

Vliv využití území na oběh vody na příkladu malých povodí na Šumavě

Impact of the land use on the water cycle on the example of small catchments in

Bohemian Forest

Jan Procházka¹, Jan Pokorný², Aleš Vácha¹, Jakub Brom¹

¹*Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta*

²*ENKI, o.p.s.*

Abstrakt

Způsoby hospodaření, využití území, přítomnost a stav vegetace ovlivňují toky energie, vody a látek v krajině, jak dokumentují výsledky monitoringu tří malých povodí (200 ha) s různým stavem vegetačního pokryvu v JV části Šumavy. Z dvacetiletého monitoringu vyplývá, že z povodí s převažujícími odvodněnými pastvinami odtéká 60 % vody spadlé ve srážkách, odtok zde má nejvyšší fluktuace. Z lesního povodí odteče 34 % a z povodí tvořeném mokřady, lesem a loukami v průměru 38 % z ročního úhrnu srážek. Z odvodněné pastviny ve srovnání odtéká také nejvíce rozpuštěných látek, teplota vody má ve vegetační sezóně vyšší denní amplitudy, na plochách povodí jsou dlouhodobě měřeny celkově vyšší povrchové teploty a nižší evapotranspirace, jak ukazují také data z družice Landsat. Souvislost teplotních projevů krajiny s vodním režimem modelových povodí je zde více než zřejmá.

Klíčová slova: odtok vody, srážky, vegetace, povrchová teplota, Landsat

Abstract

Fluxes of solar energy, water and matter in landscape are affected by management of landscape, by land use and vegetation status. The nexus is demonstrated on results of 20 years monitoring of three small sub-catchments of different land cover located in Southeast part of Šumava mountains: 60% of precipitation is discharged from the pasture, 34% from forest and 38% from the catchment consisted of forest, wetlands and grassland. Discharged water from pasture has highest fluctuation of flow rate and transport the highest amount of soluble matter (alkaline ions). Drained pasture has relatively highest surface temperature measured by Landsat satellite and highest daily amplitudes of temperature of discharged water. Results of 20years monitoring show close relationship between surface temperature of landscape and its functioning, in terms of water retention/discharge and soluble matter losses.

Keywords: runoff, precipitation, vegetation, surface temperature, Landsat

Úvod

V celém evropském kontextu je využívání krajiny ve znamení odlesňování a odvodňování. Přestože odvodňování v dnešní době probíhá poněkud jinou formou než dříve, a to zastavováním krajiny (tzv. urban sealing), důsledky odvodnění z minulosti pocítujeme nejvýrazněji právě nyní, v období významných projevů klimatické změny.

S rostoucím nedostatkem vody, změnami klimatu a narůstajícím tlakem na lesní zdroje je životně důležité prohloubit znalosti o základních vztazích mezi lesy, vodou a klimatem. Nedostatek těchto znalostí představuje zásadní překážku v hledání politických i praktických opatření, která by vedla k optimalizaci ekosystémových služeb, zejména ve vztahu k hydrologii a tvorbě klimatu. Politika i praxe týkající se lesa, vody a klimatu by měly vycházet z detailního porozumění vědeckým znalostem. Užší spolupráce a komunikace mezi vědci (ekology, lesníky, hydrology), tvůrci politik a lidmi z praxe je třeba pro zajištění udržitelného hospodaření v lesích i krajině. Zároveň je třeba větších investic do výzkumu vztahů mezi lesy, vodou a klimatem a dopadů politických opatření a managementu, které na tyto vztahy působí.

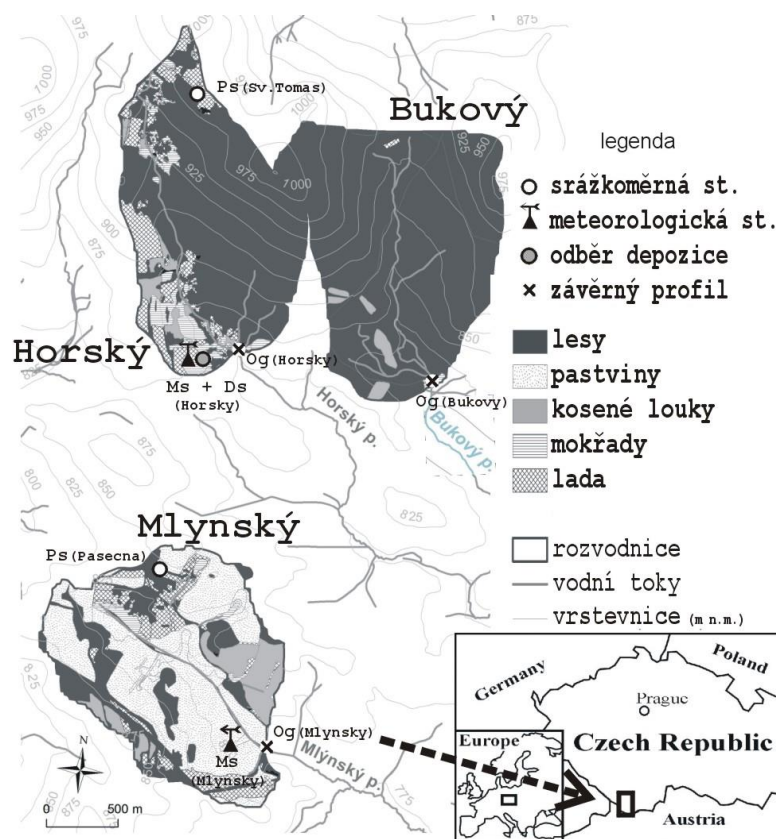
Procesy spojené se způsobem a změnou využití území nutně ovlivňují energetickou bilanci jednotlivých krajinných celků – povodí, i množství látek, které se z hospodářsky užívaných povodí vyplavují. Projevem těchto procesů jsou kromě jiného změny v distribuci teplot zemského povrchu, zvýšení a rozkolísání odtoku vody i zhoršení kvality povrchových vod. Tyto parametry se proto mohou s výhodou využít pro monitorování doložení rozdílů a změn v krajinných funkcích, jak je definoval např. prof. Ripl (např. Ripl 1995, Ripl et al. 1995).

Dlouhodobý monitoring, jehož cílem bylo zmíněné parametry měřit a vyhodnotit, probíhá již více než 20 let u tří malých experimentálních povodí Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity (ZF JU) v JV části území Chráněné krajinné oblasti Šumava v oblasti tzv. Lipenského pravobřeží. Tento příspěvek si klade za cíl poukázat na rozdílnosti v oběhu vody a souvisejících projevu krajinného pokryvu v modelových povodích v závislosti na způsobu využití území.

Materiál a metody

Zájmová oblast spadá geomorfologicky v rámci celku Šumava do Trojmezenské hornatiny a části okrsku Vítkovokamenské hornatiny (Balatka a Kalvoda 2006), správně z pohledu hydrologického je pak příslušná oblast řešena v rámci Plánu dílčího povodí ostatních přítoků Dunaje (např. Povodí Vltavy, s.p. 2006). Jedná se o oblast bývalého hraničního pásma (železná opona mezi tehdejší východní a západní Evropou), která je díky svému vývoji od 50.

let 20. století zcela unikátní území. Základní parametry jeho „land-use“ byly určeny poměrně hustým osídlením Šumavy až do poloviny 20. století. Důsledkem poválečného uspořádání a uzavření rozsáhlých území v hraničním pásmu došlo k významnému omezení hospodářské aktivity. V této oblasti došlo navíc k vybudování přehradní nádrže Lipno I (plošně největší nádrž v Česku v délce cca 40 km), která oddělila tuto oblast od vnitrozemí a do jisté míry vymezila jeho marginalitu až do dnešní doby (Horáková 2010). Čili ani v současnosti, a to i díky náležitosti k CHKO Šumava, nedošlo v popisovaném území k ekonomickému a demografickému rozvoji, či změnám v hospodaření. Z hlediska ekologického výzkumu se proto zde i nadále nabízí vhodné podmínky pro dlouhodobý srovnávací monitoring bez významných změn okolního prostředí, které v kulturní krajině vnitrozemí i na značné části Šumavy většinou chybí. Za tímto účelem byla v roce 1997 v blízkosti sebe vybrána tři modelová povodí Mlýnského, Horského a Bukového potoka (Obr. 1). Povodí mají srovnatelnou plochu (cca 2 km²), nadmořskou výšku, geologické podloží, prostorovou orientaci a klimatické podmínky. Dle Quittovy klasifikace (1971) náleží oblast do chladné oblasti CH7. Jen pro porovnání, či doplnění, Atlas podnebí ČSR (1958) řadí oblast do chladné oblasti C1, podle Köppenovy klasifikace (např. Kalvová et al. 2003) se jedná o typ D na rozhraní oblasti Dfb a Dfc. Zjednodušeně lze sledovanou oblast charakterizovat z dlouhodobého hlediska průměrnou roční teplotou 5 °C a ročním úhrnem srážek 1000 mm (např. dle Tolasz a kol. 2007).



Obr. 1. Lokalizace modelových povodí se zákresem měřících stanic

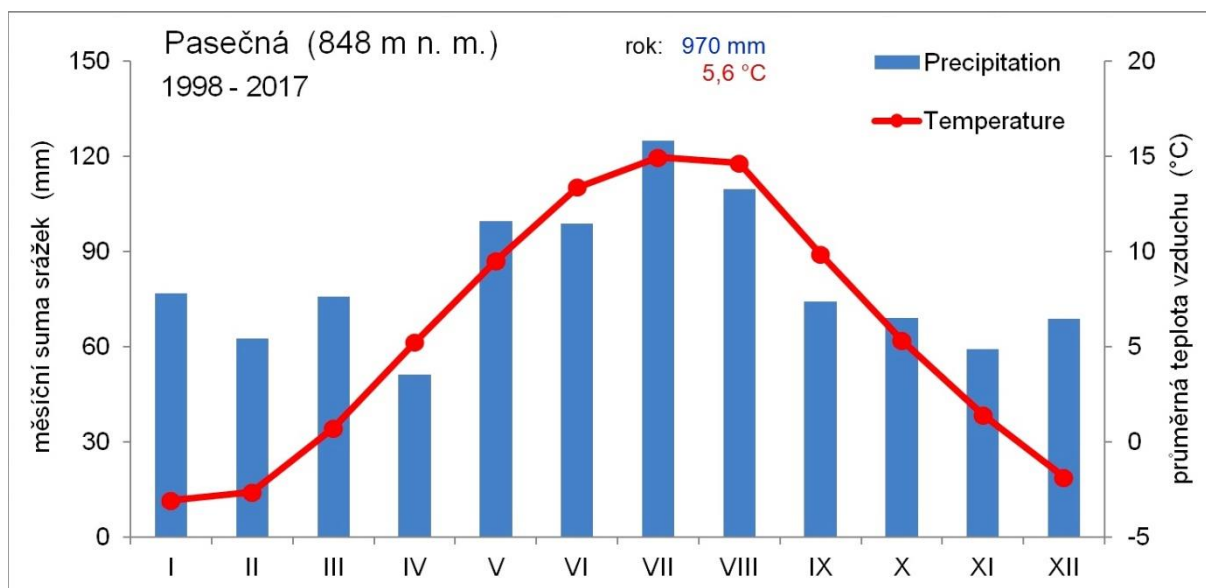
Zásadním, pokud jde o porovnání modelových povodí, se ovšem jeví jejich rozdílný krajinný pokryv. Povodí Bukového potoka je prakticky celé zalesněno s převahou smrkových porostů, povodí Mlýnského potoka je naopak s minimem lesa převážně odvodněnou pastvinou, zatímco krajinný pokryv povodí Horského potoka tvoří pestřejší mozaika různých kategorií krajinného pokryvu a zastupuje z části mokřady, les, postagrární lada a kosené louky. Na povodích je více než 20 let prováděn soustavný monitoring srážek, odtoku, depozice, chemismu vod, hodnoceny jsou taktéž další meteorologické prvky, půdní podmínky, stav a vývoj vegetace včetně managementu dotčených ploch, povodí jsou taktéž hodnoceny pomocí dat dálkového průzkumu Země. Není účelem tohoto příspěvku zde popisovat metody uvedeného sledování, ty byly již podrobně popsány v předcházejících studiích (Procházka et al. 2001, 2006, 2008). Vzhledem k tématu příspěvku je ale potřebné uvést, že každé povodí disponuje na odtoku závěrným profilem s automatickou registrační jednotkou, kde je kontinuálně zaznamenáván průtok, elektrická vodivost a teplota odtékající vody. Současné jsou na povodích dvě manuální srážkoměrné stanice s dobrovolným pozorovatelem (stanice ČHMÚ Frymburk - Svatý Tomáš a stanice ZF JU Pasečná) a dvě automatické meteorologické

stanice (stanice ZF JU Pasečná - Mlýnský potok a Horský potok). V příspěvku jsou použita data (teplota povrchu) z družice Landsat 8 OLI/TIRS z termínů 23. 7. 2013 a 6. 6. 2015.

V rámci předložené studie jsou hodnoceny srážky a odtoky za období 1998 – 2017 s tím, že pro povodí Mlýnského potoka jsou počítány srážkové úhrny ze stanice Pasečná a pro povodí Horského a Bukového potoka úhrny ze stanice Svatý Tomáš.

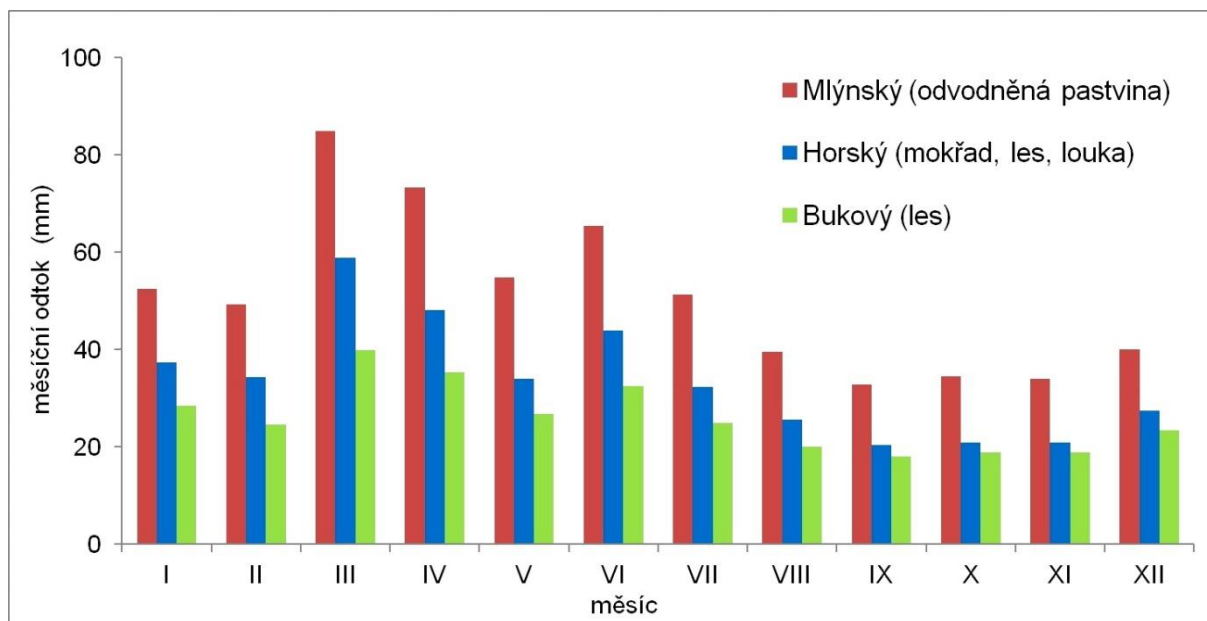
Výsledky

Výsledky dvacetiletého měření teploty vzduchu a srážkových úhrnů částečně shrnuje klimadiagram pro výzkumnou stanici Pasečná – Mlýnský potok (Obr. 2). Pokud jde o srážky, projevuje se v této oblasti i jinde běžné letní maximum v červenci, nejnižší úhrn srážek je v posledních letech zaznamenáván v dubnu, dále pak tradičně v podzimních měsících. Vyšší srážky v prosinci a lednu jsou mírným náznakem zimního maxima, které je běžnější ve vyšších návětrných polohách Šumavy. Průměrné měsíční teploty vzduchu odpovídají běžnému rozdělení, na celkovém průměru se mírně projevuje častější výskyt teplotně nadprůměrných měsíců a v republikovém rozměru i nižší zeměpisná šířka. Stanice Pasečná svými hodnotami charakterizuje spíše střední a nižší polohy sledované oblasti, vyšší polohy jsou srážkově o něco málo bohatší charakterizované srážkoměrnou stanicí Svatý Tomáš (980 m n. m.) a s mírně nižší teplotou vzduchu. Vzhledem k velikosti povodí a jejich víceméně těsnému sousedství jsou však tyto rozdíly spíše zanedbatelné.



Obr. 2. Klimadiagram podle Waltera pro výzkumnou stanici Pasečná za období 1998 – 2017.

Dlouhodobý měsíční průměr srážek je 80 mm, naopak dlouhodobý měsíční průměr odtokových výšek je pro Mlýnský 51, pro Horský 34 a pro Bukový 26 mm. Nejvýznamnější měsíční odtok je v březnu (Mlýnský 85, Horský 59 a Bukový 40 mm), nejnižší pak v září (Mlýnský 33, Horský 20 a Bukový 18 mm). Nejvyšší odtok je dlouhodobě z povodí charakterizované odvodněnou pastvinou (Mlýnský) ve srovnání s povodími Horským a Bukovým, kde jsou významně zastoupeny lesy, mokřady, lada či kosené louky (Obr. 3).



Obr. 3. Porovnání průměrného měsíčního odtoku ze sledovaných povodí za období 1998 – 2017.

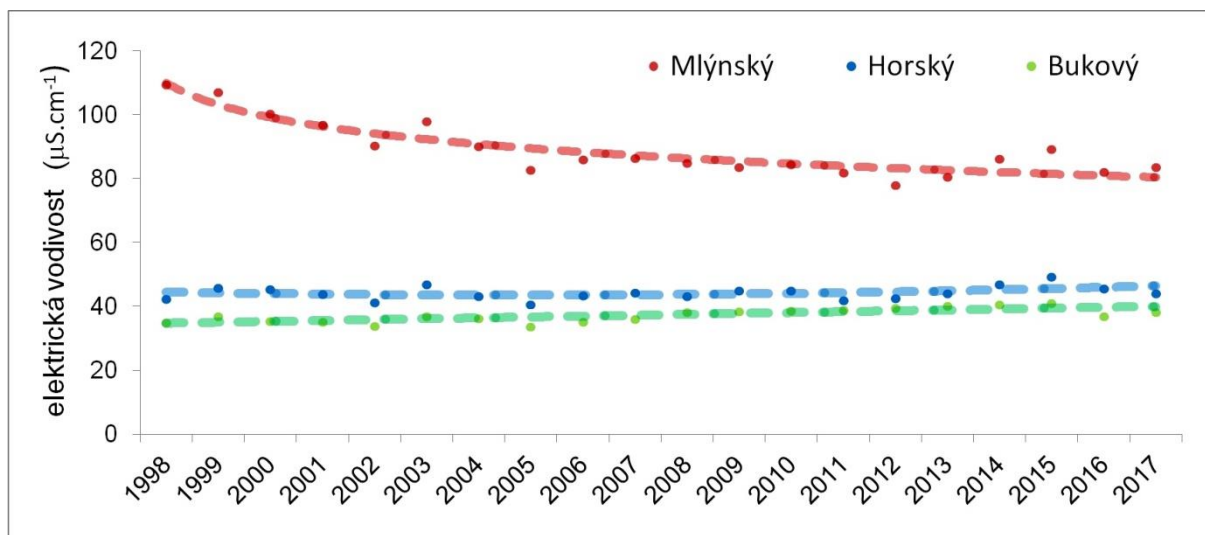
Podíl otoku na srážkách v průběhu sledovaných hydrologických roků (1998 – 2017) je dlouhodobě nejvyšší z povodí Mlýnského potoka, v průměru z odvodněných pastvin odteče 60 % z dopadajících srážek. V případě Horského potoka je to 38 % a v případě Bukového potoka tvořeného téměř výhradně lesem jen 34 % (Tab. 1).

Se způsobem využívání území a odtoky vody do určité míry souvisí i množství látek, které voda z krajiny odnáší. Jednoduše lze tuto představu získat měřením elektrické vodivosti vody, která koresponduje s množstvím ve vodě rozpuštěných látek. Na modelových povodích je elektrická vodivost společně s průtokem (výškou hladiny) měřena kontinuálně na závěrných profilech. Z výsledků měření vyplývají značné rozdíly v hodnotách vodivosti vody mezi Mlýnským povodím a srovnávaným Horským a Bukovým. Přestože se ve vodě z Mlýnského povodí dochází ke znatelnému poklesu vodivosti, dlouhodobě jsou zaznamenávány podstatně

vyšší hodnoty. Hodnoty vodivosti v Horském a Bukovém potoce jsou po celé období víceméně vyrovnané (Obr. 4).

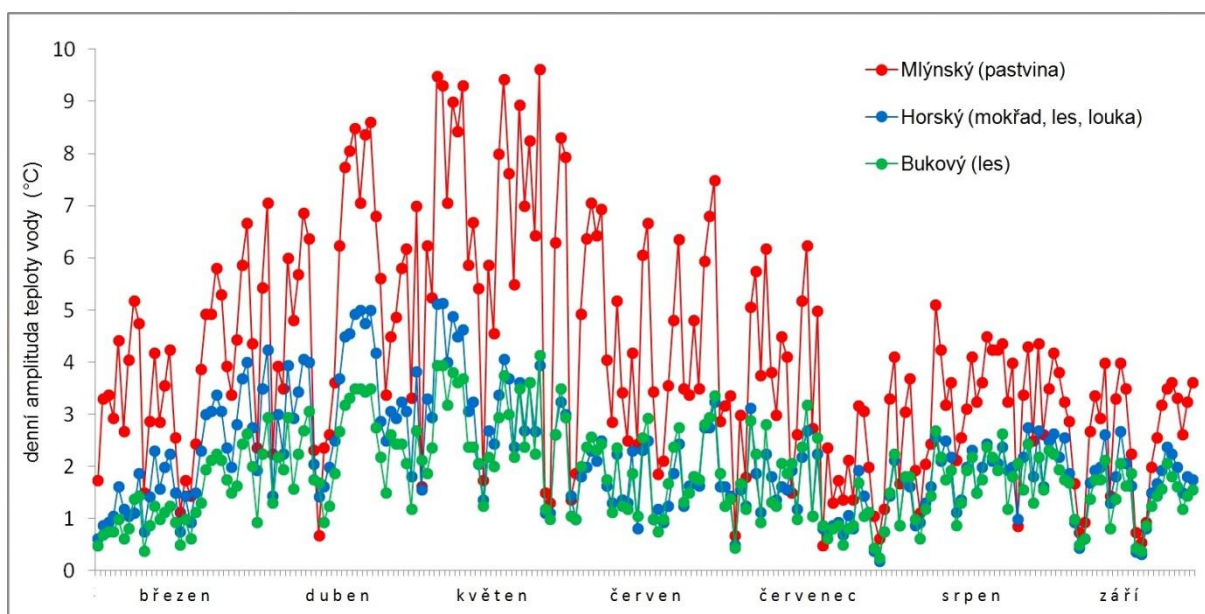
Tabulka 1. Poměr výšky odtoku a srážek na modelových povodích v období hydrologických roků 1998 až 2017.

odtok / srážky hydrologický rok	Mlýnský (odvodněná pastvina)	Horský (mokřad, les, louka)	Bukový (les)
1998	0.52	0.33	0.31
1999	0.66	0.44	0.38
2000	0.62	0.43	0.36
2001	0.54	0.33	0.31
2002	0.67	0.46	0.43
2003	0.60	0.40	0.37
2004	0.50	0.32	0.30
2005	0.63	0.41	0.38
2006	0.59	0.38	0.35
2007	0.57	0.36	0.33
2008	0.68	0.41	0.33
2009	0.62	0.39	0.34
2010	0.68	0.40	0.32
2011	0.50	0.35	0.30
2012	0.56	0.40	0.35
2013	0.71	0.40	0.36
2014	0.41	0.25	0.19
2015	0.62	0.42	0.39
2016	0.63	0.41	0.34
2017	0.58	0.33	0.30
průměr	0.60	0.38	0.34



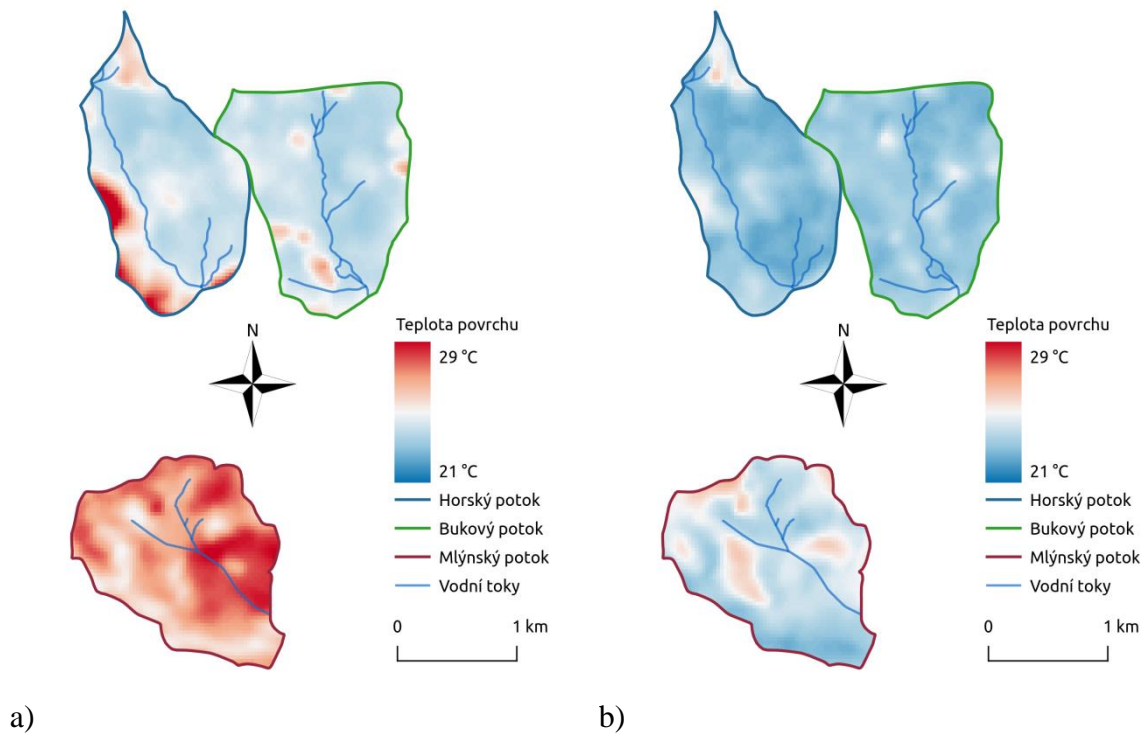
Obr. 4. Průměrné roční hodnoty a trend elektrické vodivosti odtékající vody z modelových povodí za období 1998 – 2017.

Podobným ukazatelem souvisejícím nepřímo s vodním režimem v povodí je teplota vody. Zejména se jedná o fluktuace teploty během dne a noci ve vegetačním období. Přestože Mlýnským potokem protéká zpravidla nejvíce vody, dochází zde k nejvýraznějším výkyvům teploty v průběhu dne, zaznamenány jsou nejvyšší hodnoty denní amplitudy teploty vody (Obr. 5). To ukazuje na výraznější přehřívání okolních odvodněných pastvin během dne a naopak ochlazování během noci spojené s nedostatkem vegetace a vody na povrchu ploch povodí.



Obr. 5. Denní amplitudy (rozdíl mezi denním maximem a minimem) teploty vody na příkladu období od března do září v roce 2011.

Výsledky analýzy satelitních dat z družice Landsat snímaných termálním skenerem ukazují, že v povodích Horského a Bukového potoka s větším množstvím vegetace, rozsáhlými plochami lesa a vlhkých ploch nedochází k takovému přehřívání povrchu, jako je tomu na plochách v povodí Mlýnského potoka. Důsledkem odstranění biomasy pastvou a kosením je zvýšený ohřev povrchu území, podobně je tomu např. na lesních mýtinách či ojedinělých plochách se zástavbou (Pasečná, Svatý Tomáš). S rostoucím množstvím vegetace na povrchu krajiny díky intenzivnější transpiraci rostlin a ochlazování povrchu klesá jeho teplota (Obr. 6). Na červeném snímku je vidět, že dochází ke zvyšování teploty povrchu na pasených plochách. Červencový snímek vykazuje již výrazné rozdíly povrchových teplot, kdy narušená vegetace nedokáže účinně stabilizovat teplotu povrchu. Plochy se zvýšenou teplotou povrchu v povodí Horského potoka korespondují s pokosenými plochami luk.



Obr. 6. Teplota povrchu krajiny modelových povodí z dat družice Landsat 8 OLI/TIRS z termínů a) 23. 7. 2013 a b) 6. 6. 2015. Snímky jsou pořizovány v dopoledních hodinách, jednotlivá povodí jsou rozlišena barvou rozvodnice.

V průměru, vyjádřeno číselně, nemusí být na modelových povodích rozdíly tak markantní, nicméně jsou vždy zřejmé v neprospěch Mlýnského potoka. Toto povodí je v případě hodnocených dat z roku 2013 na povrchu o 2,3 °C resp. 2,8 °C v průměru teplejší, na snímku

z roku 2015 o 1,0 °C resp. 0,9 °C, než je průměr teplot povrchu v povodí Horského a Bukového potoka (Tab. 2).

Tabulka 2. Průměrná teplota povrchu krajiny modelových povodí vypočtená z hodnot družice Landsat 8 OLI/TIRS v termínech 23. 7. 2013 a 6. 6. 2015.

	2013	2015
Mlýnský	27.0	24.2
Horský	24.7	23.2
Bukový	24.2	23.3

Diskuze

Absence vzrostlé vegetace a půdního profilu schopných zadržet větší podíl srážkové vody se projevuje na vyšších odtocích vody z povodí s plochami odvodněných pastvin. Na povodí Mlýnského potoka, které bylo kdysi zemědělsky intenzivně využíváno, včetně pěstování plodin na orné půdě, a za tímto účelem důsledně odvodněno, jsou dlouhodobě měřeny vyšší odtoky vody. Přestože byly všechny zemědělské plochy v tomto povodí po roce 1990 zatravněny, kvůli stávajícímu odvodnění většiny ploch dochází neustále k mineralizaci půdního profilu a vyplavování látek do vodního toku. Díky tomu je zde soustavně měřena vyšší elektrická vodivost, než je tomu u srovnávaných vodních toků Horského a Bukového potoka, které velkoplošné odvodnění nepostihlo. S vyšší elektrickou vodivostí přímo souvisí i vyšší koncentrace látek v odtékající vodě a s tím spojené nevratné ztráty odnosem, jak bylo dokumentováno v několika studiích (Procházka et al. 2001, 2006, 2009).

Bayer a kol. (2004) na základě výzkumu šumavského lesního povodí Liz popisují tvorbu odtoku vody z povodí ve vegetační sezóně a definují kvantitativní představu o výměně vody v malém a velkém vodním oběhu. V sezóně roku 1999 došli k závěru, že 43 % srážek pochází z malého a 57% z velkého oběhu vody, který má původ ve výparu z oceánu. Konstatují, že vodu z půdy vrací do atmosférické části malého oběhu pouze evapotranspirace. V rámci studie využití dálkového průzkumu Země v ochraně přírody (Procházka a kol. 2014) byly dokumentovány rozdíly v denní evapotranspiraci vypočtené ze satelitních dat Landsat 5TM z 26. května 2011 a pozemního měření pomocí modelu SEBS 0.1 (Brom 2012). V tomto období vysokého příkonu sluneční energie a ještě dostatku dostupné vody pro transpiraci vycházela v lesních a mokřadních porostech Horského a Bukového povodí denní evapotranspirace místy více než 6 mm, zatímco některé odvodněné plochy s minimem vegetace na povodí Mlýnského potoka vykazovaly denní úhrn poloviční. Yang et al. (2017) ve své studii stanovení evapotranspirace lesů v Severní Karolíně prostřednictvím satelitních dat z Landsatu stanovují

hodnoty denní evapotranspirace až 7 mm. Evapotranspiraci nelze v zúženém pohledu považovat za nevyhnutelnou ztrátu vody, ale jako proces chlazení krajiny, recyklaci vody a přitahování vlhkého vzduchu od oceánů (Pokorný 2018). Studie mnoha lesních ekosystémů na celém světě prokazují významný nárůst evapotranspirace a také snížení odtoku po opětovném zalesnění (Andréassian, 2004; Bosch a Hewlett, 1982; Sørensen a kol., 2009). Podobně výsledky z více než 250 povodí na celém světě zohledněné ve studii Zhanga et al. (2009) ukazují v případě lesních porostů pozitivní vztah mezi dlouhodobou průměrnou evapotranspirací a srážkami.

Rozdíly v teplotních projevech lesních ploch na Šumavě hodnotil pomocí pozemního měření na příkladu tří lesních povodí Tesař (2006), kdy největší přehřívání dokumentoval v lese s odumřelým stromovým patrem, tedy bez vzrostlé vegetace. Vyrůstající teplotu vzduchu centrální Šumavy prezentoval již dříve Bäsler 2008, v poslední době také např. Bernsteinová et al. 2015 a Langhammer et al. 2015, kteří zdůrazňují nejvyšší vzrůst teploty vzduchu vlivem klimatických změn a rozpadu lesa v jarním období. To má dle autorů, mimo jiné, za následek rychlejší odtávání sněhové pokrývky a změny v sezónnosti a variabilitě odtoku z povodí postižených kůrovcovou kalamitou.

Nejnověji výklad efektu lesa a obecně krajinného pokryvu na oběh vody opřený o bohatou literaturu uvádí Sheil (2018), zdůrazňuje přitom zanedbávaný chladicí efekt stromu, chladicí efekt vegetace. Prostřednictvím satelitních dat družice Landsat 7 ETM+ jsou v této studii dokumentovány rozdíly v povrchových teplotách na modelových povodích na příkladu dvou termínů z let 2013 a 2015. Ty dobře odrážejí stav vegetačního krytu a aktuální evapotranspiraci závislou taktéž na vodním režimu ekosystémů v modelových povodích. Kromě obecně vyšších teplot na plošně významných odvodněných plochách v povodí Mlýnského potoka, vykazují vyšší teploty povrchu i plošně méně významné plochy pokosených luk a zástavby v povodí Horského potoka. Podobné výsledky přineslo hodnocení několika starších satelitních snímků družice Landsat 5 TM a Landsat 7 ETM+ v předcházejících studiích (Procházka et al. 2001, 2006, 2014). Vyšší teploty povrchu na odvodněných pastvinách jsou důsledkem i vyšších amplitud teploty odtékající vody Mlýnského potoka. Cassie (2006) uvádí, že teplotní režim říčních systémů hraje důležitou roli v celkovém stavu vodního prostředí, včetně problémů s kvalitou vody, rozšíření druhů rostlin a živočichů, a je potřeba studovat a pochopit i související procesy výměny tepla s okolím. Vliv zalesnění na teplotní režim řek studoval v oblasti JZ Polska Ptak (2017). Zdůrazňuje, že výsledky sledování vlivu lesa na teplotu vody odpovídají zjištěním studií z celého světa, mají v kontextu klimatické změny praktickou hodnotu a zdůrazňuje nutnost vyžadovat

odpovídající lesní hospodaření pro zachování lesa v okolí větších řek i jejich menších přítoků. Pozitivní vliv lesa na vyrovnaný teplotní režim odtékající vody je dobře dokumentován na příkladu zalesněného povodí Bukového potoka, potažmo Horského potoka, kde je les zastoupen významně.

Závěr

Zpracované a předložené výsledky sledovaných šumavských povodí Mlýnského, Horského a Bukového potoka jsou založeny na dvacetiletém soustavném a komplexním monitoringu. Malá povodí o ploše něco přes 200 ha se srovnatelnými podmínkami lišícími se ve způsobu využití území vykazují rozdílné parametry v odtoku vody, teplotních projevech, chemismu vody. Lesní povodí Bukového potoka má dlouhodobě nejnižší odtoky, vyrovnané teplotní projevy, odtékající voda obsahuje velmi nízké koncentrace látek. Lesnímu povodí se svými parametry blíží povodí Horského potoka s krajinou mozaikou tvořenou mokřady, lesy, lada a loukami.

Odvodněné povodí Mlýnského potoka vykazuje ve všech směrech zhoršené parametry včetně zvýšeného odtoku vody, vysokých hodnot a fluktuací teploty na povrchu krajiny i v odtékající vodě, zhoršené kvality vody. Výsledky dlouhodobého monitoringu modelových povodí prokazují významný vliv využití území na oběh vody v krajině.

Literatura

- Andréassian, V., 2004. Waters and Forests: From Historical Controversy to Scientific Debate. *Journal of Hydrology* 291:1-27.
- Balatka, B., Kalvoda, J. 2006. *Geomorfologické členění reliéfu Čech*. Praha: Kartografie Praha, 2006. 78 s. ISBN 80-7011-913-6.
- Bässler, C. 2008. Klimawandel—Trend der Lufttemperatur im Inneren Bayerischen Wald(Böhmerwald). *Silva Gabreta* 14, 1–18.
- Bernsteinová, J., Bässler, C., Zimmermann, L., Langhammer, J., Beudert B. 2015. Changes in runoff in two neighbouring catchments in the Bohemian Forest related to climate and land cover changes. *J Hydrol. Hydromech.* 63(4), 342 – 352.
- Bosch, J. M. & Hewlett, J. D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.* 55, 3–23.

- Brom, J., 2012. Module for Spatial Computing of Surface Energy Balance and Crop Water Stress - „SEBCS 0.1”. Software + Manual. University of South Bohemia in České Budějovice, Faculty of Agriculture, České Budějovice. Czech Republic.
- Caissie, D., 2006. “The Thermal Regime of Rivers: A Review,” *Freshwater Biology*, Vol. 51, No. 8, 2006, pp. 1389-1406. doi:10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x
- Horáková, H. (2010): Post-Communist Transformation of Tourism in Czech Rural Areas: New Dilemmas. *Anthropological Notebooks* 16(1), 59–77.
- Kalvová J. et al.: *Köppen climate types in observed and simulated climates*, Stud. Geophys. Geod. **47**, 185-202, 2003.
- Kolektiv autorů. Atlas podnebí ČSR. Praha, 1958
- Langhammer, J., Su, Y., Bernsteinová, J. 2015. Runoff response to climate warming and forest disturbance in a mid-mountain Basin. *Water* 7, 3320–3342.
- Pokorný, J., 2018. Evapotranspiration, In: Fath, B.D. (ed.) *Encyclopedia of Ecology* 2nd Edition, Elsevier Book, (p. 3200), ISBN: 9780444637680, in press.
- Povodí Vltavy, státní podnik, 2016. Plán dílčího povodí ostatních přítoků Dunaje. Leden 2016 [cit. 2018-06-10] Dostupné z: <http://www.pvl.cz/portal/pdp/DU/index.html>
- Procházka, J., Hakrová, P., Pokorný, J., Pecharová, E., Hezina, T., Šíma, M., Pechar, L., 2001. Effect of different management practices on vegetation development, losses of soluble matter and solar energy dissipation in three small sub-mountain catchments. In J. Vymazal (Ed.). *Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands*. Leiden, The Netherlands: Backhuys. pp. 143–175
- Procházka, J., Včelák, V., Wotavová, K., Štíhová, J., Pechar, L., 2006. Holistic concept of landscape assessment: Case study of three small catchments in the Šumava Mountains. *Ekológia (Bratislava)*, 25 (Supplement 3/2006), pp. 5–17.
- Procházka, J., Brom, J., Pechar, L., Štíhová, J., Pokorný, J. 2008, Changes in Concentrations of Dissolved Solids in Precipitation and Discharged Water from Drained Pasture, Natural Wetland and Spruce Forest During 1999–2006 in Šumava Mountains, Czech Republic. In J. Vymazal (ed.), *Wastewater Treatment, Plant Dynamics and Management* 39 in *Constructed and Natural Wetlands*. Springer Science + Business Media B.V. pp. 39–51
- Procházka, J., Brom, J., Nedbal, V., 2014. Using of Remote sensing for assessment of functional aspects of the landscape – small catchments in Šumava Protected Landscape Area. In. Štych, P., Kupková, L. (eds.): *Dálkový průzkum Země v ochraně přírody (Remote sensing in protection of nature)*. Nakladatelství P3K, Praha, pp. 12–13. ISBN 978-80-87343-14-2.

- Ptak, M., 2017. Effects of catchment area forestation on the temperature of river waters. *Lešné Prace Badawcze/Forest Research Papers*, September 2017, Vol. 78 (3): 251–256
- Ripl, W., 1995. Management of Water Cycle and Energy Flow for Ecosystem Control – The Energy – Transport – reaction (ETR) Model. *Ecological Modelling* 78: 61 – 76.
- Ripl, W., Hildmann, Ch., Janssen, T., Gerlach, I., Heller, S., Ridgill, S., 1995, Sustainable redevelopment of a river and its catchment – the Stör River Project. In M.Eiseltová, J. Biggs (eds.) IWRB Publication 37, pp. 76 – 112.
- Quitt, E.1975. Klimatické oblasti ČSR. Mapa 1: 500 000
- Sheil, D., 2018. Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global water cycle *Forest Ecosystems* (2018) 5:19. <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0138-y>
- Sørensen, R., Ring, E., Meili, M., Högbom, L., Seibert, J., Grabs, T., Laudon, H., Bishop, K., 2009. Forest harvest increases runoff most during low flows in two boreal streams, *Ambio*, 38, 357–363.
- Tesař, M., Šír, M., Lichner, L., Zelenková, E. 2006. Influence of vegetation cover on thermal regime of mountainous catchments. *Biologia (Bratisl)*. 61, 311–314.
- Tolasz R. a kol.: *Atlas podnebí Česka*, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Olomouc, 2007.
- Yang, Y., M. C. Anderson, F. Gao, C. R. Hain, K. A. Semmens, W. P. Kustas, A. Noormets, R. H. Wynne, V. A. Thomas, and G. Sun (2017a), Daily Landsat-scale evapotranspiration estimation over a forested landscape in North Carolina, USA, using multi-satellite data fusion, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21 (2), 1017–1037, doi:10.5194/hess-21-1017-2017.
- Zhang, L., Dawes, W.,R., Walker, G., R., 2001. The response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*. 37(no. 3):701-708.

Poděkování

Založený experiment, monitoring a hodnocení vznikly a probíhaly mj. za podpory projektů MŠMT VS 96 072, CEZ 122200003/1, MSM 6007665806 a TE02000077. Poděkovat je potřeba za spolupráci panu Formánkovi a Dr. Kubákovi z Pasečné za spolupráci, pečlivé záznamy a pozorování, a za pomoc všem dalším kolegům z Laboratoře aplikované ekologie ZF JU v Českých Budějovicích a z ENKI, o.p.s. v Třeboni.

Kontakt:

Ing. Jan Procházka, Ph.D.

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta

Studentská 1668, 370 05 České Budějovice

38 777 2748, prochaz@zf.jcu.cz