

# VODOHOSPODÁŘSKÁ ÚČINNOST ZALESNĚNÝCH PAHORKATINNÝCH MIKROPOVODÍ S ROZDÍLNOU HLAVNÍ DŘEVINOU V BEZESRÁŽKOVÝCH PERIODÁCH

## WATER USE EFFICIENCY OF FORESTED UPLAND MICRO-WATERSHEDS AS AFFECTED BY THE DOMINANT TREE SPECIES COMPOSITION

PETR KUPEC  - JAN DEUTSCHER - LIBOR ŠKOLOUD

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

 e-mail: petr.kupec@mendelu.cz

### ABSTRACT

The article presents comparative analysis of water use efficiency (WUE) of forested micro-watersheds located in the area of Forest Training Enterprise Masarykův les Křtiny (FTE MF), Czech Republic, during precipitation-free periods of a part of the 2015 growing season. The micro-watersheds can be characterized as forested upland watersheds of relatively equal size (less than 1 square km) and terrain morphology with different tree species composition (with different dominant species – more than 50%: spruce (*Picea abies*), beech (*Fagus sylvatica*) and mixed five tree species, none of them over 30%). Water use efficiency was evaluated as the mean decrease of average daily streamflow in the discharge profile of the catchment recipients occurring during precipitation-free periods that lasted several days. At this time, the streamflow dynamics is influenced the most by the evapotranspiration of surrounding vegetation, and its effect on streamflow can be best observed. Four such precipitation-free periods were identified during the study period; two of them within the middle of growing season, and the other two at its end. Two of the precipitation-free periods were characterized as long lasting (more than 15 days), the other two were of short duration (not longer than 6 days). Our results indicate that WUE of upland forested micro-watersheds can be significantly different according to the different dominant tree species in the forest stands and depending on the duration of the precipitation-free period and the part of the growing season. Generally, in the conditions of uplands, the lowest values of WUE were obtained in the case of the spruce dominated catchment, while the best for the beech dominated one.

For more information see Summary at the end of the article.

**Klíčová slova:** denní průtok; bezesrážkové periody; vliv vegetace na vodní režim; lesní mikropovodí

**Key words:** daily streamflow; precipitation-free periods; vegetation influence on the hydrological regime; forest micro-watershed

### ÚVOD

Článek se zabývá hodnocením vodohospodářské účinnosti pahorkatinných lesních mikropovodí s různou dominantní dřevinou v bezesrážkových periodách. Studie byla lokalizována do tří lesních mikropovodí v oblasti Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny (ŠLP ML Křtiny). Mikropovodí byla volena tak, aby prezentovala morfologicky srovnatelná pahorkatinná povodí s dominantními lesními porosty smrkovými, bukovými a smíšenými. Studie prezentuje výsledky získané v bezesrážkových periodách pozorovaných během části vegetačního období v roce 2015.

V článku je na vodohospodářskou účinnost nahlíženo jako na schopnost lesních ekosystémů zajistit vyrovnaný průtok v korytě recipientu v periodách bez deště, resp. omezit ztráty vody v sušších obdobích. V současné době je známo, že vegetace vykazuje nejvyšší efektivitu v hospodaření s vodou právě v obdobích snížené dostupnosti vody (TROCH et al. 2009) a že v těchto podmínkách dosahuje efektivita vy-

užívání srážek své maximální hodnoty (HUXMAN et al. 2004). Současně s tím je obecně akceptováno, že v zalesněných povodích v bezesrážkových, teplých a suchých dnech dosahuje transpirace porostů prakticky 100 % celkové evapotranspirace (GRELLE et al. 1997; SCHLESINGER, JASECHKO 2014; DEUTSCHER et al. 2016). Z těchto důvodů byla v tomto článku zkoumána právě reakce průtoku, respektive množství vody v korytě recipientu, na několik dní trvající bezesrážková období. Předpokladem je, že v těchto obdobích bude možno pozorovat maximální možný vliv vegetace na průtok (GRAHAM et al. 2013; KOVÁŘ, BAČINOVÁ 2015), respektive stanovit maximální možnou míru, jakou jsou lesní porosty schopny ovlivnit vodohospodářskou účinnost celého povodí.

Lesní ekosystémy jsou v současné době ovlivňovány globální klimatickou změnou, kdy dochází ke změnám srážkových modelů napříč Evropou (BATES et al. 2008). Ve střední Evropě se očekává podstatný pokles v množství srážek v letním období (TRENBERTH et al. 2003) a zároveň je možno očekávat snížení četnosti a trvání jednotlivých sráž-

žek, což může vést k delším bezesrážkovým periodám (IPCC 2007). Mezi další dopady globální klimatické změny, a to nejen na lesní ekosystémy, patří zejména změny v délce vegetačního období, kdy ve středních zeměpisných šířkách dochází k jeho prodlužování (FRICH et al. 2002). Během posledních dvaceti let došlo ke globálnímu zvýšení teploty v průměru o 1,5 °C (ALLEN et al. 2018), což v podmínkách Evropy vedlo např. k prodloužení vegetačního období v průměru o 10–20 dní, a to zejména kvůli jeho dřívějšímu nástupu na jaře (LINDERHOLM 2006). Tyto změny s sebou nesou výrazná rizika, která rezultují až do očekávaných nápadných plošných změn v druhovém složení lesních ekosystémů s řadou přesahů do jejich hydrického režimu (ADAMS et al. 2009; TROCH et al. 2009). V hospodářských lesích Evropy, které jsou často tvořeny výrazně homogenizovanými porosty konkrétních dominantních druhů dřevin, je jednou ze základních otázek, ve snaze omezit negativní vlivy těchto změn, pochopení role jednotlivých druhů dřevin v ovlivňování vodohospodářské účinnosti povodí, na nichž se jejich porosty nacházejí (RICHTER et al. 2006; ARTHINGTON et al. 2010).

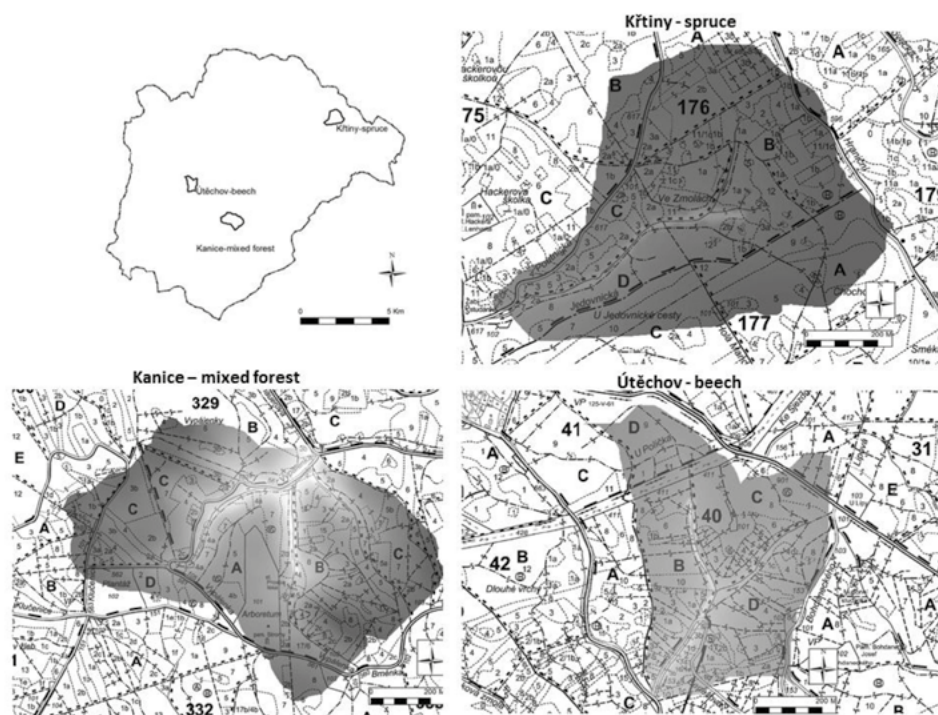
## MATERIÁL A METODIKA

Lokalitou předkládané studie je Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny (dále jen ŠLP ML), resp. tři stabilizovaná lesní mikropovodí nacházející se na jeho území (lokalizace v rámci ŠLP ML viz obr. 1). ŠLP ML Křtiny se nachází v České republice, Jihomoravském kraji, severně, severovýchodně a severozápadně od Brna. Jeho rozloha činí přibližně 11 tis ha. Geomorfologicky spadá do Českomoravské soustavy, resp. převážně do podsoustav Brněnské a Dražanské vrchoviny

(DEMEK 1987). Dotčená povodí se nachází na vyvělinách brněnského masivu, tvořených převážně granodiority, v menší míře pak kyselými granodiority (HOUSKA, BAJER 2008). Klimaticky spadá území do mírně teplé klimatické oblasti (QUITT 1975). Průměrná roční teplota se dlouhodobě pohybuje kolem 7,5 °C a průměrné roční srážky dosahují ca 610 mm (s rozložením dle výškových gradientů).

Vlastní lokalitou experimentu jsou tři zalesněná mikropovodí nazývaná dle nejbližších obcí Křtiny, Kanice a Útěchov. Při výběru těchto mikropovodí byly uvažovány tři základní předpoklady, tj. velikost, relativně stejná geomorfologie a odlišné dominantní dřeviny zastoupené v lesních porostech v každém mikropovodí. Všechna vybraná povodí mají rozlohu do 1 km<sup>2</sup> a prameny jejich recipientů jsou tvořeny povrchovými lesními prameništi bez dotace podzemních vod z hydrogeologických kolektorů. Z hlediska morfologie mikropovodí se jedná o území s mírně až středně zvlněným reliéfem a s převládající vertikální členitostí od 30 m do 150 m. Z hlediska dominance dřevin je každé mikropovodí pokryto jinou hlavní hospodářskou dřevinou (s limitací dle přírodních podmínek pahorkatiny). Mikropovodí Křtiny lze charakterizovat jako povodí s dominancí smrku ztepilého (*Picea abies*), Útěchov jako povodí s dominancí buku lesního (*Fagus sylvatica*) a Kanice jako povodí s dominancí smíšených lesních porostů (tab. 1).

Vlastní experiment byl realizován formou srovnávací analýzy vodohospodářské účinnosti povodí v bezesrážkových periodách části vegetačního období roku 2015 (7. 7. – 31. 10.) v popsáných lesních mikropovodích s různými dominantními dřevinami. Vodohospodářská účinnost byla hodnocena na základě trendové analýzy měřeného poklesu průměrných denních průtoků v závěrných profilech recipientů jednotlivých mikropovodí.



**Obr. 1.**  
Lokalizace měrných mikropovodí v rámci ŠLP ML Křtiny  
**Fig. 1.**  
The localisation of experimental micro-watersheds within the study site

Metodický postup experimentu je možné rozdělit do dvou kroků:

**1. Měření základních klimatologických dat a měření průtoků v recipientech lesních mikropovodí**

Pro měření teploty (°C) a srážkového úhrnu [mm] bylo využito klimatické stanice (AMET, Velké Bílovice, ČR) umístěné v oploceném areálu na volné ploše v nadmořské výšce 532 m n. m (GPS 49° 19' 06.9'' N, 16° 43' 49.2'' E). Data z klimatické stanice byla použita pro všechna hodnocená povodí, která se nacházejí v okruhu max. 10 km od ní. Údaje o teplotě i srážkách byly zaznamenávány v 15minutových intervalech. Měření teploty probíhalo 2 m nad zemským povrchem. Pro kontinuální stanovování průtoků v recipientech stabilizovaných lesních mikropovodí byly využity soustavy určené k měření výšek hladin v závěrném profilu recipientu, sestávající z masky Thomsonova přelivu a ponorného tlakového hladinoměrného čidla. Na základě měření výšek hladin v intervalu 15 minut a automatizovaného zápisu dataloggerem pak byly přepočítávány a zapisovány aktuální průtoky rovněž v intervalu 15 minut. Jako hladinoměrná ponorná čidla byla zvolena TSH22-3-1 v kombinaci s dataloggerem Hydro Logger H40D (Fiedler Mág, České Budějovice, ČR). Veškeré údaje byly pořizovány a jsou prezentovány ve středoevropském čase (SEČ).

**2. Zpracování dat**

Prvním krokem zpracování dat bylo vytvoření komplexní databáze denních průměrů průtoků, srážek a teplot, ve které jsou veškerá měřená data srovnána dle jedné časové osy pro každé mikropovodí. Tato databáze byla zpracována pro řešené období, tedy 7. 7. – 31. 10. 2015. Na podkladě těchto dat byla provedena identifikace několikadenních bezesrážkových období, tj. období, kdy po dobu alespoň 5 dnů nebyly naměřeny žádné srážky. Na začátku těchto období byl identifikován ustálený průtok, dosažený řádově jeden den po poslední předcházející srážce. Začátek bezesrážkové periody byl definován od maximální ranní hodnoty dosažené mezi 8:00 a 9:00 prvního dne ustáleného průtoku dosaženého řádově jeden den po poslední předcházející srážce (DEUTSCHER, KUPEC 2014) (dále jen „ustálený průtok“). Její trvání pak bylo definováno do stejné hodiny posledního dne beze srážek (mezi 8:00 a 9:00). Tímto způsobem byly v řešeném období identifikovány celkem čtyři několikadenní bezesrážkové periody (obr. 2).

Pro tyto periody byly stanoveny základní charakteristiky – délka doby trvání ve dnech, srážkový úhrn a trvání předcházejících srážek, maximální a minimální průtok a průměrná teplota (tab. 2). V těchto periodách bylo následně provedeno vyhodnocení vodohospodářské účinnosti sledovaných povodí na základě analýzy průběhů průměrných denních průtoků v každé periodě a bylo provedeno hodnocení dynamiky pozorovaných změn, zejména postupného poklesu průtoků vlivem transpiračních procesů přítomných porostů (DEUTSCHER, KUPEC 2014). Výsledné hodnocení vodohospodářské účinnosti bylo provedeno jako hodnocení reakce průtoků v recipientech lesních mikropovodí s různou dominantní dřevinou v pahorkatinách na definovaná bezesrážková období. Hodnocení reakce bylo realizováno vyjádřením prosté relativní odchylky průměrných denních průtoků na konci každé bezesrážkové periody od průměrných denních průtoků na jejím počátku. Vodohospodářská účinnost povodí je v případě tohoto článku interpretována jako relativní množství průměrného denního průtoků v recipientu mikropovodí, které je na konci období zachováno ve vztahu k průtoků na počátku období.

**VÝSLEDKY**

Výsledná data měření průtoků, zaznamenávaná v patnáctiminutových intervalech, jsou v článku prezentována v denních průměrech. Průměrný průtok během celého řešeného období dosahoval v jednotlivých povodích 0,50 l/s; 0,39 l/s a 0,44 l/s v povodí Křtiny, Útěchov a Kanice (tab. 2, obr. 2). Během sledovaného období byly pozorovány celkem čtyři několikadenní bezesrážkové periody (obr. 3). Z toho dvě proběhly ve vrcholném vegetačním období během srpna a dvě na jeho konci, v druhé polovině září a říjnu. Dvě z těchto bezesrážkových period byly dlouhé s dobou trvání cca 15 dnů, dvě byly krátké s dobou trvání cca 6 dnů (tab. 3).

Obrázky 3, 4 a 5 prezentují průběhy denních průměrů průtoků v závěrných profilech recipientů šetřených lesních mikropovodí v rámci jednotlivých bezesrážkových period v období 7. 7. – 31. 10. 2015.

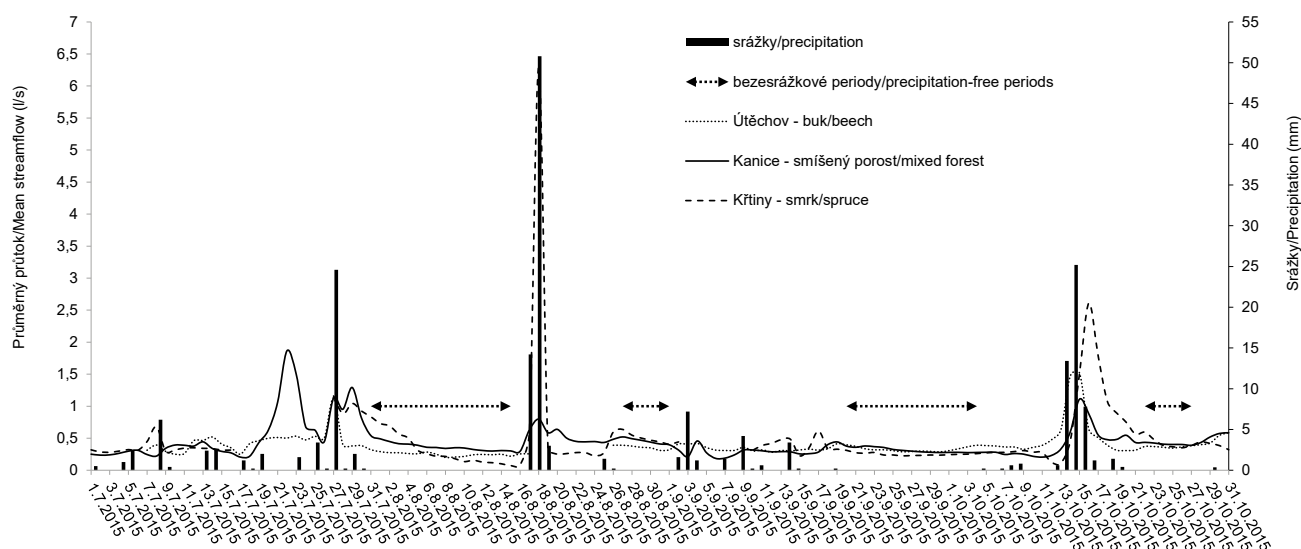
Vodohospodářskou účinnost šetřených mikropovodí jako relativní množství průměrného denního průtoků v recipientu mikropovodí, které je na konci období zachováno ve vztahu k průtoků na počátku období v jednotlivých bezesrážkových periodách, zobrazuje tab. 4.

**Tab. 1.**  
Základní charakteristiky experimentálních mikropovodí  
Basic characteristics of the experimental micro-watersheds

Základní vlastnosti povodí/ Basic catchment characteristics	Křtiny – spruce	Kanice – mixed	Útěchov – beech
Plocha/Area (ha)	57	65	38
Délka hlavního toku/Main stream length (m)	940	640	660
Maximální nadmořská výška/Maximum altitude (m)	563	371	452
Minimální nadmořská výška/Minimum altitude (m)	456	287	325
Střední nadmořská výška/Mean altitude (m)	521	341	411
Expozice/Exposure	východ/east	sever/north	jihovýchod/southeast
Průměrný sklon povodí/Mean slope (%)	21	17	38
Lesnatost/Afforestation (%)	100	98	100
Hlavní dřevina/Main tree species composition	SM56, BK49, MD5	BK29, DBZ20, BO19, HB17, MD15	BK51, MD20, SM17, DBZ12

SM – smrk/spruce, BK – buk/beech, MD – modřín/larch, HB – habr/hornbeam, DBZ – dub zimní/oak

VODOHOSPODÁŘSKÁ ÚČINNOST ZALESNĚNÝCH PAHORKATINNÝCH MIKROPOVODÍ  
S ROZDÍLNOU HLAVNÍ DŘEVINOU V BEZSRÁŽKOVÝCH PERIODÁCH



Obr. 2.

Grafický průběh denních průměrů průtoků v recipientech jednotlivých mikropovodí v kombinaci se srážkami a teplotou včetně identifikace bezsrážkových period

Fig. 2.

Hydrograph of mean daily streamflow and air temperature in the experimental micro-watersheds combined with total daily precipitation; the arrows indicate precipitation-free periods

Tab. 2.

Základní charakteristiky průměrných denních průtoků v jednotlivých mikropovodích za celé řešené období (7. 7. – 31. 10. 2015)  
Basic characteristics of mean daily streamflow in the experimental micro-watersheds for the studied period (7. 7. – 31. 10. 2015)

Experimentální povodí/Experimental micro-watershed	Křtiny – spruce		Útěchov – beech		Kanice – mixed	
	hodnota/value	datum/date	hodnota/value	datum/date	hodnota/value	datum/date
Charakteristika průtoků/Streamflow						
Minimální/Minimum Q (l/s)	0,07	15.8	0,20	8.8	0,18	3.9
Maximální/Maximum Q (l/s)	6,28	8.8	1,52	15.10	1,86	22.7
Ø průtok/mean Q (l/s)	0,50		0,39		0,44	

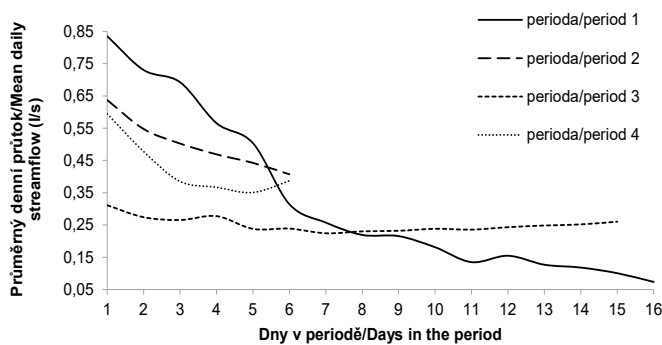
Tab. 3.

Základní charakteristiky bezsrážkových period vyskytujících se v období 7. 7. - 31. 10. 2015 v oblasti ŠLP ML Křtiny  
Basic characteristics of precipitation-free periods identified during the studied period (7. 7. – 31. 10. 2015) within the study site

Bezsrážková perioda/ Precipitation-free period	Začátek/Start	Konec/End	Doba trvání (dnů)/Duration (days)	Úhm srážek v předchá- zejícím období/Antece- dent precipitation (mm)	Počet předcházejících srážkových dní/ Duration of antecedent precipitation (days)	Průměrná teplota v pe- riodě/Mean temperature in the period (°C)
1	31.7.0	16.8	16	30,6	6	25,1
2	27.8.0	1.9	6	69,6	10	23,7
3	20.9.0	5.10	15	3,8	6	11,9
4	22.10	28.10	6	50	8	7,8

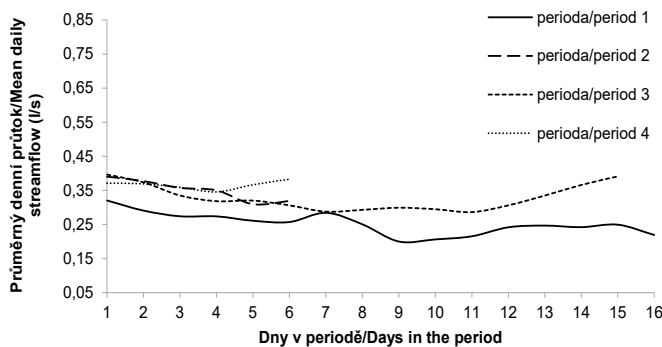
Vzhledem k výše uvedeným datům je možné vodohospodářskou účinnost jednotlivých mikropovodí v jednotlivých bezsrážkových periodách sledovaného období charakterizovat následovně:

- Období periody 1 (31. 7. – 16. 8.) je charakteristické dlouhou dobou trvání 16 dnů s předchozí šest dnů trvající srážkovou činností o průměrné intenzitě cca 5 mm za den. Perioda se nachází ve vrcholném vegetačním období s průměrnou teplotou dosahující 25,1 °C. V tomto období vykazuje největší pokles průtoků mikropovodí Křtiny (smrkové), a to až na 8 % ustáleného průtoků, naopak bukové mikropovodí Útěchov klesá v průtoků pouze na 67 % ustáleného průtoků, smíšené povodí Kanice na 63 %.



**Obr. 3.** Průběh denních průměrů průtoků v závěrném profilu recipientu lesního mikropovodí Křtiny (smrk) v bezsrážkových periodách v období 7. 7. – 31. 10. 2015

**Fig. 3.** Dynamics of mean daily streamflow at the discharge point of the forested micro-watershed Křtiny (spruce) during precipitation-free periods in the studied period (7. 7. – 31. 10. 2015)

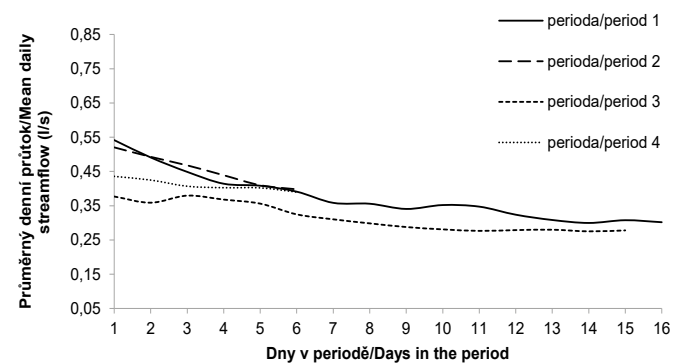


**Obr. 4.** Průběh denních průměrů průtoků v závěrném profilu recipientu lesního mikropovodí Útěchov (buk) v bezsrážkových periodách v období 7. 7. – 31. 10. 2015

**Fig. 4.** Dynamics of mean daily streamflow at the discharge point of the forested micro-watershed Útěchov (beech) during precipitation-free periods in the studied period (7. 7. – 31. 10. 2015)

- Období periody 2 (27. 8. – 1. 9.) je krátké (6 dnů) s vysokým předchozím srážkovým úhrnem a relativně intenzivními dešti po dobu deseti dnů s průměrnou intenzitou dosahující 7 mm za den. Perioda se nachází ve vrcholném vegetačním období s průměrnou teplotou 23,7 °C. I v tomto období vykazuje nejvyšší vodohospodářskou účinnost, tedy nejnižší pokles průtoků proti vyrovnané ranní hodnotě bukové mikropovodí Útěchov (drží 95 % původní hodnoty). Smíšené povodí Kanice klesá na průtoků na 72 % ustáleného průtoků, smrkové povodí Křtiny na 69 %.
- Období periody 3 (20. 9. – 5. 10.) je dlouhé (15 dnů) se slabými předchozími dešti, po dobu 6 dní, s průměrnou intenzitou pod 1 mm denně, perioda se nachází na konci vegetačního období s průměrnou teplotou dosahující 11,9 °C. Z hlediska vodohospodářské účinnosti povodí je možné v tomto období pozorovat relativně obdobnou účinnost smrkového a smíšeného mikropovodí (81 % a 86 %); v mikropovodí bukovém k poklesu nedochází.
- Období periody 4 (22. 10. – 28. 10.) je krátké (6 dnů) s relativně vyššími intenzitami předchozích dešťů po dobu 8 dní, s průměrnou intenzitou dosahující 6,3 mm za den. Perioda je situována v samém závěru vegetačního období s průměrnou teplotou pod 8 °C. Je pravděpodobné, že spolupůsobením několika faktorů, zejména z důvodu krátké doby trvání bezsrážkové periody, relativně vyššího předcházejícího srážkového úhrnu a nižších teplot brzdících transpiraci byly průtoky v bukovém a smíšeném mikropovodí (Útěchov a Kanice) relativně stabilní (100 % a 96 %), zatímco smrkové mikropovodí Křtiny vykazovalo pokles na 67 % původní hodnoty.

Z hlediska samotných mikropovodí, resp. jejich dřevinné skladby na nich se nacházejících lesních porostů lze konstatovat, že v šetřeném období vykazovalo nejvyšší vodohospodářskou účinnost povodí bukové (Útěchov). Na bezsrážkové periody mimo vegetační periodu poklesem průtoků v recipientu prakticky nereaguje, při obdobných situacích ve vegetačním období drží průtoky v krátké periodě na 95 % ustáleného průtoků, resp. na 67 % v periodě dlouhé. Vodohospodářská účinnost smíšeného mikropovodí (Kanice) byla rovněž relativně vysoká, v daných podmínkách vyšší než účinnost povodí smrkové-



**Obr. 5.** Průběh denních průměrů průtoků v závěrném profilu recipientu lesního mikropovodí Kanice (smíšený porost) v bezsrážkových periodách v období 7. 7. – 31. 10. 2015

**Fig. 5.** The dynamics of mean daily streamflow at the discharge point of the forested micro-watershed Kanice (mixed forest) during precipitation-free periods in the studied period (7. 7. – 31. 10. 2015)

ho, ale nedosahuje účinnosti mikropovodí bukoveho. Reakce průtoků v recipientu na bezesrážkové periody je v čase proporčně shodná s mikropovodím bukovým s tím, že jeho vodohospodářská účinnost je vždy o několik procent nižší. Smrkové mikropovodí (Křtiny) vykazuje v podmínkách pahorkatiny relativně nejnižší vodohospodářskou účinnost. V krátkých bezesrážkových periodách drží vodohospodářskou účinnost na cca 70 % bez ohledu na to, jestli jsou tyto ve vegetačním období či mimo ně. Dobrou vodohospodářskou účinnost vykazuje rovněž v dlouhé bezesrážkové periodě mimo vegetační období. Dramatický pokles na průtocích ovšem nastává v případě tohoto mikropovodí v dlouhé bezesrážkové periodě ve vegetačním období v poklesu vodohospodářské účinnosti až pod 10 %. Zde je třeba upozornit na fakt, že k výraznému poklesu v průtocích dochází přibližně mezi pátým a šestým dnem bezesrážkového období (zlom mezi krátkou a dlouhou periodou) – viz obr. 3.

Výše uvedené výsledky naznačují, že: (1) vodohospodářská účinnost pahorkatinných lesních mikropovodí v bezesrážkových periodách vrcholného vegetačního období je velmi rozdílná v případě různých druhů dřevin v lesních porostech, které je pokrývají; (2) na konci vegetačního období a mimo vegetační období je vodohospodářská účinnost smrkového a bukoveho (resp. smíšeného) lesního mikropovodí v daných podmínkách (pahorkatina střední Evropy) vysoká; (3) ve vrcholném vegetačním období je vodohospodářská účinnost lesních mikropovodí v pahorkatině výrazně závislá na délce období beze srážek, v dlouhé bezesrážkové periodě drží bukové a smíšené mikropovodí relativně vysokou vodohospodářskou účinnost; zatímco vodohospodářská účinnost smrkového mikropovodí klesá pod 10 % ustáleného průtoku; (4) dramatický pokles průtoků v recipientu pahorkatinného smrkového mikropovodí v dlouhé bezesrážkové periodě vrcholného vegetačního období determinuje jednak snížení zásoby vody v prostředí pro příští období, jednak dále neefektivní hospodaření s vodou v celém krajinném systému.

## DISKUSE

Výsledky uvedené v předloženém článku poukazují na problematiku vodohospodářské účinnosti produkčních lesů v pahorkatinách ve vztahu k nejčastěji využívaným produkčním dřevinám v těchto oblastech (smrk, buk, smíšené porosty). Během bezesrážkových period ve vegetačním období byl pozorován výrazný rozdíl mezi vodohospodářskou účinností porostů bukových a porostů smrkových

ve prospěch buku, resp. smíšených porostů. Vodohospodářská účinnost povodí byla hodnocena jako vyjádření prosté relativní odchylky (poklesu) průtoku v každé bezesrážkové periodě vztaheně k průtoku na jejím počátku. Pro správnou interpretaci našich výsledků je nutné odlišovat vodohospodářskou účinnost vegetace P-WUE (plant water use efficiency) pro úroveň jednotlivých dřevin a vodohospodářskou účinnost na úrovni celého povodí C-WUE (water use efficiency at the catchment scale). Čím vyšších hodnot P-WUE dosahuje, tím méně vody rostlina spotřebuje na zajištění svého růstu (BINKLEY et al. 2004). Ve vztahu k C-WUE, tak jak je s ní pracováno v tomto článku, tedy omezení vodních ztrát v bezesrážkových periodách, a to v obdobích maximálních dosahovaných hodnot P-WUE (HUXMAN et al. 2004), je zásadní právě schopnost rostlin navyšovat v těchto podmínkách dosahovanou P-WUE (TROCH et al. 2009), neboť pokud rostliny využívají vodu efektivně, pak nedochází k tak vysokým ztrátám vody z povodí. Naše výsledky hodnocení C-WUE nepřímou ukáží, že nejvyšších P-WUE v těchto podmínkách dosahovaly porosty bukové, což je pravděpodobně způsobeno zejména základní ekofyziologií buku, který je hluboko kořenící listnatou dřevinou. Nejnižších hodnot dosahovaly porosty smrkové, zejména v delších bezesrážkových obdobích během vegetačního období. Tím se prakticky ukazuje, že vodohospodářská účinnost monokulturních (monocenotických) porostů smrku v pahorkatinách střední Evropy je zejména z důvodu nízkého P-WUE smrku v těchto podmínkách velmi omezená. Naopak v horských oblastech střední Evropy je smrk považován za dřevinu s velmi pozitivním vlivem na C-WUE (např. KANTOR, ŠACH 2002).

Významnou otázkou zůstává vliv globální klimatické změny na P-WUE a jeho vztah k průtoku. Vliv klimatické změny na P-WUE se očekává převážně jako negativní vlivem zvyšující se koncentrace CO<sub>2</sub>, která omezuje transpiraci a vodivost průduchů (HASPER et al. 2016), což by mělo způsobit zvýšení průtoků v zalesněných povodích. Současně s tím se ale očekává zvýšení teploty a prodloužení vegetačního období, což na druhou stranu může způsobit zvýšení evapotranspirace, a naopak výsledně snížení průtoků. Dle některých scénářů (BEERLING 1999) je možno při zvýšení P-WUE dokonce očekávat jejich zvýšení. V současné době není znám obecně platný scénář, nicméně některé výsledky naznačují, že se oba protichůdné efekty mohou navzájem vyrušit a k výrazným změnám průtoků nedojde (HASPER et al. 2016), což do budoucna přidává těmto výsledkům na relevanci, zejména co se týká role smrku a buku v hospodaření s vodou v pahorkatinných oblastech.

Tab. 4.

Vodohospodářská účinnost lesních mikropovodí s různou dominantní dřevinou v bezesrážkových periodách období 7. 7. – 31. 10. 2015  
Water use efficiency of the forested micro-watersheds with different dominant tree species during precipitation-free periods in the studied period (7. 7. – 31. 10. 2015)

Bezsrážková perioda/ Precipitation-free period	Křtiny – spruce		Útěchov – beech		Kanice – mixed	
	Průměrný denní průtok v periodě/ Mean daily streamflow during the period (l/s)	Vodohosp. účinnost v periodě/Water use efficiency during the period (%)	Průměrný denní průtok v periodě/ Mean daily streamflow during the period (l/s)	Vodohosp. účinnost v periodě/Water use efficiency during the period (%)	Průměrný denní průtok v periodě/ Mean daily streamflow during the period (l/s)	Vodohosp. účinnost v periodě/Water use efficiency during the period (%)
1	0,33	8	0,25	67	0,37	63
2	0,5	69	0,35	95	0,45	72
3	0,25	81	0,33	100	0,32	86
4	0,43	67	0,37	100	0,41	96

**Poděkování:**

Článek byl realizován s podporou projektu QK1810415 „Vliv dřevinné skladby a struktury lesních porostů na mikroklima a hydrologické poměry v krajině“ a „Posilování a rozvoj tvůrčí činnosti na LDF MENDELU tvorbou post-doc pozic“ – úkol 7.1 Institucionálního plánu MENDELU 2019–2020.

**LITERATURA**

- ADAMS H.D., GUARDIOLA-CLARAMONTE M., BARRON-GAFFORD G.A., VILLEGAS J.C., BRESHEARS D.D., ZOU C.B., TROCH P.A., HUXMAN T.E. 2009. Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106 (17): 7063–7066.
- ALLEN M.R., DUBE O.P., SOLECKI W., ARAGÓN-DURAND F., CRAMER W., HUMPHREYS S., KAINUMA M., KALA J., MAHOWALD N., MULUGETTA Y., PEREZ R., WAIRIU M., ZICKFELD K. 2018. Framing and Context. In: Masson-Delmotte, V. et al. (eds.): *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Genf, World Meteorological Organization: 49–91. Dostupné na/Available on: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_Chapter1\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf)
- 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.
- BATES B.C., KUNDZEWICZ Z.W., WU S., PALUTIKOF J.P. (eds.) 2008. *Climate change and water*. Geneva, IPCC: 200 s. IPCC Technical Paper.
- BEERLING D.J. 1999. Long-term responses of boreal vegetation to global change: an experimental and modelling investigation. *Global Change Biology*, 5:55–74
- BINKLEY D., STAPE J.L., RYAN M.G. 2004. Thinking about efficiency of resource use in forests. *Forest Ecology and Management*, 193: 5–16. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.01.019
- DEMEK J. 1987. *Obecná geomorfologie*. Praha, Academia: 476 s.
- 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
- DEUTSCHER J., KUPEC P., DUNDEK P., HOLÍK L., MACHALA M., URBAN J. 2016. Diurnal dynamics of streamflow in an upland forested micro-watershed during short precipitation-free periods is altered by tree sap flow. *Hydrological Processes*, 30: 2042–2049. DOI: 10.1002/hyp.10771.
- FRICH P., ALEXANDER L.V., DELLA-MARTA P., GLEASON, B., HAYLOCK M., KLEIN TANK A.M.G., PETERSON T. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the 20th century. *Climate Research*, 19, 193–212. DOI: 10.3354/cr019193
- GRAHAM C.B., BARNARD H.R., KAVANAGH K.L., MCNAMARA J P. 2013. Catchment scale controls the temporal connection of transpiration and diel fluctuations in streamflow. *Hydrological Processes*, 27: 2541–2556. DOI: 10.1002/Hyp.9334
- GRELLE A, LUNDBERG A, LINDROTH A, MOREN A.S, CIENCIALA E. 1997. Evaporation components of a boreal forest: variations during the growing season. *Journal of Hydrology*, 197: 70–87. DOI: 10.1016/S0022-1694(96)03267-2
- HASPER T.B., WALLIN G., LAMBA S., HALL M., JARAMILLO F., LAUDON H., LINDER S., MEDHURST J.L., RÄNTFORS M., SIGURDSSON B.D., UDDLING J. 2016. Water use by Swedish boreal forests in a changing climate. *Functional Ecology*, 30: 690–699. DOI: 10.1111/1365-2435.12546
- HOUŠKA J., BAJER A. 2008. Aplikovaná geologická mapa ŠLP Masarykův les Křtiny. Geologická mapa aplikovaná na podkladu základní mapy lesnické. 1 : 20 000. Brno, Mendelova univerzita v Brně: [1 mapa]. Dostupné na/Available on: [https://ldf.mendelu.cz/ugp/wp-content/ugp-files/presentace/06-mapy/mapy\\_soubory/SLP\\_Geomap\\_25proc.jpg](https://ldf.mendelu.cz/ugp/wp-content/ugp-files/presentace/06-mapy/mapy_soubory/SLP_Geomap_25proc.jpg)
- HUXMAN T.E., SMITH M.D., FAY P.A., KNAPP A.K., SHAW M.R., LOIK M.E., SMITH S.D., TISSUE D.T., ZAK J.C., WELTZIN J.F., POCKMAN W.T., SALA O.E., HADDAD B.M., HARTE J., KOCH G.W., SCHWINNING S., SMALL E.E., WILLIAMS D.G. 2004. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. *Nature (London)*, 429:651–654. DOI: 10.1038/nature02561
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007. The physical science basis, contribution of WG 1 to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, Cambridge University Press: 1056.
- KANTOR P., ŠACH F. 2002. Možnosti lesů při tlumení povodní. *Lesnická práce*, 81: 493–495.
- 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.
- LINDERHOLM H.W. 2006. Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137: 1–14. DOI: 10.1016/j.agrformet.2006.03.006
- QUITT E. 1975. *Klimatické oblasti ČSR*. Brno, Geografický ústav ČSAV: [mapa]
- 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.
- SCHLESINGER W.H, JASECHKO S. 2014. Transpiration in the global water cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189–190: 115–117. DOI: /10.1016/j.agrformet.2014.01.011
- TRENBERTH K.E., DAI A., RASMUSSEN R.M., PARSONS D.B. 2003. The changing character of precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, 1205–1217.
- TROCH P.A., MARTINEZ G.F., PAUWELS V.R.N., DURCIK M., SIVAPALAN M., HARMAN C., BROOKS P.D., GUPTA H., HUXMAN T. 2009. Climate and vegetation water use efficiency at catchment scales. *Hydrological Processes*, 23: 2409–2414. DOI: 10.1002/hyp.7358

## WATER USE EFFICIENCY OF FORESTED UPLAND MICRO-WATERSHEDS AS AFFECTED BY THE DOMINANT TREE SPECIES COMPOSITION

### SUMMARY

The article presents comparative analysis of water use efficiency (WUE) of three forested micro-watersheds located in the area of Forest Training Enterprise Masarykův Les Křtiny, Czech Republic. WUE was analyzed in several days lasting precipitation-free periods during a part of the 2015 growing season. The microwatersheds can be characterized as forested upland watersheds of relatively equal morphology with different tree species composition (different dominant tree species with more than 50%). These micro-watersheds were named according to the closest municipalities: Křtiny – spruce (*Picea abies*), Útěchov – beech (*Fagus sylvatica*) and Kanice – mixed (five tree species; none of them with over 30%), see Fig. 1. Water use efficiency was evaluated as the mean decrease of average daily streamflow in the discharge profile of the catchment recipients occurred during precipitation-free periods lasting several days. At this time, the streamflow dynamics is influenced the most by the evapotranspiration of surrounding vegetation, and its effect on streamflow can be best observed. Four such precipitation-free periods were identified during the study period; two of them within the middle of growing season and the other two at the end. Two of the precipitation-free periods were characterized as long lasting (more than 15 days), the other two were of short duration (not longer than 6 days), see Fig. 2 and Tab. 3.

Regarding the tree species composition, it could be concluded that the beech-dominated stand exhibited the highest value of WUE (Fig. 3, 4 and 5; Tab. 4). There was practically no decreased stream flow as a reaction to the precipitation-free periods at the end of the growing season (WUE almost 100%). During the middle part of the growing season, WUE was still the highest reaching 95% in the short precipitation-free period, and 67% in the long one.

WUE was a few percent points lower (10% on average) in the mixed forest stands as compared to the previously discussed beech dominated stand. However, the dynamics of the recipient stream flow changes corresponded to it while being proportionally lower.

The spruce dominated watershed Křtiny exhibited the lowest WUE relative to beech and mixed forest ones. WUE was maintained at around 70% in the short precipitation-free periods with no regard to the part of the growing season. It also exhibited good WUE during the long-lasting precipitation-free period at the end of growing season (81%). However, a dramatic stream flow decrease occurred in the long-lasting precipitation-free period during the middle of the growing season. WUE decreased to less than 10% in this period. It is necessary to mention that the fastest stream flow decline was observed approximately until the 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> day of the precipitation-free period (see Fig. 5), which in fact means the break between the short- and long-lasting precipitation-free period.

The results of this experiment can be summarized in several general conclusions:

- (1) WUE of upland micro-watersheds in precipitation-free periods during the middle of the growing season can be very different regarding to the dominant tree species.
- (2) WUE of all observed catchments – spruce-dominated and beech-dominated as well as mixed – was high at the end of growing season.
- (3) WUE in precipitation-free periods during the middle of the growing season was affected on the length of the precipitation-free period; however, beech-dominated and mixed watersheds maintained much higher WUE when compared to the spruce-dominated one.
- (4) The extreme decrease in WUE exhibited by the spruce-dominated watershed in the long lasting precipitation-free period during the middle of the growing season indicates a severe depletion of the water supply as well as the ineffective water management within the whole landscape system.

Zasláno/Received: 29. 12. 2018

Přijato do tisku/Accepted: 25. 03. 2019