R.W., MONTANARI A., PANDEL S., TETZLAFF D., TROCH P.A., UHLENBROOK S., WAGENER T.,

- WINSEMIUS H.C., WOODS R.A., ZEHE E., CUDENNEC C. 2013. A decade of predictions in ungauged basins (PUB) – a review. *Hydrological Sciences Journal*, 58 (6): 1198–1255. DOI: 10.1080/02626667.2013.803183
- IPCC. 2007. *Climate change 2007. The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed.: S. Solomon et al. Cambridge, Cambridge University Press: 996 s.
- KANTOR P. 1995. Vodní režim smrkových a bukových porostů jako podklad pro návrh druhové skladby vodohospodářsky významných středohorských lesů. Habilitation thesis. Brno, MZLU: 332 s.
- KIDANE Y., STAHLMANN R., BEIERKUHNLEIN C. 2012. Vegetation dynamics, and land use and land cover change in the Bale Mountains, Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184: 7473–7489. DOI: 10.1007/s10661-011-2514-8
- KOVÁŘ P., BAČINOVÁ H. 2015. Impact of evapotranspiration on diurnal discharge fluctuation determined by the Fourier series model in dry periods. *Soil and Water Research*, 10, (4): 210–217.
- KŘOVÁK F., KUŘÍK P. 2001. Vliv lesních ekosystémů na odtokové poměry krajiny. In: Mánek, J. (ed.): *Aktuality šumavského výzkumu. Sborník z konference. Srní, 2.–4. dubna 2001. Vimperk, Správa NP a CHKO Šumava, 75–79*. Dostupné na/Available on: [http://www.npsumava.cz/storage/75\\_79.pdf](http://www.npsumava.cz/storage/75_79.pdf)
- KULHAVÝ Z., ČMELÍK M., KVÍTEK T., SOUKUP M., TIPPL M. 2002. Extrémní průtoky v pokusných povodích a pravděpodobnost jejich výskytu. In: Doležal, F. (ed.): *Pokusná zemědělsko-lesní povodí VÚMOP ve středočeském krystaliniku. Sborník z workshopu Nové Hradce, 16. října 2001. Praha, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, [13 s.]*
- LANGHAMMER J., VILÍMEK V. 2008. Landscape changes as a factor affecting the course and consequences of extreme floods in the Otava river basin, Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144: 53–66. DOI: 10.1007/s10661-007-9941-6
- LYNCH J.A., CORBETT E.S. 1990. Evaluation of best management practices for controlling nonpoint pollution from silvicultural operations. *Water Resources Bulletin*, 26: 41–52.
- MARTIN C.W., PIERCE R.S. 1980. Clearcutting patterns affect nitrate and calcium in streams of New Hampshire. *Journal of Forestry*, 78: 268–276.
- MRÁZ K., BUCEK J., BÍBA M. 1990. Vodní režim půdy, vztah k přírůstu dřevní hmoty a odtok vody v porostech různých dřevin. Dílčí závěrečná zpráva. Jiloviště-Strnady, VÚLHM: 51 s.
- POMEROY J.H. 2003. Stream turbidity signatures within the Hayward Brook watershed study. MS thesis. University of New Brunswick, Faculty of Forestry and Environmental Management: 302 s.
- RASPE S., BEUKER E., PREUHSNER T., BASTRUP-BIRK A. 2010. Meteorological measurements. manual. Part IX. In: *ICP forests manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. International cooperative programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests (ICP forests)*. Hamburg, Johann Heinrich von Thünen Inst., Inst. for world forestry: 36 s. Dostupné na/Available on: [http://www.icp-forests.org/pdf/FINAL\\_Meteo.pdf](http://www.icp-forests.org/pdf/FINAL_Meteo.pdf)
- RIEDL O., ZACHAR D. 1973. *Lesotechnické meliorace*. Praha, Státní zemědělské nakladatelství: 568 s.
- RICHTER B.D., BRAUN D.P., MENDELSON M.A., MASTER L.L. 1997. Treats to imperiled freshwater fauna. *Conservation Biology*, 11(5): 1081–1093.
- RICHTER B.D., MATHEWS R., HARRISON D.L., WIGINGTON R. 2003. Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. *Ecological Applications*, 13 (1): 206–224.
- RICHTER B.D., WARNER A.T., MEYER J.L., LUTZ K. 2006. A collaborative and adaptive process for developing environmental flow recommendations. *River Research and Applications*, 22: 297–318.
- SCHULZE E.-D., BECK E., MÜLLER-HOHENSTEIN K. 2005. *Plant Ecology*. Berlin, Springer: 702 s.
- STEDNICK J.D. 1996. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. *Journal of Hydrology*, 176 (1/4): 79–95.
- STOCKER O. 1956. Die Abhängigkeit des transpiration von den unweilfaktoren. In: Ruhland, W. (ed.): *Handbuch der Pflanzenphysiologie/Encyclopedia of plant physiology. Volume 3. Pflanze und Wasser/Water relations of plants*. Berlin, Springer: 436–488.
- STRAYER D.L. 2006. Challenges for freshwater invertebrate conservation. *Journal of the North American Benthological Society*, 25 (2): 271–287. DOI: 10.1899/0887-3593(2006)25[271: CFFIC]2.0.CO;2
- SUN G., McNULTY S.G., MYERS J.A.M., COHEN E.C. 2008. Impacts of multiple stresses on water demand and supply across the southeastern United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 44 (6): 1441–1457. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2008.00250.x
- SWANK W.T., VOSE J.M., ELLIOTT K.J. 2001. Long-term hydrologic and water quality responses following commercial clearcutting of mixed hardwoods on a southern Appalachian catchment. *Forest Ecology and Management*, 143, 163–178. DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00515-6
- ŠACH F., ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., KANTOR P. 2014. Management of mountain forests in the hydrology of a landscape, the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 60 (1): 42–50.
- ŠACH F., ČERNOHOUS V. 2015. Hydraulický lift buku pro smrk: potencionálně významný ekosystémový proces pro pěstování smrkových porostů v souvislosti s klimatickou změnou oteplování. *Zprávy lesnického výzkumu*, 60 (1): 53–63.
- ŠANDA M., HRNČÍŘ M., NOVÁK L., CÍSLEROVÁ M. 2006. Vliv půdního profilu na srážko-odtokový proces. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 54: 183–191.
- ŠANDA M., KULASOVÁ A., CÍSLEROVÁ M. 2009. Hydrological processes in the subsurface investigated by water isotopes and silica. *Soil and Water Research*, 4 (Special Issue 2): 83–92.
- ŠVIHLA V. 2001. Vliv lesa na odtokové poměry na malém povodí. *Lesnická práce*, 80: 66–69.
- ŠVIHLA V., ČERNOHOUS V., ŠACH F. 2010. Hydrologická bilance elementární odtokové plochy lesního povodí v Orlických horách. *Zprávy lesnického výzkumu*, 55 (3): 201–210.
- TESAŘ M., ŠÍR M., KUBÍK F., PRAŽÁK J., STRNAD E. 1992. Transpirace lesního porostu ve vegetačním období při dostatku vody v půdě. *Lesnictví-Forestry*, 38: 877–888.
- VARHOLA A., COOPS N.C., WEILER M. 2010. Forest canopy effects on snow accumulation and ablation: an integrative review of empirical results. *Journal of Hydrology*, 392 (3-4): 219–233.
- VÖRÖSMARTY C.J., MCINTYRE P.B., GESSNER M.O., DUDGEON D., PRUSEVICH A., GREEN P., GLIDDEN S., BUNN S.E., SULLIVAN C.A., LIERMANN C.R., DAVIES P.M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467: 555–561. DOI: 10.1038/nature09440
- ZHANG L., DAWES W.R., WALKER G.R. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, 37 (3): 7001–7708.

## STREAMFLOW DIURNAL DYNAMICS OF UPLAND MICROWATERSHEDS DURING PRECIPITATION-FREE PERIODS

### SUMMARY

In connection with climate change, the significance of ecosystem effects of forest vegetation increases. Most published results come from the alpine regions, while little attention is paid to uplands.

The goal of this work was to evaluate the effects of woody vegetation on the diurnal dynamics of streamflow during precipitation-free periods, when they should be most apparent. Streamflow, precipitation, and temperature were measured during the 2011 vegetation season in two upland microwatersheds with different vegetation cover (Tab. 1, Fig. 1 and 2). The identified trends in diurnal streamflow dynamics exhibited that the amount of water in the stream reached its maximum in the morning around 9:00 (Fig. 3). During the day, it decreased in relation to higher transpiration of vegetation in the catchment. The amplitude was higher in the afforested catchment, reaching on average 27% of initial morning maximum, while it only reached 17% on average in the forested one. This was explained by the ability of forest trees to control the intensity of transpiration processes during the hottest parts of the day, mainly by stomata closure. This enables forest stands to limit midday transpiration losses. At the same time, minimum streamflow was reached two hours earlier in the afforested catchment around 17:00. This was explained by the ability of forest stands to continue transpiring under worse sunlight conditions later in the afternoon as compared to grasslands. The biggest difference, however, was the streamflow dynamics during the night. In the afforested catchment, marginal increase was present reaching on average up to 90% of initial morning maximum, while streamflow in the forested catchment increased on average back up to 100%. The ecosystem effects of non-woody vegetation were not able to compensate for the transpiration losses and continuous decrease of water in the stream occurred reaching on average 10% of the morning maximum every day without rain. In contrast to that, water accumulated in forest stands allowed to fully resupply the daily losses. This indicated that forest stands as opposed to grasslands could function as water supply during the night, and helped maintain positive hydrological balance.

*Zasláno/Received: 15. 01. 2016*

*Přijato do tisku/Accepted: 31. 05. 2016*