

Ústav inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny,

Lesnická a dřevařská fakulta,

Mendelova univerzita v Brně

SROVNÁVACÍ ANALÝZA TRENDŮ PRŮTOKŮ RECIPIENTŮ LESNÍCH MIKROPOVODÍ V SUCHÝCH (BEZESRÁŽKOVÝCH) PERIODÁCH V OBDOBÍ 7.7. - 31.10. 2015

Kupec Petr, Deutscher Jan, Školoud Libor

Realizováno v rámci projektu EHP-CZ02-OV-1-019-2014

FRAMEADAPT Rámce a možnosti lesnických adaptačních opatření a strategií souvisejících se změnami klimatu

Výstup aktivity 3: **Lokální dopadové studie**

Název programu:

CZ02 – Biodiverzita a ekosystémové služby / Monitorování a integrované plánování a kontrola v životním prostředí / Adaptace na změnu klimatu

Programová oblast:

PA 7 – Adaptace na změnu klimatu

Zprostředkovatel programu: Ministerstvo financí České republiky

Partner programu: Ministerstvo životního prostředí



Podpořeno grantem z Islandu, Lichtenštejska a Norska.

Supported by grant from Iceland, Liechtenstein and Norway

ÚVOD

Předložená studie se zabývá hodnocením trendů průtoků v recipientech lesních mikropovodí s různou dominantní dřevinou v pahorkatinách v bezesrážkových periodách. Studie je lokalizována do čtyř lesních mikropovodí v oblasti Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny. Mikropovodí byla volena tak, aby prezentovala morfologicky srovnatelná pahorkatinná povodí s dominantními lesními porosty smrkovými, bukovými, dubovými a smíšenými. Studie prezentuje výsledky získané v období 7.7. - 31.10. 2015.

Lesní ekosystémy jsou v současné době ovlivňovány globální klimatickou změnou, současně s tím roste i poptávka po kvalitní pitné vodě a obecně po významnějším využívání lesních ekosystémových účinků a očekává se, že lesní ekosystémy budou hrát významnou roli právě v omezování vlivu dopadů globální klimatické změny na stabilitu evropské krajiny (Sun et al., 2008; Vörösmarty et al., 2010). Obecně dochází ke změnám srážkových modelů napříč Evropou (Bates et al., 2008). Podstatný pokles srážek se očekává v letním období v Centrální Evropě (Trenberth et al., 2003) a zároveň je možno očekávat snížení četnosti a trvání jednotlivých srážek což může vést k delším obdobím sucha mezi srážkami (IPCC, 2007). Oteplování atmosféry dále zvyšuje deficit vodních par v atmosféře. V oblastech s dostatkem vody dochází ke zvýšení evapotranspirace. V kombinaci s menší intenzitou srážek se zvětšuje riziko snižování půdní vlhkosti (Bates et al., 2008).

Mezi další dopady globální klimatické změny nejen na lesní ekosystémy patří zejména změny v délce vegetačního období, kdy ve středních zeměpisných šířkách dochází k jeho prodloužení (Frich et al., 2002). Jinými slovy dochází ke zvyšování minimální denní teploty a ubývání tzv. mrazových dnů. Během posledních dvaceti let došlo v těchto podmínkách k prodloužení vegetačního období v průměru o 10 - 20 dní a to zejména kvůli jeho dřívějšímu nástupu na jaře (Linderholm, 2006). Tyto změny sebou nesou i výrazná rizika. Přestože změna klimatu může prodloužit vegetační období zejména dřívějším jarním nástupem, je zde riziko pro ekosystémy ve vyšších nadmořských výškách. Rostliny začnou reagovat na nástup vyšších teplot, přičemž může dojít k návratu mrazivých dní, což může mít za následek chřadnutí i umírání porostů (Bokhorst et al., 2008). Ve světle těchto poznatků je zřejmé, že i lesní ekosystémy v ČR budou nuceny na tyto změny reagovat. Dynamika vodního režimu se jeví jako klíčová proměnná, která určuje disturbanci a produktivitu ekosystému (Bates et al., 2008).

Celosvětově dlouhodobě využívanou výzkumnou metodou pro hodnocení vlivu lesního hospodaření na odtoky z povodí jsou experimenty v lesních mikropovodích (Hibbert, 1967; Bosch a Hewlett, 1981; Brown et al., 2005; Varhola et al., 2010 a Hrachowitz et al., 2013). Metodicky je pro vyhodnocování uvedených změn často využíváno tzv. komparativních povodí s obdobnými přírodními podmínkami a rozměry, ovšem s odlišným vegetačním krytem, s tím, že hlavní podstatou dosud prováděných experimentů byly zejména různé typy lesnických zásahů - zalesňování, odlesňování, obnova a převody (Brown et al., 2005). Hodnocení průtoků v korytech drobných vodních toků je však také významnou metodou pro hodnocení celkového stavu povodí i hodnocení dopadů klimatické změny na tyto ekosystémy (Richter et al., 2006; Arthington et al. 2010). V ČR jsou tyto experimenty tradičně soustředěny zejména do horských oblastí v Krkonoších, Beskydech, na Šumavě atd. Tato pozorování jsou často dlouhodobá (20 a více let), což umožňuje vyhodnocování vlivu lesnických zásahů v porostech na celková odtoková množství i určité predikce vývoje právě dopadů klimatické změny na hydrologii těchto oblastí (Mráz et al., 1990; Tesař et al., 1992; Kantor, 1995; Švihla, 2001; Šanda et al., 2006, 2009; Švihla, Černohous a Šach 2010 a 2015; Kulášová et al. 2014; Kovář a Bačínová, 2015 a další) případně na dynamiku výskytu kritických prvků, jako je síra a dusík (Fottová a Skořepová, 1998;

Fottová, 2003). Mimo horské oblasti, které mají oproti pahorkatinám specifickou hydrologii, jsou výsledky publikovány spíše zřídka (Deutscher a Kupec, 2014; Deutscher et al., 2016). Ve střední Evropě se jedná například o práce z Maďarska (Gribovszki et al., 2008; Szilagyi et al., 2008; Mátyás a Sun, 2014) a u nás pak zejména práce z výsledků monitorovací sítě malých povodí GEOMON (Lamačová et al., 2014).

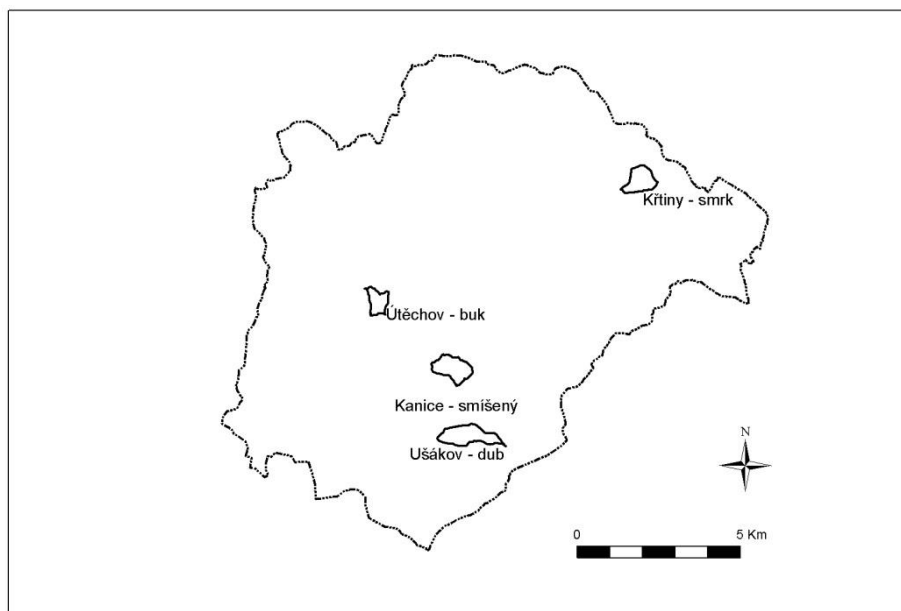
Průtok v korytě vodního toku je ovlivňován celou řadou faktorů. Zejména se jedná o dlouhodobě stabilní abiotické podmínky (sklonitost svahů, reliéf terénu, pedologické a geologické podmínky). V případě lesních porostů lze k těmto neměnným podmínkám zařadit i jejich relativně dlouhodobě stabilní vegetační kryt (Deutscher a Kupec, 2014). Aktuální průtok v korytě je pak výsledkem kombinace zmiňovaných dlouhodobých abiotických faktorů a dynamicky se měnících zejména klimatických podmínek. Z hlediska hydrologické bilance lesních povodí je potom nejdůležitějším faktorem transpirace porostů, která v průměru tvoří přibližně 61 % celkové evapotranspirace (Schlesinger a Jasechko, 2014). Během vegetačního období, kdy stromy transpirují nejvíce a zejména pak během slunečných dní je celková evapotranspirace tvořena prakticky výlučně transpirací porostů (Grelle et al., 1997). Výrazné transpirační procesy lesních porostů, respektive jejich denní dynamika jsou zásadním faktorem, který ovlivňuje průtok v korytě během dne (Deutscher et al., 2016). To má za následek někdy i velmi výrazné vnitrodenní poklesy průtoku v závislosti právě na intenzitě transpiračního procesu dřevin. U mnoha vodních toků je toto vnitrodenní kolísání velmi výrazné a tvoří zásadní část celkové variability průtoku a jeho hodnocení může být využíváno pro evaluaci zásadní odtokových procesů a hydrologické bilance povodí. V pahorkatinných oblastech ČR a střední Evropy, kde je množství vody ve vodních tocích zásadně ovlivňováno evapotranspiračními a infiltračními procesy vykazují toky nejvýraznější vnitrodenní výkyvy během letních měsíců, kdy je v korytě nejméně vody. Vnitrodenní výkyvy způsobené transpiračními procesy porostů v těchto podmínkách tvoří výraznou část celkového odtoku (Scott and Smith, 1997; Lundquist and Cayan, 2002; Gribovszki et al., 2008; Graham et al., 2013). Obecně lze v pahorkatinách v podmínkách ČR popsat dynamiku vnitrodenního průtoku tak, že svého maxima dosahuje v ranních hodinách, mezi 8:00 - 9:00, tedy před začátkem intenzivních transpiračních procesů, následuje pokles průtoku, který trvá celý den až do odpoledních hodin. Zejména v závislosti na vegetačním krytu pak během noci dochází buď ke stagnaci, či pozvolnému nárůstu průtoku až zpět na původní ranní hodnotu předešlého dne (Deutscher a Kupec, 2014). Poměrové množství denního poklesu k maximální ranní hodnotě průtoku lze trendově vyjádřit a použít tak pro porovnání jeho intenzity. Intenzita denního poklesu pak může být ve výše popsaných podmínkách bezesrážkových period vegetačního období, kdy je průtok v korytě ovlivňován zejména transpiračními procesy, přímo vztažena ke schopnosti vegetace omezovat ztráty z povodí a nepřímo pak k celkové hydrologicko-ekologické stabilitě řešených území.

Ve světle výše uvedených poznatků byl experiment koncipován jako komparativní analýza čtyř zalesněných experimentálních povodí s podobnými abiotickými podmínkami a s odlišnou hlavní hospodářskou dřevinou (viz metodika níže) tak, aby bylo možno případné pozorované rozdíly v odtokových poměrech vztáhnout právě k vegetačnímu krytu, respektive k ekosystémovým účinkům porostů tvořených danou hlavní dřevinou. Hodnoceny byly výhradě bezesrážkové periody v nichž, jak bylo uvedeno výše, jsou změny v dynamice průtoku poměrově nejvýraznější a tedy nejlépe pozorovatelné a současně jsou způsobovány prakticky výlučně transpiračními procesy porostů. Z těchto důvodů se tento přístup pro hodnocení odtokových poměrů jeví jako dobře interpretovatelný.

MATERIÁL A METODY

Lokalita

Lokalitou případové studie je Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny (dále jen ŠLP ML), resp. 4 stabilizovaná lesní mikropovodí nacházející se na jeho území (lokalizace v rámci ŠLP ML viz obrázek č. 1).



Obrázek č. 1: Lokalizace měrných mikropovodí v rámci ŠLP ML

ŠLP ML Křtiny se nachází v Jihomoravském kraji, severně, severovýchodně a severozápadně od Brna. Jeho rozloha činí přibližně 10 tis ha.

Geomorfologicky spadá ŠLP ML do Českomoravské soustavy, resp. převážně do podsoustav Brněnské a Dražanské vrchoviny (Demek, 1987). Geologická stavba je velmi pestrá. Území můžeme rozdělit do 3 hlavních geologických jednotek. Západní a velkou část jižní části tvoří vyvřeliny brněnského masivu, tvořené převážně granodiority, v menší míře pak kyselými granodiority (tonality). Střední část a menší území v jižní části tvoří především vápence devonského až karbonského stáří. Východní část pak horniny moravského kulmu, zejména droby a jílovité břidlice. Plošně méně rozšířené jsou mladší pokryvné útvary, hlavně druhohorní, jurské a křídové sedimenty, v menší míře pak neogenní štěrky, štěrkopísky a čtvrtohorní spraše a sprašové hlíny (Bajer A. a kol. 2008).

Klimaticky spadá většina území do mírně teplých klimatických oblastí od nejteplejší MT 11 na jihu, přes MT 10, MT 9, MT 5, po nejchladnější MT 3 (Quitt, 1975). Průměrná roční teplota se dlouhodobě pohybuje kolem 7,5 °C a průměrné roční srážky se pohybují kolem 610 mm (s rozložením dle výškových gradientů). Hydrologicky spadá celé území do povodí řeky Svitavy, jejímž nejvýznamnějším přítokem v oblasti je Křtinský potok.

Typologicky se území ŠLP ML rozkládá v rozmezí čtyř lesních vegetačních stupňů, z nichž dominantní jsou 3. dubobukový a 4. bukový. Z hlediska ekologických řad jsou zastoupeny prakticky všechny, dominance je na řadě kyselé a živné. Na území ŠLP převažují smíšené lesní porosty, zastoupení

jehličnatých a listnatých dřevin je prakticky vyrovnané s mírným přesahem ve prospěch listnatých dřevin.

Vlastní lokalitou experimentu jsou (jak bylo uvedeno výše) čtyři zalesněná mikropovodí, Křtiny, Kanice, Útěchov a Ušákov. Při výběru těchto mikropovodí, byly uvažovány tři základní předpoklady, tj. velikost, relativně stejná geomorfologie a různé dominantní dřeviny zastoupené v lesních porostech v každém mikropovodí.

Mikropovodí jsou povodími drobných vodních toků, kdy k jejich klasifikaci můžeme využít rozdělení podle velikosti dle (Mácy, Nechvátala a kol. 2008), kteří dělí povodí: mikro povodí (elementární odtokové plochy), velmi malá povodí (rozloha do 10 km²), středně malá povodí (rozloha do 80 km²) a malá povodí (rozloha nad 80 km²). Všechna vybraná povodí mají rozlohu do 1 km².

Z hlediska morfologie mikropovodí bylo snahou vybrat území s mírně až středně zvlněným reliéfem a s převládající vertikální členitostí od 30 do 150 m. Geomorfologicky lze hovořit o pahorkatinné oblasti typické pro Českomoravskou subprovincii.

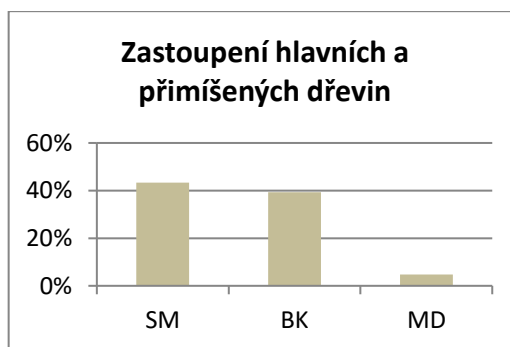
Z hlediska dominance dřevin bylo snahou stabilizovat lesní mikropovodí s dominancí vždy jiné dřeviny (s limitací dle přírodních podmínek pahorkatiny). Pro popis dominance dřevin v dřevinné skladbě byla využita následující klasifikace: dřeviny hlavní relativně zastoupeny více než 40 %, přimíšené 10% - 30% a vtroušené do 10%. Tak byla volena mikropovodí Křtiny jako povodí s dominancí smrku, Útěchov s dominancí buku, Ušákov s dominancí dubu a konečně Kanice jako referenční povodí s dominancí smíšených lesních porostů.

Mikropovodí Křtiny

Jedná se o povodí s plochou 57 ha. Z hodnocených povodí se nachází v nejvyšší nadmořské výšce s maximem 563 m n. m. Střední nadmořská výška je 521 m n. m. Povodí je orientováno východním směrem a jeho průměrný sklon je 21 %. Nejvíce zastoupenou dřevinou je zde smrk. Základní charakteristiky mikropovodí prezentuje tabulka č. 1, zastoupení dřevin obrázek č. 2, situaci a zjednodušený digitální model terénu nad lesnickou mapou obrysou obrázek č. 3.

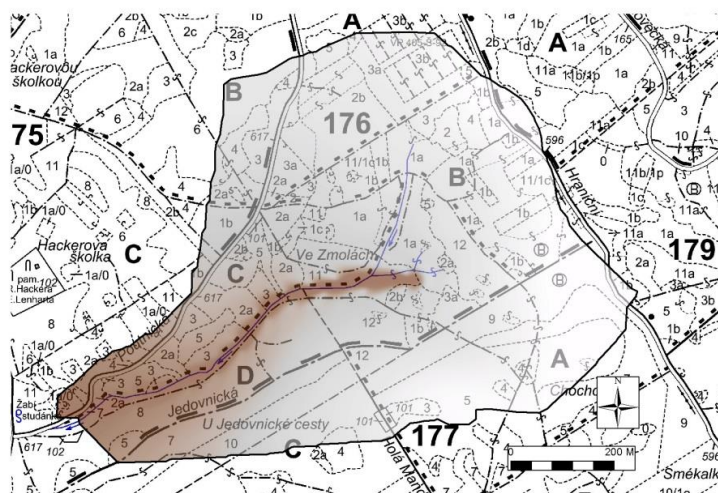
Tabulka č. 1: Základní charakteristiky mikropovodí Křtiny

Základní vlastnosti povodí	Křtiny
Plocha (ha)	57
Délka hlavního toku (m)	940
Maximální nadmořská výška (m n m)	563
Minimální nadmořská výška (m n m)	456
Střední nadmořská výška (m n m)	521
Expozice	východ
Průměrný sklon povodí (%)	21
Lesnatost (%)	100
Hlavní dřevina	smrk



Obrázek č. 2: Zastoupení dřevin v mikropovodí Křtiny

Ve 4 odděleních je zde 52 lesních porostních skupin. Porostní skupiny starší 50-ti let jsou zde zastoupeny 30,8 %. Porostů do sedmi let věku je zde 7. Převážně se jedná o porosty s plným zakmeněním a dokonalým zápojem. V povodí je zastoupeno 13 různých hospodářských dřevin v různých směsných formách.



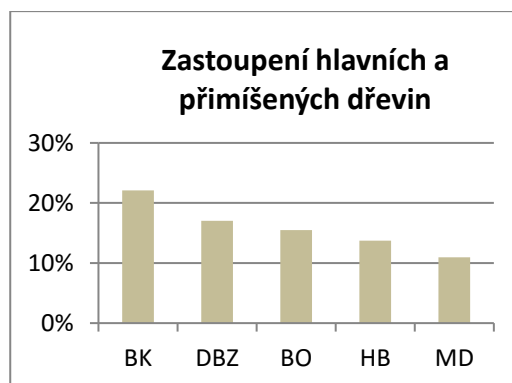
Obrázek č. 3: Křtiny - situace a zjednodušený digitální model terénu nad lesnickou mapou obrysovou

Mikropovodí Kanice

Jedná se o povodí s plochou 65 ha. Střední nadmořská výška je 341 m n. m. Z hodnocených povodí má nejrozvětvenější říční síť vidlicovitého tvaru tvořenou dvěma obdobně dominantními toky. Povodí je orientováno severním směrem a jeho průměrný sklon je 17 %. Lesní porosty jsou zde smíšené, kde zastoupení žádné dřeviny výrazně nepřesahuje 20 %. Základní charakteristiky mikropovodí prezentuje tabulka č. 2, zastoupení dřevin obrázek č. 4, situaci a zjednodušený digitální model terénu nad lesnickou mapou obrysovou obrázek č. 5.

Tabulka č. 2: Základní charakteristiky mikropovodí Kanice

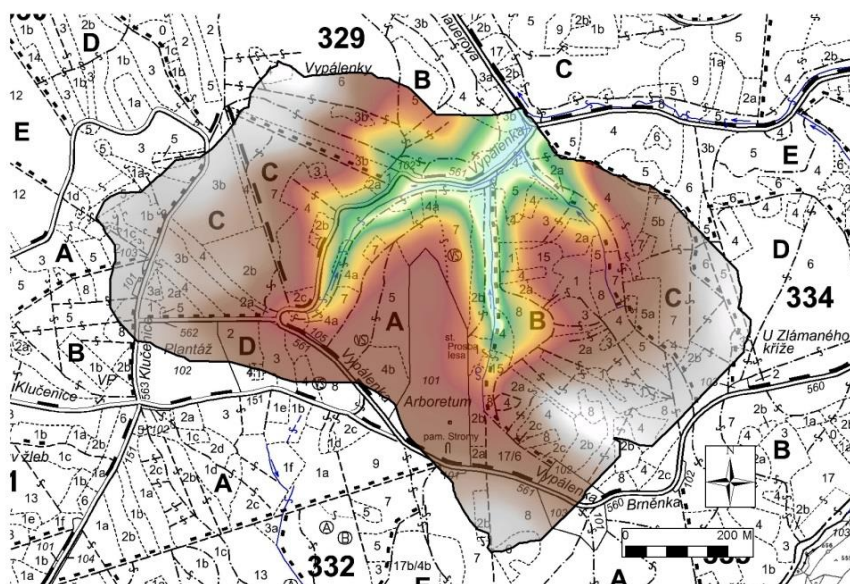
Základní vlastnosti povodí	Kanice
Plocha (ha)	65
Délka hlavního toku (m)	640
Maximální nadmořská výška (m n m)	371
Minimální nadmořská výška (m n m)	287
Střední nadmořská výška (m n m)	341
Expozice	sever
Průměrný sklon povodí (%)	17
Lesnatost (%)	98
Hlavní dřevina	smíšený les



Obrázek č. 4: Zastoupení dřevin v mikropovodí Kanice

Je zde zastoupeno 53 lesních porostních skupin rozdělených do 4 oddělení. Porostních skupin se stářím 50 let a více je zde zastoupeno 22,6 %. Porosty do sedmi let věku (včetně) jsou zde pouze 3. Převážně se jedná o porosty s plným zakmeněním a dokonalým zápojem. V povodí je zastoupeno 16 různých hospodářských dřevin v různých směsných formách.

Obrázek č. 5: Kanice - situace a zjednodušený digitální model terénu nad lesnickou mapou obrysovou

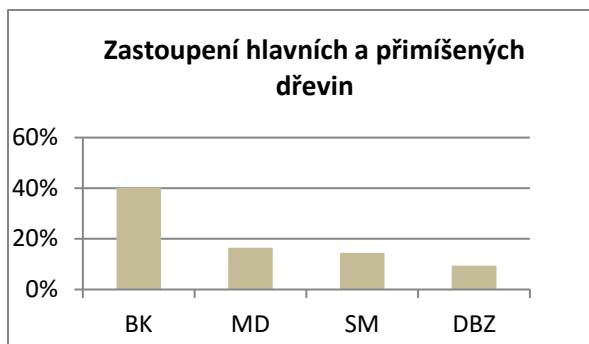


Mikropovodí Útěchov

Toto povodí je se svými 38 ha nejmenší z posuzovaných. Nachází se ve střední nadmořské výšce 411 m n. m. Jedná se o povodí s jihovýchodní expozicí a největším průměrným sklonem dosahujícím 38%. Hlavní dřevinou je zde buk. Základní charakteristiky mikropovodí prezentuje tabulka č. 3, zastoupení dřevin obrázek č. 6, situaci a zjednodušený digitální model terénu nad lesnickou mapou obrysovou obrázek č. 7.

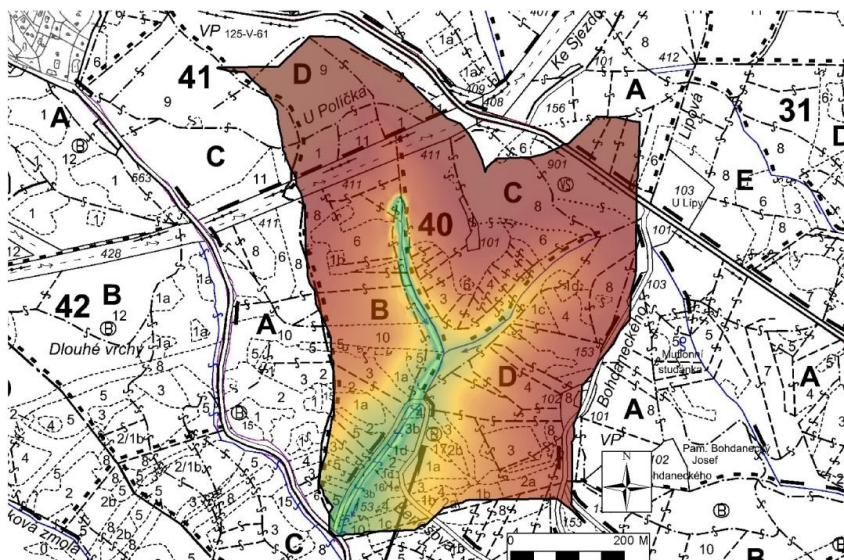
Tabulka č. 3: Základní charakteristiky mikropovodí Útěchov

Základní vlastnosti povodí	Útěchov
Plocha (ha)	38
Délka hlavního toku (m)	660
Maximální nadmořská výška (m n m)	325
Minimální nadmořská výška (m n m)	452
Střední nadmořská výška (m n m)	411
Expozice	jihovýchod
Průměrný sklon povodí (%)	38
Lesnatost (%)	100
Hlavní dřevina	buk



Obrázek č. 6: Zastoupení dřevin v mikropovodí Útěchov

Ve 3 odděleních je zde 35 lesních porostních skupin. Porosty starší 50-ti let jsou zde zastoupeny 67 %. Porostních skupin do sedmi let věku je zde 9. Převážně se jedná o porosty s plným zakmeněním a dokonalým zápojem. V povodí je zastoupeno 16 různých hospodářských dřevin v různých směsných formách.



Obrázek č. 7: Útěchov - situace a zjednodušený digitální model terénu nad lesnickou mapou obrysovou

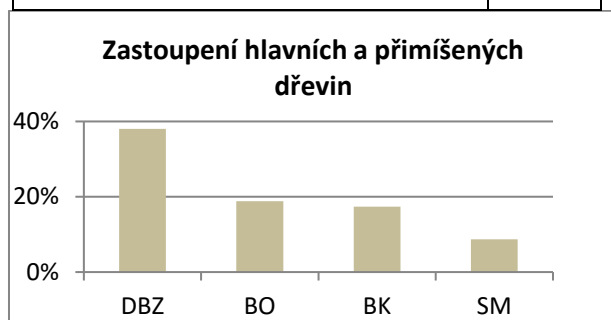
Mikropovodí Ušákov

S plochou 82 ha je povodí Ušákov největší z hodnocených. Tomu odpovídá i délka hlavního toku 1850 m. Nicméně se jedná o nejprotáhlejší a nejužší povodí kaňonovitého charakteru s téměř přímou trasou hlavního toku. Střední nadmořská výška dosahuje 350 m n. m. Průměrný sklon povodí je 26 % s převážně východní expozicí. Hlavní dřevinou je zde dub. Základní charakteristiky mikropovodí prezentuje tabulka č. 4, zastoupení dřevin obrázek č. 8, situaci a zjednodušený digitální model terénu nad lesnickou mapou obrysovou obrázek č. 9.

Tabulka č. 4: Základní charakteristiky mikropovodí Ušákov

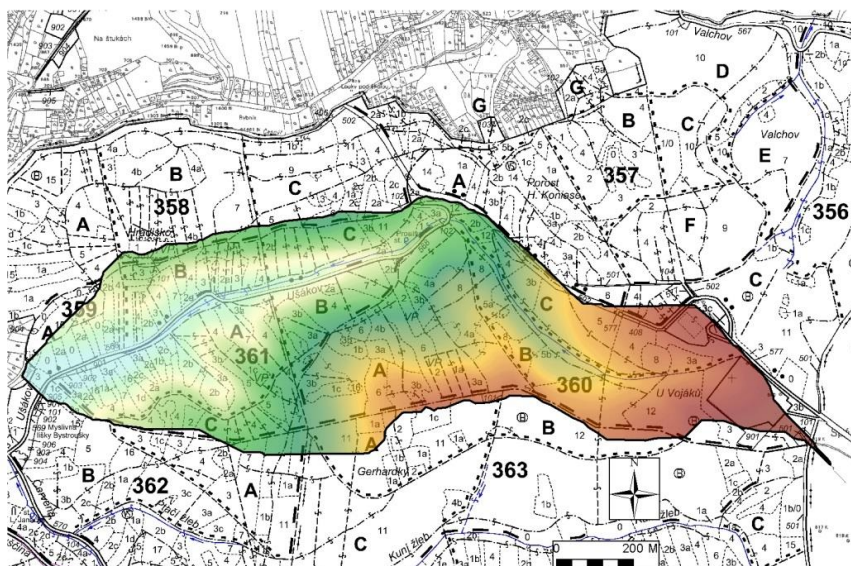
Základní vlastnosti povodí	Ušákov
----------------------------	--------

Plocha (ha)	82
Délka hlavního toku (m)	1850
Maximální nadmořská výška (m n m)	439
Minimální nadmořská výška (m n m)	220
Střední nadmořská výška (m n m)	350
Expozice	východ
Průměrný sklon povodí (%)	26
Lesnatost (%)	98
Hlavní dřevina	dub



Obrázek č. 8: Zastoupení dřevin v mikropovodí Ušákov

V 6 odděleních se zde nachází 83 lesních porostních skupin. Porostní skupiny starší 50-ti let jsou zde zastoupeny 44 %. Porostních skupin do sedmi let věku je zde 17. Převážně se jedná o porosty s plným zakmeněním a dokonalým zápojem. V povodí je zastoupeno 17 různých hospodářských dřevin v různých směsných formách.



Obrázek č. 9: Ušákov - situace a zjednodušený digitální model terénu nad lesnickou mapou obrysou

Metody

Studie je realizována formou srovnávací analýzy průtoků (resp. trendů jejich průměrných denních hodnot) v bezesrážkových periodách v lesních mikropovodích s různými převládajícími dřevinami v

oblasti pahorkatiny. Studie byla lokalizována do čtyř stabilizovaných lesních mikropovodí (smrkové, bukové, dubové a smíšené), na kterých probíhá dlouhodobě kontinuální měření průtoků v závěrném profilu recipientu stejně jako kontinuální měření klimatických dat. Smyslem studie je ve stejných bezesrážkových periodách porovnat reakce průtoků v recipientech těchto mikropovodích.

Vlastní metodický postup je možné rozdělit do dvou kroků:

1. Měření základních klimatologických dat a měření průtoků v recipientech lesních mikropovodí
2. Zpracování dat - zejména identifikace bazsrážkových period a vyhodnocení dat průtoků

Měření základních klimatologických dat a měření průtoků v recipientech lesních mikropovodí

Pro měření základních klimatických veličin: teplota [°C] a srážkový úhrn [mm] bylo využito poloprofesionální klimatické stanice firmy AMET (foto viz obr. 10). Měření teploty probíhalo 2 m nad zemským povrchem. Údaje o teplotě byly zaznamenávány v 15 minutových intervalech v období od 1. 1. 2015 – 31. 12. 2015. Srážky byly zapisovány ve stejných intervalech, během stejného období. Použitá stanice zaznamenávala srážky pouze srážky dešťové (v kapalně formě).

Klimatická stanice je umístěna v areálu Dykových školek situovaných na polesí Habrůvka, 2,5 km vzdušnou čarou od města Křtiny severním směrem. GPS souřadnice stanice jsou 49° 19' 06.9'' N, 16° 43' 49.2'' E, nadmořská výška činí 532 m n. m. Povodí jsou v okruhu max. 10 km od meteostanice. Naměřené hodnoty sloužily jako vstupní klimatické charakteristiky pro všechna měřná povodí.

Obrázek č. 10: Klimatická stanice firmy AMET,
lokalita Dykovy školky



Pro kontinuální stanovování průtoků v recipientech stabilizovaných lesních mikropovodí byly využity soustavy 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.

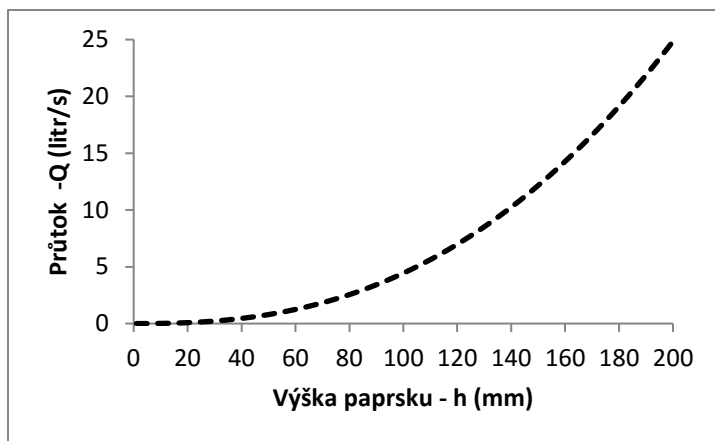
Jako hladinoměrná ponorná čidla byla zvolena čidla TSH22-3-1 v kombinaci s dataloggerem Hydro Logger H40D firmy Fiedler-Magr. Tato hladinoměrná čidla jsou schopná měřit výšky hladiny v rozmezí 0 - 120 cm nad čidlem s přesností 1% rozsahu měřených hodnot. K přepočtu výšek hladin na průtoky dochází prostřednictvím software MOST, rovněž produktu firmy Fiedler-Magr. K přepočtu je využita upravená rovnice pro výpočet průtoku nad ostrohranným Thomsonovým přelivem:

$$Q = 1.4252 * h^{2.48515} * 0.01 \quad (1)$$

Q - je průtok v litrech za sekundu

h - výška paprsku nad přelivem v centimetrech

Upravenou konzumní křivku Thomsonova přelivu graficky znázorňující vztah mezi výškou přepadového paprsku nad přelivem a průtokem v korytu nad objektem dle výše uvedené rovnice (rovnice (1)) prezentuje obrázek č. 11.



Obrázek č. 11: Upravená konzumní křivka Thomsonova přelivu pro stanovení průtoků dle výšek hladin nad přelivem dle vzorce (1)

V software MOST byla rovněž čidla kalibrována a to jednak při zahájení měření a dále pak při každé "neobvyklé" situaci (čištění měrného objektu, údržba a přetěšňování objektu atp.).

Masky Thomsonova přelivu jsou vyrobeny z válcovaného 3mm silného plechu s nerezovou povrchovou úpravou. Rozměry každého objektu byly přizpůsobeny podmínkám lokality, do které byly umístěny, nicméně vlastní přeliv byl zvolen vždy ve tvaru pravoúhlého rovnoramenného trojúhelníka. Masky jsou nainstalovány kolmo na podélnou osu toku tak, že dolní bod přelivu je vždy v ose toku. Masky jsou svisle i vodorovně stabilizovány a fixovány do koryta toku pomocí konzol. Hladinoměrné čidlo je umístěno ve dně nad objektem cca. ve vzdálenosti 20 cm od přelivné hrany.



Obrázek č. 12 a 13: Plné instalace měřící aparatury na závěrných profilech recipientů v mikropovodí Kanice (vlevo) a Ušákov (vpravo)



Obrázek č. 14 a 15: Plné instalace měřící aparatury na závěrných profilech recipientů v mikropovodí Křtiny (vlevo) a Útěchov (vpravo) Studie je realizována formou srovnávací analýzy průtoků (resp. trendů jejich průměrných denních hodnot)

Zpracování dat - identifikace bezesrážkových period a vyhodnocení dat průtoků

Prvním krokem zpracování dat bylo vytvoření komplexní databáze údajů o průtocích, srážkách a teplotě, ve které jsou veškerá měřená data srovnána dle jedné časové osy pro každé mikropovodí v intervalu zápisu 15 minut. Tato databáze je zpracována pro období 7. 7. - 31.10. 2015, zejména z provozních důvodů (v tomto období byly totiž v rámci časového harmonogramu projektu osazeny a měřeny všechny recipienty a dále využitá klimatická stanice je schopná zaznamenávat pouze dešťové srážky). Dále byla provedena místní harmonizace kontinuálních nárůstů průtoků, které se v záznamech vyskytovaly (odstranění systematických chyb), které vznikají např. z důvodu zanášení masky Thomsonova přelivu (např. plovoucí list), až do okamžiku, kdy dojde k náhlému uvolnění nečistoty, resp. při recalibraci čidla v době jeho kontroly.

Po vyčištění datových řad proběhly interpolace dat měřených průtoků pomocí kontingenčních tabulek. Pomocí kontingenčních tabulek byly formulovány hodinové a denní průměry průtoků v jednotlivých recipientech. Pokud se týká vstupních dat pro klimatické charakteristiky, tato jsou prezentována za celý rok 2015, neboť v projektu využitá klimatologická stanice byla v provozu celý rok 2015.

Dalším krokem zpracování dat byla identifikace bezesrážkových období, tj. období, kdy v délce minimálně 5 dnů byl celkový srážkový úhrn 0 mm. Tato identifikace byla realizována prostřednictvím klimadiagramu vytvořeného z vlastních dat měření na klimatologické stanici v uvedeném intervalu tedy 7. 7. - 31.10. 2015.

Na začátku těchto období byl identifikován ustálený průtok, řádově jeden den po poslední srážce. Od maximální ranní hodnoty (dosažené mezi 8:00 a 9:00) prvního dne až po stejný čas v den předcházející následující srážce bylo dané období vymezeno jako bezesrážková perioda. Tímto způsobem byly identifikovány celkem čtyři několikadenní bezesrážkové periody (viz kapitola výsledky). Pro tyto periody byly stanoveny základní charakteristiky - délka doby trvání ve dnech, srážkový úhrn v předcházející kontinuální srážce a maximální a minimální průtok v periodě.

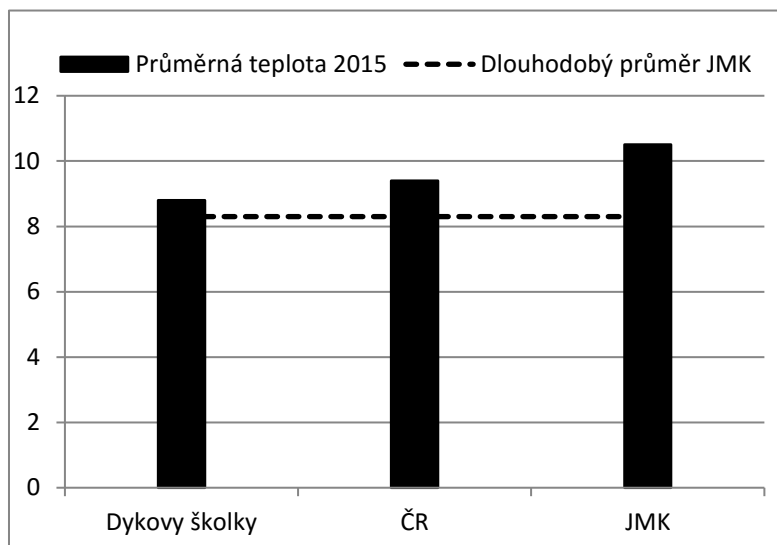
Vyhodnocení dynamiky průtoků bylo prováděno trendovou analýzou, kdy byly průtoky v korytě poměrově vztaženy k maximální ranní hodnotě z prvního dne periody, který byl v období považován za základní průtok po "saturaci" povodí srážkovou vodou (Deutscher a Kupec, 2016). Tato analýza byla provedena na hodinových datech (stanovených průměrem ze 4 zápisů po 15ti minutách). Hodinová data vykazují výrazné kolísání průtoků během dne a vzhledem k rozdílným délkám prezentovaných bezesrážkových period je jejich vzájemná komparace v rámci této studie poměrně problematická. Proto jsou pro finální hodnocení reakce průtoků v recipientech lesních mikropovodí s různou dominantní dřevinou v pahorkatinách využity průměry denní, resp. jejich trendy.

Výsledné hodnocení reakce průtoků v recipientech lesních mikropovodí s různou dominantní dřevinou v pahorkatinách je potom realizováno vyjádřením relativní odchylky průměrného průtoků v každé bezesrážkové periodě od průtoků na počátku příslušné bezesrážkové periody.

VÝSLEDKY

Relevantní klimatické charakteristiky roku 2015

Průměrná teplota měřená na stanici Dykovy školky (GPS 49° 19' 06.9'' N, 16° 43' 49.2'' E, 532 m n. m.) v intervalu 15 min v období od 1. 1. 2015 – 31. 12. 2015 je 8,8°C. V rámci ČR činí denní průměr v tomto období 9,4°C dle ČHMU (portal.chmi.cz). Průměrná denní teplota pro Jihomoravský kraj v roce 2015 činila 10,5°C (portal.chmi.cz). Dlouhodobá průměrná teplota pro Jihomoravský kraj stanovená za období 1961 - 1990 činí 8,3°C (portal.chmi.cz). Rok 2015 lze tedy vzhledem k dlouhodobému normálu označit jako teplotně nadprůměrný (viz obrázek č. 16)



Obrázek č. 16: Srovnání průměrných ročních teplot roku 2015 měřených na vlastní stanici Dykovy školky, teplot za Jihomoravský kraj a teplot za ČR s dlouhodobým teplotním ročním průměrem pro Jihomoravský kraj

Maximální teplota na stanici Dykovy školky byla 36,0°C 22. 7. 2015 v 16:00. Minimální pak 29. 12. 2015 ve 20:00 -11,1°C. Nejteplejší den, kdy max. průměrná teplota byla 27,2°C, byl zaznamenán 22. 7. 2015. Nejstudenější pak 29. 12. 2015. Minimální průměrná teplota dosáhla -7,7°C. Počet dní s průměrnou teplotou 0,1°C a nižší byl 58. Velké vegetační období tzn. dny s průměrnou denní teplotou +5°C a vyšší a trvalo 64 dnů. Počet dnů s denní průměrnou teplotou + 15°C a vyšší (tzn. malé vegetační období) byl 41.

Celkový úhrn dešťových srážek měřených na stanici Dykovy školky byl 269,92 mm (jak bylo uvedeno výše, použitá stanice měří pouze dešťové srážky). Celkový úhrn všech srážek pro Jihomoravský kraj činil v roce 2015 430 mm (portal.chmi.cz).

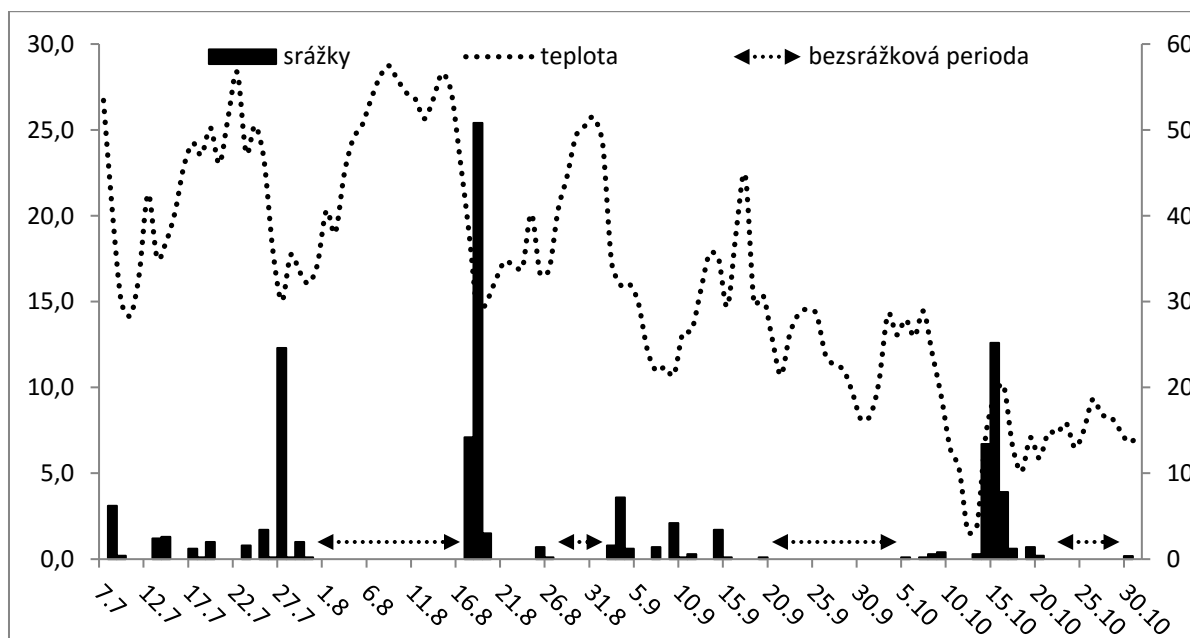
Na stanici Dykovy školky byla v roce 2015 zaznamenána nejvyšší četnost dnů s dešťovými srážkami v rozmezí 0,1 mm – 1 mm (63 dní), naopak nejméně bylo dnů se srážkami v rozmezí 10 mm – 30 mm (8 dní). Více než 60% celkového ročního úhrnu dešťových srážek (189 mm) bylo zaznamenáno v období 4 měsíců - červenec - říjen (období, ve kterém je hodnocena reakce průtoků v recipientech vybraných lesních mikropovodí v bezsrážkových periodách - viz dále). Srážkové úhrny v těchto měsících a jejich denní distribuci shrnuje tabulka č. 5. Jako extrémní v poměru srážkového úhrnu a jeho distribuce v rámci měsíce se ve zmiňovaném období jeví měsíce srpen a září. Měsíc srpen byl v roce 2015 srážkově velmi bohatý (celkový měřený úhrn 69,6 mm), ovšem veškeré srážky spadly během 5 dnů, naopak v měsíci září bylo celkových 20,2 mm rozloženo do 10ti srážkových dnů.

Tabulka č. 5: Srážkové úhrny měřené na stanici Dykovy školky v měsících červenec - říjen 2015 a počet dní ve kterých spadly

Měsíc	Měsíční úhrn srážek (mm)	Počet srážkových dnů
Červenec	47	13
Srpen	69,6	5
Září	20,2	10
Říjen	52,2	12

Bezesrážkové periody v období 7. 7. - 31.10. 2015

Analýza klimatických dat měřených na klimatické stanici Dykovy školky (GPS 49° 19' 06.9'' N, 16° 43' 49.2'' E, 532 m n. m.) byla následně využita pro identifikaci tzv. bezsrážkových period (viz metodika). Analýza byla provedena konstrukcí klimadiagramu na přepočtených datech denních průměrných teplot a denních srážkových úhrnů v období 7. 7. - 31.10. 2015 (viz obrázek č. 17).



Obrázek č. 17: Klimadiagram klimatické stanice Dykovy školky (GPS 49° 19' 06.9'' N, 16° 43' 49.2'' E, 532 m n. m.) a identifikace bezsrážkových period v období 7. 7. - 31.10. 2015. Hlavní osa y udává °C, vedlejší mm srážek.

Jak je patrné z obrázku č. 17, pro popis trendů reakce průtoků v recipientech lesních mikropovodí s různou dominantní dřevinou v pahorkatinách prezentovaný dále v této studii byly vybrány čtyři bezesrážkové periody s dobou trvání od šesti do sedmnácti dnů. Jejich další charakteristiky udává tabulka č. 6.

Tabulka č. 6: Základní charakteristiky bezesrážkových period vyskytujících se v období 7. 7. - 31.10. 2015 v oblasti ŠLP ML Křtiny

Bezesrážková perioda	Začátek	Konec	Trvání (dnů)	Úhrn předcházející kontinuální srážky (mm/počet dnů)
1	31.7.16 8:00	16.8.16 8:00	17	30,6/6
2	27.8.16 8:00	1.9.16 8:00	6	69,6/5
3	20.9.16 9:00	5.10.16 9:00	16	3,8/6
4	22.10.16 8:00	28.10.16 8:00	7	50/8

Z tabulky č. 6 je patrné, že bezesrážkové periody vyskytující se v řešeném období jsou poměrně rozmanité. První bezesrážkové období je charakteristické dlouhou dobou trvání s předchozím šestidenním deštěm o průměrné intenzitě cca. 5 mm za den. Druhé bezesrážkové období je krátké (6 dnů) s vysokým předchozím srážkovým úhrnem a relativně intenzivními dešti, cca. 14 mm za den. Naopak následující období (období č. 3) je poměrně dlouhé s nízkým předchozím srážkovým úhrnem, který nedosahuje v průměru intenzity ani 1 mm denně. Poslední, čtvrté bezesrážkové období je opět kratší s relativně vyššími intenzitami předchozích dešťů, v průměru cca. 6,3 mm za den. Čtvrté bezesrážkové období je dále významné svým výskytem na konci vegetačního období, kdy dochází k významnému snížení transpirační aktivity lesních porostů, jak z důvodu zkracování sluneční části dne, tak z důvodu postupného opadu listů.

Průtokové charakteristiky v období 7. 7. - 31.10. 2015

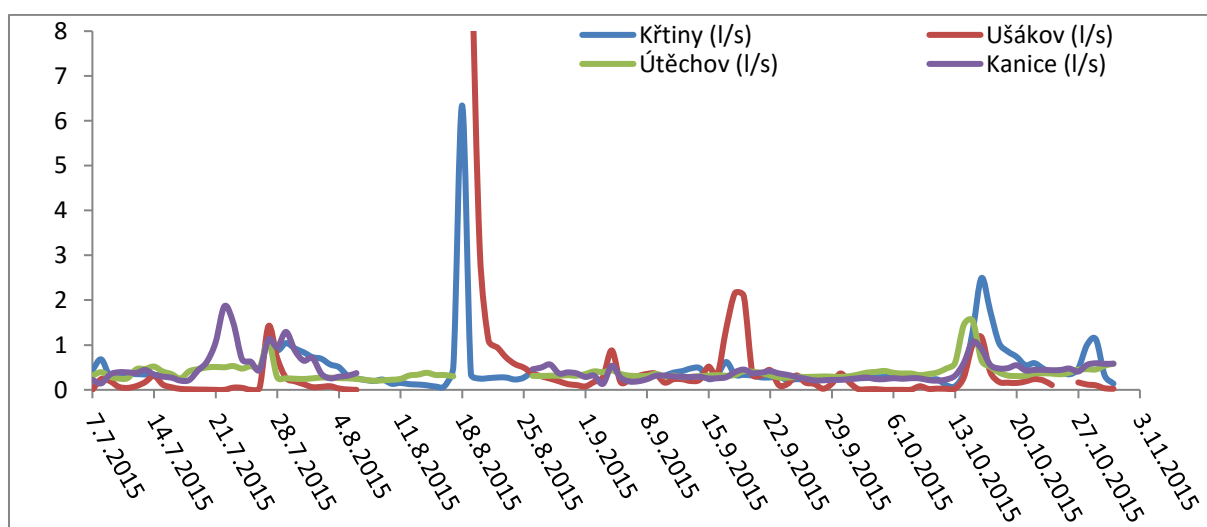
Jak bylo uvedeno výše, průtokové charakteristiky byly stanovovány v období 7. 7. - 31.10. 2015. Tato data byla dále validována dle postupů uvedených v kapitole metodika. Výsledná data, měřená a zaznamenávaná v patnáctiminutových intervalech jsou pro účely studie dále prezentována v denní průměrech. Základní charakteristiky průtoků v jednotlivých mikropovodích, resp. základní charakteristiky denních průměrů průtoků uvádí tabulka č. 7. Z hlediska lepší představy o dynamice průtoků v jednotlivých mikropovodích v řešeném období jsou dále prezentovány základní průtokové charakteristiky rovněž pro hodinové průměry průtoků (viz tabulka č. 7).

Tabulka č. 7: Základní charakteristiky průměrných denních a hodinových průtoků v jednotlivých mikropovodích v období 7.7. - 31.10. 2015

Charakteristiky průtoků		Křtiny		Ušákov		Útěchov		Kanice	
		l/s	datum, hodina	l/s	datum, hodina	l/s	datum, hodina	l/s	datum, hodina
Minimální průtok	hodinový	0,04	16.8. 1:00	0,00	vícekrát	0,10	13.9. 16:00	0,06	8.7. 11:00
	denní	0,07	15.8.	0,00	vícekrát	0,20	8.8.	0,13	3.9.
Maximální průtok	hodinový	19,59	18.8. 2:00	50,44	18.8. 16:00	6,46	27.7. 16:00	5,04	27.7. 15:00
	denní	6,34	18.8.	24,14	18.8.	1,54	15.10.	1,86	22.7.
Průměrný průtok	hodinový	0,50		0,68		0,38		0,44	
	denní	0,50		0,80		0,39		0,44	

Z tabulky č. 7 je patné, že průměrné průtoky na všech sledovaných povodích jsou ve sledovaném období do 1 l/s od nejnižších průměrných průtoků na mikropovodí Útěchov po nejvyšší na mikropovodí Ušákov. Lze konstatovat, že proporce průměrných denních průtoků v jednotlivých mikropovodích v řešeném období odpovídá proporcím jejich ploch (plošně nejmenší mikropovodí Útěchov, plošně nejvyšší mikropovodí Ušákov), což opravňuje dále uvedené výstupy z trendové analýzy, resp. srovnatelnost trendů průtoků na všech mikropovodích. Největší rozkolísanost průtoků v období vykazuje mikropovodí Ušákov a to jak v hodnotách maximálních a minimálních, tak v hodnotách hodinových a denních průměrů. Tento fakt je dán zejména výskytem stromové vegetace v korytě recipientu. Naopak nejvyšší stabilitu jak v maximálních a minimálních hodnotách, tak v průměrech denních a hodinových vykazují mikropovodí Útěchov a Kanice (povodí smíšené a bukové).

Následující graf (obrázek č. 18) prezentuje průběh denních průměrů průtoků ve sledovaném období v šetřených mikropovodích.



Obrázek č. 18: Průběh denních průměrů průtoků v období 7.7. - 31.10. 2015 v šetřených mikropovodích

Trendy průtoků v měrných lesních mikropovodích ve vybraných bezesrážkových periodách v období 7. 7. - 31.10. 2015

Trendy průtoků v měrných lesních mikropovodích v období 7. 7. - 31.10. 2015 jsou zpracovány pro denní průměry průtoků v recipientech jednotlivých mikropovodí v následujících bezesrážkových periodách (podrobnější charakteristiky viz výše, tabulka č. 6):

Perioda 1	31.7.16 8:00 - 16.8.16 8:00
Perioda 2	27.8.16 8:00 - 1.9.16 8:00
Perioda 3	20.9.16 9:00 - 5.10.16 9:00
Perioda 4	22.10.16 8:00 - 28.10.16 8:00

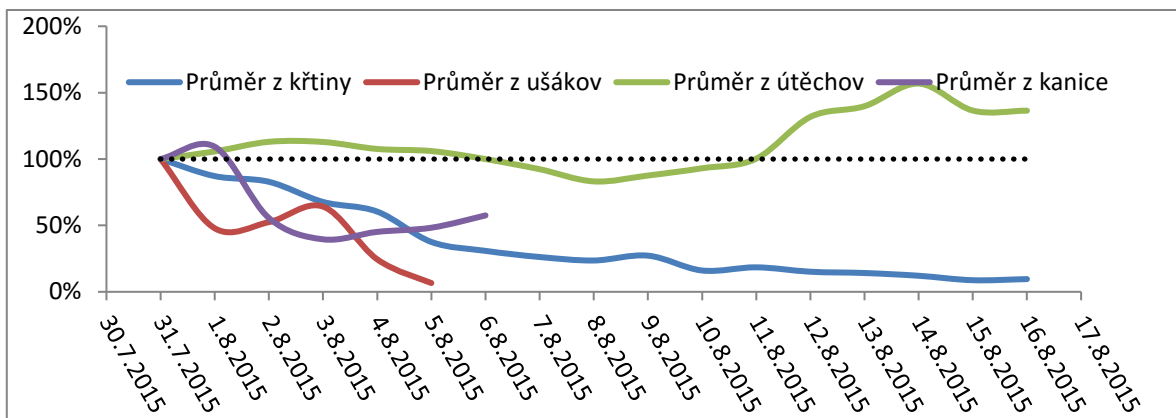
Následující tabulka (tabulka č. 8) udává základní charakteristiky (maximální, minimální a průměrné průtoky) denních průtoků v jednotlivých lesních mikropovodích v jednotlivých bezesrážkových periodách.

Tabulka č. 8: základní charakteristiky (maximální, minimální a průměrné průtoky) denních průtoků v jednotlivých lesních mikropovodích v jednotlivých bezesrážkových periodách v období 7. 7. - 31.10. 2015

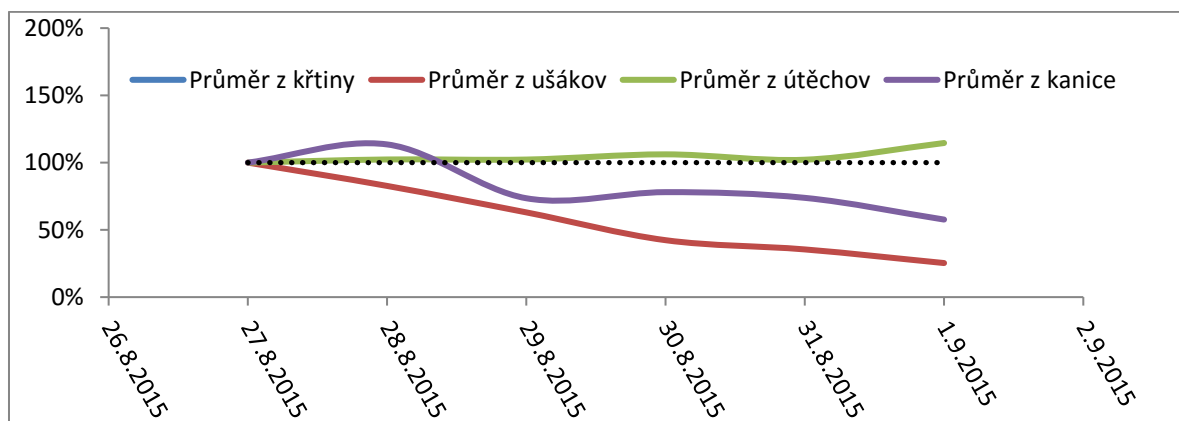
Bezesrážkové periody		Křtiny (l/s)	Ušákov (l/s)	Útěchov (l/s)	Kanice (l/s)
1	Max	0,837	0,126	0,380	0,710
	Min	0,073	0,000	0,202	0,257
	Průměr	0,314	0,053	0,271	0,423
2	Max	-	0,302	0,353	0,566
	Min	-	0,077	0,308	0,287
	Průměr	-	0,176	0,322	0,412
3	Max	0,318	0,440	0,421	0,417
	Min	0,214	0,000	0,271	0,210
	Průměr	0,257	0,169	0,328	0,283
4	Max	1,006	0,240	0,461	0,558
	Min	0,346	0,107	0,347	0,409
	Průměr	0,527	0,168	0,392	0,459

Z tabulky č. 8 je patrné, že stejně jako v případě celého období, i v bezesrážkových periodách je největší variabilita v průtokových charakteristikách mikropovodí Ušákov (dubové mikropovodí). Naopak nejvyšší vyrovnanost průtokových charakteristik vykazují mikropovodí Útěchov a Kanice (bukové a smíšené mikropovodí). Mikropovodí Křtiny (smrkové) pak vykazuje střední variabilitu, data ve druhé bezesrážkové periodě nebyla zaznamenána z důvodu poruchy (netěsnosti) měrné aparatury.

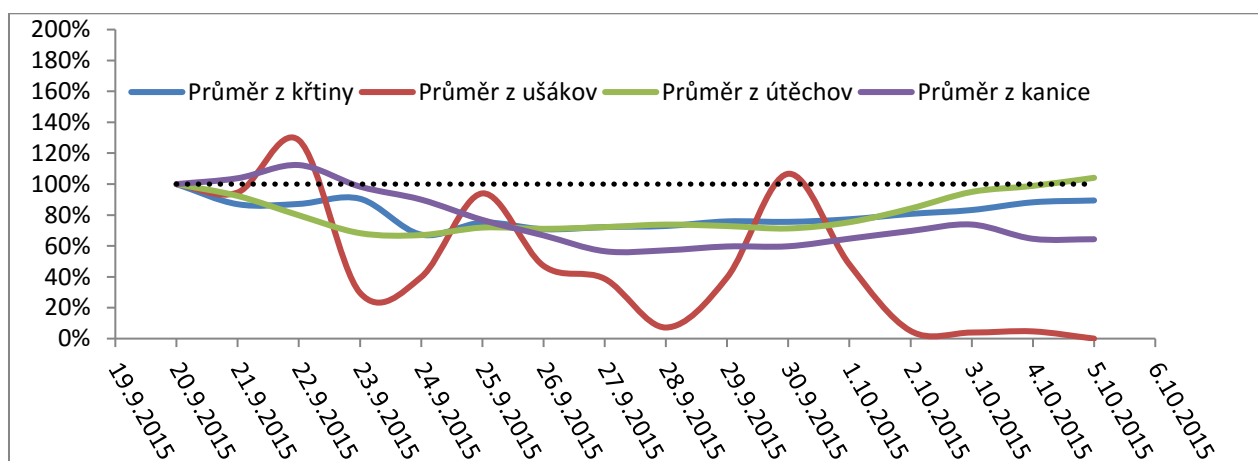
Následující grafy (obrázek č. 19 - 22) prezentují vlastní trendovou analýzu průměrných denních průtoků v recipientech jednotlivých lesních mikropovodí ve vybraných bezesrážkových periodách, kdy všechny trendy jsou srovnány na relativní hladinu tzv. 100% průtoků, tedy ustáleného průtoků v recipientu na počátku bezesrážkového období.



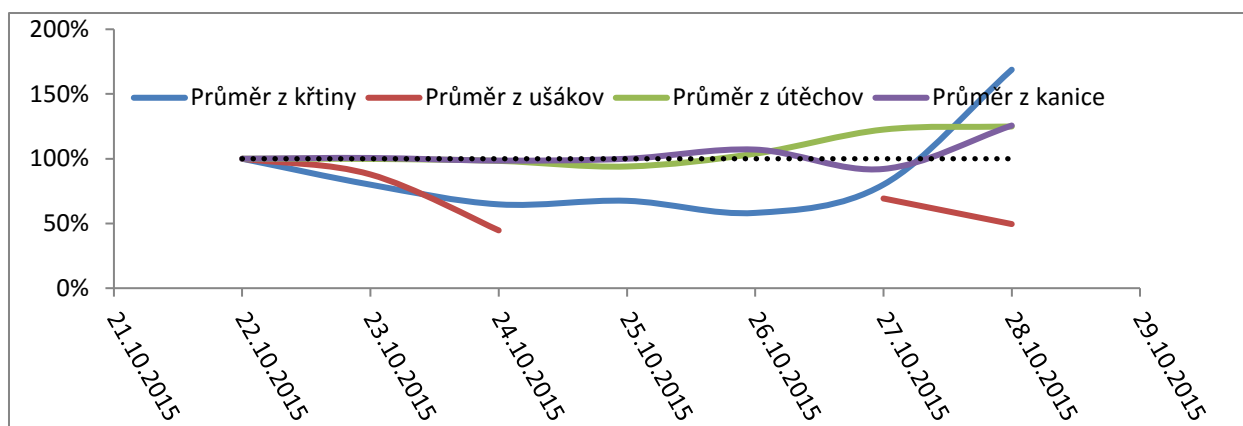
Obrázek č. 19: Trendová analýza průměrných denních průtoků v recipientech jednotlivých lesních mikropovodí v bezsrážkové periodě 31.7.16 8:00 - 16.8.16 8:00, 100% průtok znamená ustálený průtok v recipientu na počátku bezsrážkového období



Obrázek č. 20: Trendová analýza průměrných denních průtoků v recipientech jednotlivých lesních mikropovodí v bezsrážkové periodě 27.8.16 8:00 - 1.9.16 8:00, 100% průtok znamená ustálený průtok v recipientu na počátku bezsrážkového období



Obrázek č. 21: Trendová analýza průměrných denních průtoků v recipientech jednotlivých lesních mikropovodí v bezsrážkové periodě 20.9.16 9:00 - 5.10.16 9:00, 100% průtok znamená ustálený průtok v recipientu na počátku bezsrážkového období



Obrázek č. 22: Trendová analýza průměrných denních průtoků v recipientech jednotlivých lesních mikropovodí v bezesrážkové periodě 22.10.16 8:00 - 28.10.16 8:00, 100% průtok znamená ustálený průtok v recipientu na počátku bezesrážkového období

Tabulka č. 9 pak prezentuje sumární výsledky trendové analýzy průměrných denních průtoků v recipientech jednotlivých lesních mikropovodí ve vybraných bezesrážkových periodách.

Tabulka č. 9: Srážkové úhrny měřené na stanici Dykovy školky v měsících červenec - říjen 2015 a počet dní ve kterých spadly. Průměrný denní trend znamená průměrnou hodnotu poklesu (nárůstu) trendů průtoků oproti původnímu vyrovnanému průtoku na počátku období (100%)

Bezesr. perioda	Délka trvání (dnů)	Úhrn předch. srážky (mm)	Křtiny		Ušákov		Útěchov		Kanice	
			Prům. průtok v periodě (l/s)	Prům. denní trend	Prům. průtok v periodě (l/s)	Prům. denní trend	Prům. průtok v periodě (l/s)	Prům. denní trend	Prům. průtok v periodě (l/s)	Prům. denní trend
1	17	30,6	0,31	38%	0,05	49%	0,27	112%	0,42	65%
2	6	69,6	-	-	0,18	58%	0,32	105%	0,41	83%
3	16	3,8	0,26	81%	0,17	49%	0,33	81%	0,28	76%
4	7	50	0,53	88%	0,17	70%	0,39	106%	0,46	103%

Na základě výsledků prezentovaných v grafech na obrázcích č. 19 - 22 a v tabulce č. 9 lze pro jednotlivé bezesrážkové periody v období 7.7. - 31.10. 2015 konstatovat následující závěry:

Perioda 1 31.7.16 8:00 - 16.8.16 8:00

Období je charakteristické dlouhou dobou trvání 17 dnů s předchozím šestidenním deštěm o průměrné intenzitě cca. 5 mm za den. Perioda se nachází ve vrcholném vegetačním období. Z mikropovodí Kanice a Ušákov nejsou k dispozici kompletní data průtoků, na mikropovodí Útěchov dochází v závěru období k nárůstu průtočného množství, které bylo vyvoláno chybou měření nesystematické povahy. Průměrná hodnota poklesu (nárůstu) trendů průtoků oproti původnímu vyrovnanému průtoku na počátku období je proto interpretována pouze v období do 6.8. 2015. V tomto období vykazuje největší pokles průtoků mikropovodí Křtiny (smrkové), naopak bukové mikropovodí Útěchov drží prakticky průtoky na stejné úrovni po celé bezesrážkové období. V dubovém mikropovodí Ušákov dochází k poklesu cca. na polovinu původního průtoku, smíšené povodí Kanice klesá v trendu na 65% původního průtoku.

Perioda 2 27.8.16 8:00 - 1.9.16 8:00

Období je krátké (6 dnů) s vysokým předchozím srážkovým úhrnem a relativně intenzivními dešti, cca. 14 mm za den. Stejně jako předchozí perioda, i tato se nachází ve vrcholném vegetačním období. V období nejsou k dispozici data ze smrkového mikropovodí Křtiny. K nevyššímu poklesu na průtocích (na 58% původní vyrovnané hodnoty) dochází v dubovém mikropovodí Ušákov, bukové mikropovodí Útěchov drží opět hodnoty průtoků prakticky na původních hodnotách, resp. průtoky částečně navyšuje. Ve smíšené, povodí Kanice dochází k poklesu na 83% původní vyrovnané hodnoty.

Perioda 3 20.9.16 9:00 - 5.10.16 9:00

Období je dlouhé (16 dnů) s nízkým předchozím srážkovým úhrnem, který nedosahuje v průměru intenzity ani 1 mm denně, perioda se nachází na konci vegetačního období. Z hlediska účinnosti povodí ve smyslu zajištění vyrovnaných průtoků v recipientech, je možné v tomto období pozorovat shodnou účinnost (shodná míra poklesu trendu průtoků) u smrkového mikropovodí Křtiny a bukového mikropovodí Útěchov. Poměrně vysokou stabilitu průtoků vykazuje i smíšené mikropovodí Kanice (pokles na 76% původní vyrovnané hodnoty na počátku období). Pokles průtoků u dubového mikropovodí Ušákov je na méně než 50% původního vyrovnaného průtoků.

Perioda 4 22.10.16 8:00 - 28.10.16 8:00

Období je opět krátké (7 dnů) s relativně vyššími intenzitami předchozích dešťů, v průměru cca. 6,3 mm za den. Perioda je situována v samém závěru vegetačního období. V období chybí kompletní data z mikropovodí Ušákov, prezentované trendy byly dosaženy interpolací dat měřených na počátku a na konci periody. Zřejmě zejména z důvodu krátké doby trvání bezesrážkové periody a relativně vyššího předcházejícího srážkového úhrnu jsou průtoky ve všech lesních mikropovodích relativně stabilní. Bukové a smíšené mikropovodí (Útěchov a Kanice) nevykazují v periodě pokles na průtocích, smrkové mikropovodí Křtiny vykazuje pokles o cca 12%. Nejvyšší pokles na průtocích je v povodí dubovém, tedy na Ušákově.

Objem dřeva ponechaného k dekompozici podle CZT 2015 činí 10,7 m³/ha a dlouhodobě klesá. Souše a ležící hroubí se na něm podílejí přibližně stejnou měrou. V uvedeném objemu tlejícího dřeva nejsou zahrnuty pařezy a podzemní biomasa stromů, klest a dřevo tenčí než 7 cm. Objem dřeva ponechaného k dekompozici nedosahuje ani minimálních doporučených hodnot, které se pro

ZÁVĚR

Předložená studie prezentuje srovnávací analýzu trendů průtoků v recipientech lesních mikropovodí na území ŠLP ML Křtiny v bezesrážkových periodách období 7.7. - 31.10. 2015. Mikropovodí lze charakterizovat jako pahorkatinná lesní mikropovodí, vykazující relativně shodnou morfologii a různé dominantní dřeviny v lesních porostech, které je pokrývají. Studie byla realizována na vlastních datech průměrných denních průtoků odvozených z vlastních měření v recipientech příslušných lesních mikropovodí. Analyzována byla čtyři lesní mikropovodí, dubové, bukové, smrkové (se zastoupením uvedených dřevin nad 40%) a smíšené na čtyřech bezesrážkových periodách, dvou ve vrcholném vegetačním období a dvou na konci vegetačního období. Tři z těchto bezesrážkových period byly krátké (resp. v jednom případě umožnila dostupnost dat interpretovat dlouhé období pouze v jeho první části), s dobou trvání cca. 7 dnů, jedna byla dlouhá s dobou trvání cca. 16 dnů. Srážkové úhrny před "krátkými" bezesrážkovými periodami byly relativně vysoké (mezi 30 a 70 mm), srážkový úhrn před dlouhou bezesrážkovou periodou byl nízký (necelé 3mm).

Na základě výše uvedených výsledků studie lze formulovat následující závěry:

- Z šetřených mikropovodí vykazuje nejnižší vodohospodářskou účinnost ve smyslu zajištění vyrovnaného průtoku v recipientu mikropovodí dubové. Tento fakt je však dán zejména tím, že přímo v recipientu mikropovodí Ušákov se nachází poměrně významné množství lesních dřevin různých druhů a různého věku, které svojí transpirací přímo ovlivňují průtoky v recipientu s tím, že jejich vliv na průtoky je významnější než vliv okolních lesních porostů. Toto tvrzení podporuje i fakt, že na konci vegetačního období se účinnost mikropovodí Ušákov zvyšuje (pokles průtoků v recipientu se snižuje). Zmíněné skutečnosti prakticky nesnižují význam výsledků z mikropovodí Ušákov, nicméně poukazují na to, že toto mikropovodí je z důvodů jiných mechanismů hospodaření s vodou v recipientu s ostatními třemi jen velmi obtížně srovnatelné.
- Nejvyšší vodohospodářskou účinnost vykazuje v daných podmínkách povodí bukové (Útěchov), které na krátké bezesrážkové periody prakticky nereaguje (mírné navýšení průtoků v recipientu může být dáno různými faktory, od využití zásob vody v povodí z předchozích období až po omezení transpirace dřevin ve dnech s menším slunečním svitem). V dlouhé bezesrážkové periodě na konci vegetačního období, kdy periodě nepředcházela větší srážka snižuje mikropovodí průtok na cca. 80%.
- Smrkové mikropovodí (Křtiny) vykazuje poměrně dobrou vodohospodářskou účinnost na konci vegetačního období, nicméně ve vrcholném vegetačním období je v daných podmínkách jeho účinnost velmi nízká a to i v krátké bezesrážkové periodě s relativně vysokým předcházejícím srážkovým úhrnem. Chybějící data ve druhé bezesrážkové periodě ve vegetačním období bohužel neumožňují tento fakt v rámci této studie potvrdit.
- Vodohospodářská účinnost smíšeného mikropovodí (Kanice) je rovněž relativně vysoká s tím, že ve vrcholném vegetačním období je jeho účinnost v daných podmínkách vyšší než účinnost povodí smrkového, ale nedosahuje účinnosti mikropovodí bukového, na konci vegetačního období je jeho účinnost srovnatelná s účinností mikropovodí bukového.

Výsledky studie naznačují (i přes chybějící data na povodí Křtiny v jednom rozhodném období), že 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. Zatímco na konci vegetačního období je vodohospodářská účinnost smrkového a bukového (resp. smíšeného) lesního mikropovodí v daných podmínkách prakticky shodná, ve vrcholném vegetačním dosahuje smrkové mikropovodí v podstatě třetinové účinnosti povodí bukového.

LITERATURA

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.

- Bajer, A. a kol. Krajina a geodiverzita : neživá příroda jako základ krajinných a kulturních hodnot. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. 159 s. ISBN 978-80-87443-11-8.
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu, and J.P. Palutikof, eds. 2008. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat. Accessed July 10, 2013. www.ipcc.ch/pdf/tec
- Bokhorst S. et al. 2008. Impacts of extreme winter warming in the sub-Arctic: growing season responses of dwarf shrub heathland
- Bosch JM, Hewlett JD. 1981. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55 (1982), 3-23.
- Brown AE, Zhang L, McMahon TA, Western AW, Vertessy RA. 2005. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology* 310: 28–61.
- Demek J., 1987: Obecná geomorfologie. Praha: Academia, 476 s.
- Deutscher J. a 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* DOI 10.1007/s10661-014-3661-5
- Deutscher J., Kupec P., Dundek P., Holík L., Machala M. a 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*. DOI: 10.1002/hyp.10771 Volume 30, Issue 13, pages 2042–2049, 30 June 2016
- Fottová D, Skořepová I. 1998. Changes in mass element fluxes and their importance for critical loads: Geomon network, Czech Republic. *Water, Air, and Soil Pollution* 105: 365-376.
- Fottová D. 2003. Trends in sulphur and nitrogen deposition fluxes in the geomon network, Czech Republic, between 1994 and 2000. *Water, Air, and Soil Pollution* 150: 73–87.
- 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 Res.* 19, 193–212
- Graham CB, Barnard HR, Kavanagh KL, McNamara1 JP. 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 As, Cienciala E. 1997. Evaporation components of a boreal forest: variations during the growing season. *Journal of Hydrology* 197: 70–87.
- Gribovszki Z, Kalicz P, Szilágyi J, Kucsara M. 2008. Riparian zone evapotranspiration from diurnal groundwater level fluctuations. *Journal of Hydrology* 349: 6–17.
- Linderholm H.W. 2006. Growing season changes in the last century *Agric. Forest Meteorol.*, 137 (2006), pp. 1–14
- Hibbert AR. 1967. Forest treatment effects on water yield. In: W.E. Sopper and H.W. Lull (Editors), *International Symposium for Hydrology*. Pergamon, Oxford, 813 p.
- Hrachowitz M, Savenije HHG, Blöschl G, McDonnell JJ, Sivapalan M, Pomeroy JW, Arheimer B, Blume T, Clark MP, Ehret U, Fenicia F, Freer JE, Gelfan A, Gupta HV, Hughes DA, Hut RW, Montanari A, Pande1 S, Tetzlaff D, Troch PA, Uhlenbrook S, Wagener T, Winsemius HC, Woods RA, 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 (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change 2007. The Physical Science Basis, Contribution of WG 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M.C., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge and New York, p. 1056
- Kantor P. 1995. Vodní režim smrkových a bukových porostů jako podklad pro návrh druhové skladby vodohospodářsky významných středohorských lesů. Habilitation thesis. Brno, MZLU 1995, Lesnická a dřevařská fakulta. 332 p.
- Kovář P., Bačínová 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.
- Kulasova A, Blazkova S, Beven K, Rezacova D, Cajthaml J. 2014. Vegetation pattern as an indicator of saturated areas in a Czech headwater catchment. *Hydrological Processes* 28: 5297–5308. DOI:10.1002/hyp.10239
- Lamačová A, Hruška J, Krám P, Stuchlík E., Farda A, Chuman T, Fottová D. 2014. Runoff trends analysis and future projections of hydrological patterns in small forested catchments. *Soil & Water Research*, 9, 2014 (4): 169–181.
- Lundquist JD, Cayan DR. 2002. Seasonal and spatial patterns in diurnal cycles in streamflow in the western United States. *Journal Of Hydrometeorology* 3: 591-603.
- Máca, P.; Nechvátal, M. „Monitoring a vyhodnocení extrémních odtokových poměrů v povodích drobných vodních toků z hlediska prevence a zmírňování povodňových škod“: závěrečná zpráva grantového projektu nazv 1G46040. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. 32 s.
- Mátyás C, Sun G. 2014. Forests in a water limited world under climate change. *Environmental Research Letters* 9(8). DOI: 10.1088/1748-9326/9/8/085001.
- Mráz K., Buček J., Bíba M. 1990. Vodní režim půdy, vztah k přírůstu dřevní hmoty a odtok vody v porostech různých dřevin. Final report. Strnady, 50 p..
- Quitt, E. Klimatické oblasti ČSR. Brno: Geografický ústav ČSAV, 1975
- 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.
- Scott DF, Smith RE. 1997. Preliminary empirical models to predict reductions in total and low flows resulting from afforestation. *Water S. A.* 23(2), 135–140.
- Schlesinger WH, Jasechko S. 2014. Transpiration in the global water cycle. *Agricultural and Forest Meteorology* 189-190. 117-155.
- Sun, G., McNulty, S. G., Moore Myers, J. A., & Cohen, E. C. 2008. Impacts of multiple stresses on water demand and supply across the southeastern United States. *Journal of American Water Resources Association*, 44(6), 1441–1457.
- Szilagyi J, Gribovszki Z, Kalicz P, Kucsara M. 2008. On diurnal riparian zone groundwater-level and streamflow fluctuations. *Journal of Hydrology* 349: 1–5. DOI:10.1016/j.jhydrol.2007.09.014.
- Šach F. a Černohous V. 2015. Hydraulický lift buku pro smrk: potencionálně významný ekosystémový proces pro pěstování smrkových porostů v souvislosti s klimatickou změnou oteplování. [Hydraulic lift by beech to spruce: potentially important ecosystem process for spruce stand silviculture in connection with climatic change of warming]. *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 2. Dostupný také z WWW: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/1329/85/>>.
- Švihla V., Černohous V., Šach F. 2010. Hydrologická bilance elementární odtokové plochy lesního povodí v Orlických horách. In: 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.
- Trenberth K.E., Dai A., Rasmussen R.M. and Parsons D.B. 2003. The changing character of precipitation. Bulletin of the American Meteorological Society, 84, 1205 – 1217.
- Varhola A, Coops NC, 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 Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., et al. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. Nature, 467, 555–561.