ROZDÍLNÉ CHOVÁNÍ PÁROVÝCH SMRKOVÝCH PAHORKATINNÝCH MIKROPOVODÍ VE DVOU HYDROLOGICKY ODLIŠNÝCH LETECH

DIFFERENT BEHAVIOR OF PAIR SPRUCE MICRO-WATERSHEDS IN LOW AND HIGH UPLANDS IN TWO HYDROLOGICALLY CONTRASTING YEARS

Jan Deutscher ✉ - Jan Podlipný - Petr Čech - Petr Kupec

Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

✉ ***e-mail: petr.kupec@mendelu.cz***

ORCID: ***J. Deutscher*** ***0000-0003-0702-7049***
P. Kupec ***0000-0002-5693-203X***
P. Čech ***0000-0002-3057-8669***

ABSTRACT

This research focused on comparing two spruce-dominated micro-watersheds with relatively similar natural conditions, located in different forest vegetation zones (FVZ). We followed two hydrologically different years 2023 and 2024, and observed differences in the amount and characteristics of extreme runoff events, which we primarily interpret as the effect of forest stands referring to their hydric functions. The local nature of the study and the short time period should be seen in the broader context of global climate change as contribution to the understanding of the changing role of forest stands in flood protection and also to the issue of extensive changes in tree species composition. Our results highlight the fact that spruce catchments in the lower altitudes (3rd FVZ) achieve significantly lower water management efficiency than spruce catchments closer to their ecological optimum (5th FVZ). This finding is important because it reminds us that challenges connected to spruce management cannot be categorically generalized but must be evaluated in local conditions. This applies, among other things, to extensive changes in tree species composition, which can have a significant positive effect on hydric conditions in the long term, but this effect can only be expected with a lag of several years.

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

Klíčová slova: hydrický režim; změna klimatu; dřevinné složení; vodohospodářská účinnost; protipovodňová ochrana; ekologické optimum

Key word: hydric regime; climate change; species composition; water management efficiency; flood control; ecological optimum

ÚVOD

V posledních letech je lidská společnost svědkem dlouhodobých změn klimatu, které se projevují zvyšováním průměrné roční teploty při téměř setrvalých úhrnech srážek. Současně se čím dál častěji vyskytují klimaticky extrémní události, jako jsou přívalové deště či dlouhotrvající sucha. Do roku 2050 je možné očekávat nárůst průměrných teplot o 1,5 až 2 °C, do roku 2100 pak dokonce o 2 až 4 °C. Celkový úhrn srážek by měl dle modelů mírně vzrůst (o 10–13 % do roku 2100), avšak počet dní se srážkami se pravděpodobně sníží, zejména v letním období. To naznačuje zvýšené riziko přívalových deštů a následných povodní (McMillan et al. 2018). Z výše uvedeného je zřejmé, že je nutné se zaměřit na výzkum možností, jak tlumit povodňové vlny.

Jedním z klíčových prvků protipovodňové ochrany mohou být lesní porosty. Komplexy lesních porostů v současné době pokrývají 34 % povrchu České republiky a jejich výměra soustavně roste (MZe 2024). Mimo to, že poskytují dřevní hmotu a mnoho jiných benefitů pro lidskou společnost, mají lesy nepopiratelný vliv i na koloběh vody v krajině. Ten byl mezi odborníky diskutován již v 19. století, nicméně pozitivní přínos, který lesy přinášely na parametry srážko-odtokového procesu, se zdál být natolik zřejmý, že experimentální výzkum nebyl dlouho považován za nezbytný. Pozdější bádání potvrdilo zásadní úlohu lesa při hospodaření s vodou v krajině, a to především při tlumení povodňových vln v době intenzivních srážek (z českých autorů např. Kantor et al. 2003, ze zahraničních např. Bredemeier et al. 2011 či de la Cretaz, Barten 2007). Bádání přineslo poznatek, že na tuto vodohospodářskou funkci lesa má nezanedbatelný vliv druhová, prostorová a věková skladba porostu, a především lesní půda jakožto dlouhodobě stabilní prvek lesního prostředí (Kantor et al. 2003). Dle práce Šišák (2011) dokáží lesní komplexy tlumit velkou vodu, přičemž jsou schop-

ny snížit kulminační vlnu oproti zemědělské půdě až o polovinu. Je to dáno vysokou infiltrační schopností lesních půd, které dokáží pojmout až 10 mm srážkové vody za minutu. Dále má vliv i to, že v lesním prostředí dochází k vyšší intercepci a evapotranspiraci než v prostředí jiných typů vegetace (Švihla et al. 2023). Šrámek et al. (2023) dále uvádí, že lesní půda je schopna zadržet část srážkové vody. Ta následně zpomaleně odtéká v podobě podpovrchového odtoku, a udržuje tak základní odtok ve vodotečích. Důsledkem toho se v době sucha zvyšují minimální průtoky drobných lesních toků a tato voda je následně k dispozici v krajině níže po toku. Dle dlouhodobých pozorování na řece Svratce jsou odtoky z lesních ploch od 180denního průtoku vyšší než odtoky z hospodářských ploch a od 220denního průtoku vyšší než odtoky z ploch travních porostů (Švihla et al. 2023).

Jedním ze základních hydroekologických parametrů, který lze v lesnické praxi na úrovni povodí vědomě a kontrolovaně ovlivňovat, je dřevinná skladba porostů. Pro účelné změny v krajině je ovšem nutné porozumět vlivu jednotlivých lesních dřevin. Stěžejní je zde rozdíl mezi jehličnatými a listnatými dřevinami kvůli jejich odlišným fyziologickým vlastnostem a zejména odlišnému asimilačnímu aparátu.

Z podmínek střední Evropy a temperátních lesů existuje řada publikací, které dokládají obecně vyšší roční odtoky z listnatých povodí než z jehličnatých. Vyšší odtok z bukových povodí než ze smrkových uvádí ve své publikaci na základě řady výzkumů z Česka, Slovenska a Německa např. Kantor et al. (2003), který zmiňuje zejména nižší intercepci listnatých porostů jako podstatný rozdíl ve vodní bilanci těchto porostů. K podobnému závěru došel ve svém výzkumu vodního režimu smrkových a bukových porostů Švihla et al. (2012). V Orlických horách dosahoval celkový odtok ve vegetační době o 1,85 l/s/km^2 více v případě bukového povodí oproti smrkovému. Efektivní porostní srážka zde byla ve vegetačním období v průměru o 25,8 mm vyšší u buku než u smrku (Švihla et al. 2012), což opět dokládá významně vyšší intercepci smrkového porostu.

Ačkoliv roční odtoky se zdají být plošně vyšší z listnatých povodí, důležité je podívat se podrobněji, které mechanismy kromě rozdílné intercepce to způsobují. Kupec et al. (2018) doložili, že během suchých období (více než týden trvajících bezesrážkových period) vykazují povodí s listnatým a smíšeným lesním porostem významnou schopnost zajišťovat vyrovnané průtoky, zatímco v převážně smrkovém povodí průtok klesá až pod 10 % ročního průměru. Tento výzkum byl proveden v pahorktatinách a potvrzuje, že je zde v případě sušších období odtok z listnatých povodí skutečně vyšší než z jehličnatých. Nicméně zcela odlišná situace byla na stejných územích při reakci na extrémní srážky. Jako účinnější se zde oproti smrkovému ukazuje smíšené (1,5násobně) a bukové (dvojnásobně) mikropovodí (Hemr et al. 2023).

Na základě těchto lokálních výzkumů lze předpokládat, že během roku se vliv listnatých a jehličnatých dřevin na množství odteklé vody výrazně mění a mnohdy se zcela obrací. Zatímco během sušších období, kdy je transpirace omezena vlivem snížené dostupnosti vody v půdě (Lammerant et al. 2023), je odtok z listnatých území vyšší, tak ve vodných obdobích je naopak nižší. Prezentované výzkumy se shodují, že v pahorkatinách listnaté dřeviny přispívají k většímu množství vody v lesních tocích, a z hydroekologického pohledu mohou být považovány za příznivější oproti smrkovým porostům. To je s největší pravděpodobností způsobeno tím, že v českých pahorkatinách během roku převládají právě období se sníženou dostupností vody a že smrk se zde nachází na hranici svého ekologického optima, a nedokáže tak naplnit svůj vodohospodářských potenciál tak jako v horských územích (de Bastos, Hasenauer 2024).

Cílem tohoto výzkumu je srovnat roční průběh základních hydroklimatických veličin během roku 2023 a povodňového roku 2024 ve dvou lesních mikropovodích nacházejících se v pahorkatinách Českomoravské a Drahanské vrchoviny, kde je, resp. byl smrk řídící porostní dřevinou. Práce se zaměřuje na identifikaci tzv. extrémních hydrologických událostí a chce přispět k objasnění role lesních porostů při zvládání těchto zvýšených vodních stavů.

MATERIÁL A METODIKA

Veškerá měření průtoků byla prováděna na stabilizovaných měrných přelivech dvou malých lesních povodí. Mikropovodí (MP) Račín se nachází v LHC Kinský Žďár v blízkosti města Žďár nad Sázavou, a MP Křtiny spadá do LHC ŠLP ML Křtiny, který přiléhá k severní hranici města Brna. Záměrem bylo vybrat podobná pramenná mikropovodí s převahou smrku, avšak v různých nadmořských výškách, resp. jiných lesních vegetačních stupních.

Základní vlastnosti povodí

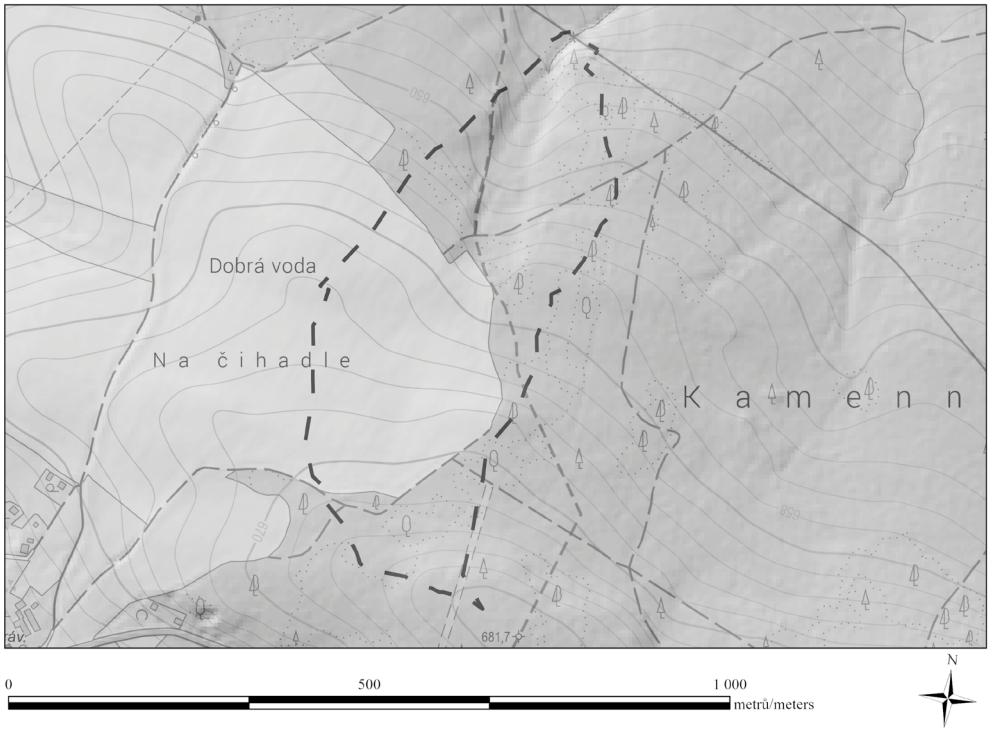
Povodí Račín se rozprostírá kilometr severovýchodně od stejnojmenné obce (Obr. 1). MP Křtiny se rozprostírá přibližně dva kilometry jižně od obcí Rudice a Jedovnice a cca tři kilometry severně od městyse Křtiny, po kterém je pojmenované (Obr. 2). Mikropovodí Račín se nachází o přibližně 150 výškových metrů výše než Křtiny a je oproti nim výrazně menší (Tab. 1). Faktor tvaru (Form factor) vyjadřuje dle Guo et al. (2024) vztah plochy povodí k jeho délce. Čím je číslo nižší, tím je tvar povodí protáhlejší a napovídá rychlejšímu odtoku. Index protáhlosti (Elongation ratio, Gericke 2019) určuje opoždění odezvy průtoku povodí. Čím vyšší je hodnota, tím může být odezva v čase opožděnější. Koeficient kompaktnosti (Compactness Coefficient) určuje vztah plochy povodí a plochy kruhu o stejném obvodu. Čím vyšší je hodnota, tím kratší je odezva průtoku povodí (Shekar, Mathew 2024). Tyto tři koeficienty shodně ukazují, že na základě tvaru obou povodí lze na MP Račín očekávat mírně rychlejší odezvu na srážky. Oproti tomu sklon povodí je mírně vyšší na MP Křtiny.

Geologickým podložím MP Račín je v jižní části povodí granit a v severní části povodí migmatit až ortorula. U MP Křtiny je to primárně droba. Z hlediska pedologie se MP Račín nalézá na kambizemi modální a MP Křtiny na kambizami modální a fluvizemi modální v přímém okolí vodního toku (https://mapy.geology.cz/geo/). MP Račín se nachází v 5. lesním vegetačním stupni (LVS) na kyselém stanovišti, zatímco MP Křtiny se nachází ve 3. LVS na stanovišti živném.

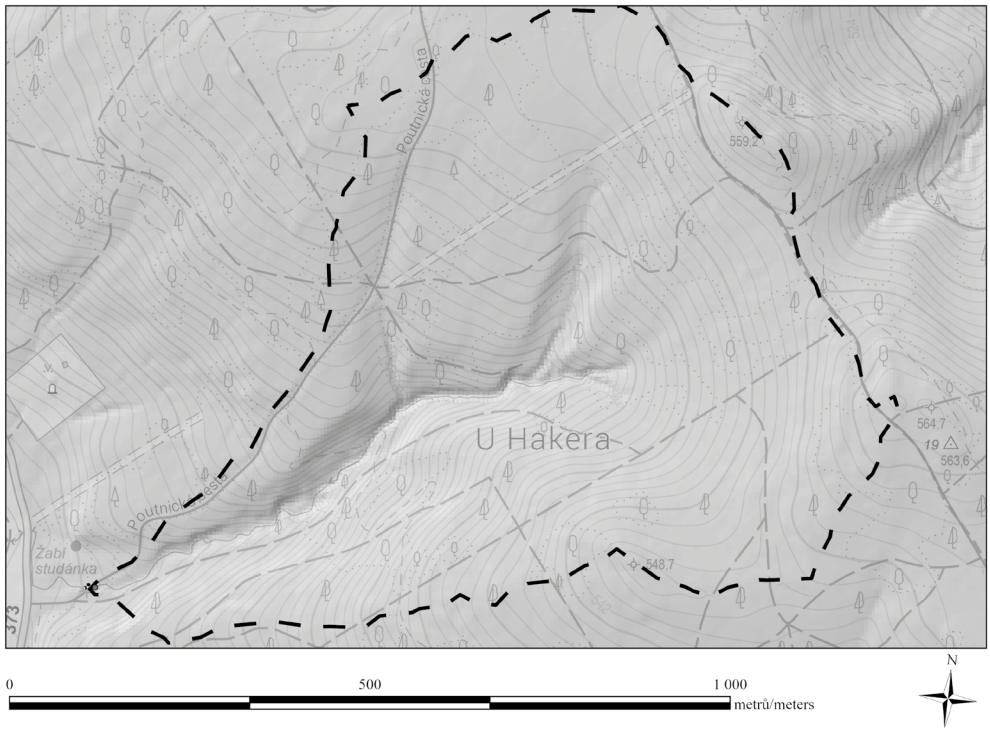
Dřevinná skladba povodí

Data o dřevinné skladbě z dálkového průzkumu Země (DPZ) byla poskytnuta Národním lesnickým institutem a pochází z družicových snímků družice ESA Sentinel-2. Mapa dřevin vznikla řízenou klasifikací družicových snímků ESA Sentinel-2, provedenou na základě spektrální odezvy dřevin v průběhu fenologických fází vegetace s využitím trénovacích dat nasbíraných během pozemního šetření NIL. Výběrem ploch NIL s výskytem lesních dřevin s dominantním nebo majoritním zastoupením bylo možné provést zatřídění pixelů dat Sentinel dle hlavních hospodářských dřevin (https://nli.gov.cz/).

Nejzastoupenější dřevinou na MP Křtiny je dle dat dálkového průzkumu země v roce 2022 buk (59 %; Tab. 2). V době založení experimentálního povodí (v letech 2014–2015) se jednalo o povodí, kde dle LHP z roku 2013 převládalo zastoupení smrkových porostů (smrk 56 %, buk 39 %; viz Kupec et al. 2018). Ještě v roce 2020 byla dřevinná skladba v MP Křtiny na základě několika vegetačních indexů z dat DPZ družice Sentinel-2 identifikována jako: smrk 56 %, buk 39 %, borovice 3 % a dub 1 % (Hemr et al. 2023). V důsledku sanace kůrovcové kalamity v letech 2021–2022 se zde postupně mění dřevinná skladba ve prospěch buku, kdy dochází k výrazné regeneraci lesa umělou i přirozenou obnovou (zejména buk). V rámci tohoto výzkumu je povodí stále považováno za povodí smrkové. Na lokalitě se smrk nacházel po desítky let v dominantním zastoupení, a proto je stále chápán jako řídící dřevina. Tedy druh, který nejvíce ovlivňuje



Obr. 1.
Mikropovodí Račín.
Fig. 1.
The Račín catchment area.



Obr. 2.
Mikropovodí Křtiny.
Fig. 2.
The Křtiny catchment area.

hydrické procesy, respektive má zásadní vliv na parametry srážko-odtokového procesu, zejména půdní vlastnosti (infiltrace, opad, druh humusu apod.). Této problematice je věnována zvýšená pozornost dále v diskusi.

Hydrologická a klimatická data

Závěrné profily obou mikropovodí jsou osazeny Thomsonovým přelivem tvořeným plechovou maskou upevněnou v korytě toku pomocí betonu a ocelových tyčí. Přeliv je opatřen dřevěným přístřeškem a síťkou ve zdržném prostoru, které chrání vtokovou část přelivu před znečištěním listy, jehlicemi, větvemi a jinými nečistotami a předchází zanášení přelivné hrany a následným chybám v měření. Ultrazvukovým hladinoměrem US3200 je každých 15 minut registrována průměrná hladina vody nad přelivem a hodnoty jsou zaznamenávány pomocí dataloggeru HYDRO-LOGGER H2 (obojí od Fiedler AMS s.r.o., České Budějovice). Správnost snímání výšky hladiny je pravidelně kontrolována ručním měřením pomocí kovového milimetrového měřidla. Výšky hladiny naměřené hladinoměrem jsou pak dle těchto kontrol kalibrovány. Výška hladiny (mm) je následně přepočítána na průtok (l/s) dle upravené konsumpční rovnice uváděné výrobcem měřicí techniky pro daný typ Thomsonova přelivu:

$$Q = 1{,}3546 \times h^{2{,}48515}$$

h – výška hladiny nad přelivem

Teplotní data jsou v blízkosti přelivů každých 15 minut měřena a zaznamenávána pomocí výše jmenovaného dataloggeru. Srážková data pro MP Křtiny pochází z vlastní terénní klimastanice ve vzdálenosti do 1 km od přelivu (MeteoUNI, Amet, Velké Bílovice). Srážková data pro MP Račín pochází z meteorologické stanice ČHMU Žďár nad Sázavou, Stržanov (www.chmi.cz, 2024).

Stanovení extrémních průtokových událostí (EPU)

V první řadě byl pro každé mikropovodí vytvořen hydrogram znázorňující průběh denních průtoků (l/s) a denních srážek (mm) pro oba řešené roky 2023 a 2024. Kalendářní roky jsou prezentovány zvlášť, aby byly extrémní události vyhodnocovány vždy relativně k vodnosti daného roku.

Z denních dat o průtocích byl stanoven průměr a percentil 90. Percentil 90 byl použit pro identifikaci EPU. Délka trvání EPU byla počítána z nepřerušené doby, kdy denní průtok neklesl pod percentil 90 daného mikropovodí. Výše popsaná metoda stanovení EPU byla použita na základě článku Willems, Lloyd-Hughes (2016), kde je percentil 90 uveden jako jedna z možností pro stanovení extrémní klimatické události. Vegetační období u jednotlivých mikropovodí bylo stanoveno dle analýzy teplot. Za začátek byl považován pátý den, kdy na jaře průměrná denní teplota neklesla pod 5 °C a za konec pak desátý den na podzim, kdy se průměrná denní teplota držela pod kri-

Tab. 1.
Hydrogeomorfologické charakteristiky povodí.
Hydrogeomorphological characteristics of the catchment.

Hydrogeomorfologická charakteristika/Hydrogeomorphological characteristics	MP Račín	MP Křtiny
plocha povodí/catchment area (ha)	18,3	56
expozice/exposure	jižní/south	jihozápadní/southwest
nejmenší nadmořská výška povodí/ lowest altitude of the catchment (m)	638	461
největší nadmořská výška povodí/ highest altitude of the catchment (m)	684	564
průměrná nadmořská výška povodí/ mean alltitude of the catchment (m)	661	513
obvod povodí/catchment circumference (m)	2020	3218
průměrný sklon povodí/average slope of the catchment (%)	10,8	13,8
faktor tvaru/shape factor (Guo et al. 2024)	0,56	1,04
index protáhlosti/elongation index (Gericke 2019)	0,44	0,71
koeficient kompaktnosti/compactness coefficient (Shekar, Mathew 2024)	1,33	1,21

Tab. 2.
Dřevinná skladba uvnitř mikropovodí v roce 2022.
Tree species composition in the catchments in 2022.

Dřevinná skladba/Species composition (%)	MP Račín	MP Křtiny
smrk/spruce (*Picea abies*)	78	29
buk/beech (*Fagus sylvatica*)	13	59
dub/oak (*Quercus petrea*)	0	1
ostatní jehličnaté/other conifers	2	7
ostatní listnáče/other broad-leaved	7	4

https://doi.org/10.59269/ZLV/2025/4/774

tickou hodnotu 5 °C (dle Körner al. 2023). EPU byly dále rozděleny dle toho, zda se udály ve vegetační době či nikoliv a bylo jim přiřazeno označení skládající se ze zkratky povodí (R – Račín, Kř – Křtiny), zda jde o událost ve vegetačním období či nikoliv (V – vegetační období, N – nevegetační období) a pořadového čísla. Předpokládáme, že vznik takto definovaných EPU je způsoben primárně kombinací srážky a spotřebou vody vegetací (transpirací). Tzn. že během vegetační doby je pro vznik EPU potřeba relativně vysoká srážka, protože je v povodí vysoká spotřeba vody. Mimo vegetační období pak nižší spotřeba vody v povodí znamená, že EPU mohou být způsobeny i relativně nižší srážkou. Z vyhodnocování byly vyloučeny dvě Specifické události EPU R-N-2 a Kř-N-4 z roku 2023, jelikož vznikly důsledkem intenzivního tání sněhu, a nelze je tedy považovat za odezvu na srážkovou událost.

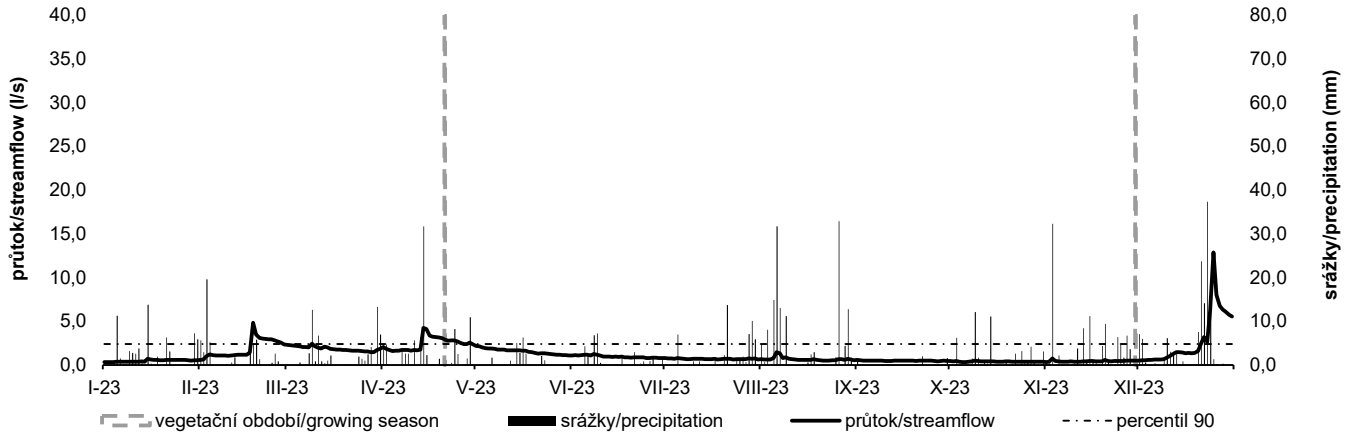
Vyhodnocování extrémních průtokových událostí (EPU)

Pro každou EPU byly stanoveny základní průtokové charakteristiky (průměrný průtok, maximální průtok, celkový odtok, poměr max. průtoku a ročního průměru). Základní srážkové charakteristiky předchozích dešťových událostí (suma srážek a průměrná denní intenzita srážek) byly hodnoceny v rozsahu, ve kterém potenciálně mohly ovlivnit danou EPU. Za relevantní byly považovány srážky, které se vyskytovaly nejpozději v den před počátkem nárůstu průtoku nebo v průběhu EPU až po kulminaci průtoku. Pro jednotlivé EPU byla provedena korelační analýza všech výše uvedených průtokových charakteristik k oběma výše uvedeným srážkovým charakteristikám. Cílem bylo ověřit příčinnou souvislost mezi charakterem srážky a způsobenou odtokovou událostí.

VÝSLEDKY

Hydrologická situace jednotlivých let

Průměrný průtok v roce 2023 na MP Račín dosáhl 1,22 l/s a celkové srážky 809 mm (Obr. 3), což odpovídá odtokovému koeficientu 0,26 (Tab. 3). Vegetační období trvalo od 21. 4. do 30. 11. 2023, tedy 224 dní. Percentil 90 odpovídal hodnotě 2,4 l/s. V roce 2023 se zde vyskytly 3 EPU, přičemž všechny mimo vegetační období.



Obr. 3.
Hydrogram mikropovodí Račín 2023.
Fig. 3.
The Račín hydrograph 2023.

Tab. 3.
Základní charakteristiky průtoku a srážek v jednotlivých letech.
Basic characteristics of streamflow and precipitation in individual years.

	Průměrný průtok/ Mean streamflow (l/s)	Srážky/ Precipitation (mm)	Odtokový koeficient/Runoff coefficient	Délka vegetačního období/Length of the growing season (days)	Srážky ve vegetačním období/ Precipitation during growing season		
MP Račín 2023	1,22	809	0,26	224	61%	431,4	53%
MP Křtiny 2023	1,73	933	0,1	247	68%	778,1	83%
MP Račín 2024	2,7	841	0,55	256	70%	624,1	74%
MP Křtiny 2024	3,3	784	0,24	257	70%	678,3	87%

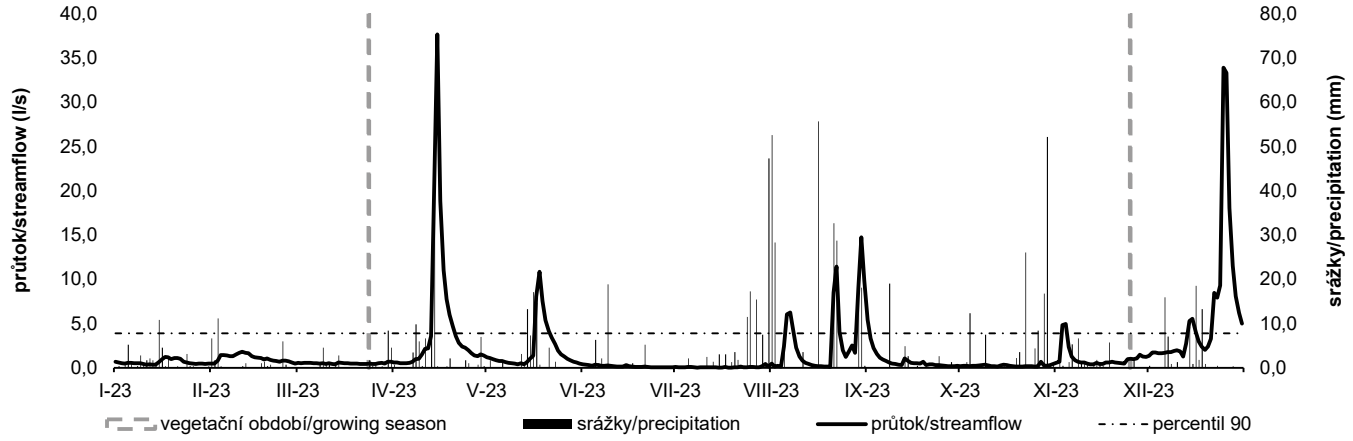
Průměrný průtok v roce v roce 2023 na MP Křtiny dosáhl 1,73 l/s a celkové srážky 933 mm (Obr. 4), což odpovídá odtokovému koeficientu 0,10 (Tab. 3). Vegetační období trvalo od 21. 4. do 30. 11. 2023, tedy 247 dní. Percentil 90 odpovídal hodnotě 3,9 l/s. Vyskytlo se zde 7 EPU, přičemž 6 z nich ve vegetační době.

Průměrný průtok v roce 2024 na MP Račín dosáhl 2,7 l/s a celkové srážky 841 mm (Obr. 5). To odpovídá odtokovému koeficientu 0,55, což je dvojnásobek předchozího roku (Tab. 3). Vegetační období trvalo od 4. 3. do 12. 11. 2024, tedy 256 dní, což je téměř o měsíc déle než v předchozím roce. Percentil 90 odpovídal hodnotě 4,1 l/s. V roce 2024 se zde vyskytly 3 EPU, přičemž dvě mimo vegetační období a jedna po extrémních deštích na konci září, což je konzistentní s průběhem v předchozím roce 2023.

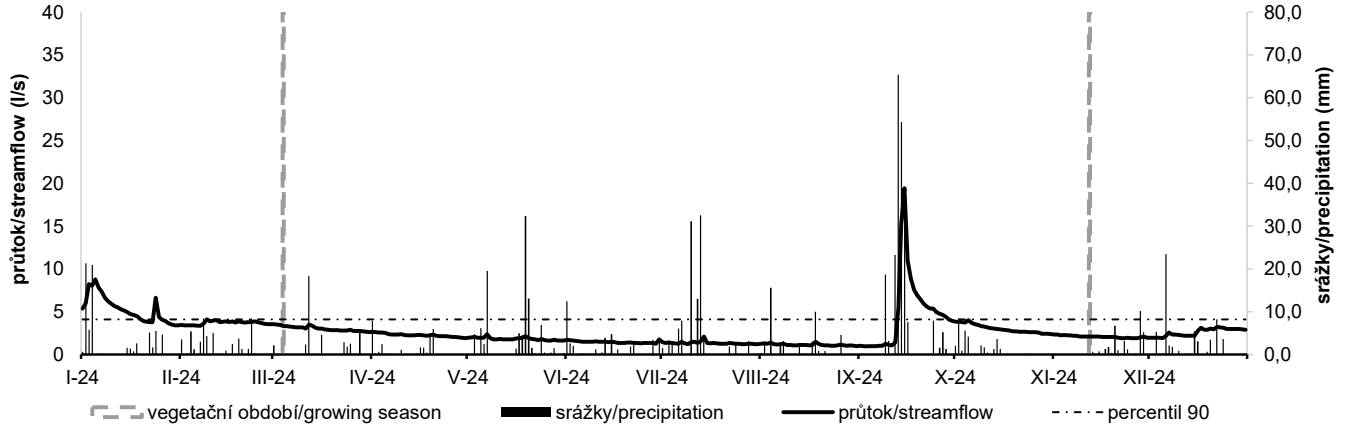
Průměrný průtok v roce v roce 2024 na MP Křtiny dosáhl 3,3 l/s a celkové srážky 784 mm (Obr. 6), což odpovídá odtokovému koeficientu 0,24, tedy dvakrát více, než v uplynulém roce (Tab. 3). Vegetační období trvalo od 1. 3. do 12. 11. 2024, tedy 257 dní. Percentil 90 odpovídal hodnotě 7,2 l/s. Vyskytlo se zde 10 EPU, přičemž 8 z nich ve vegetační době.

Charakterizace EPU

Charakteristiky EPU vykazují vysokou rozdílnost v jednotlivých mikropovodích (Tab. 4). Liší se zejména četností, délkou trvání a relativním navýšením průtoku definovaným poměrem maxima povodňové vlny s průměrným ročním průtokem. Události v MP Račín se vyskytují pouze mimo vegetační období a jsou v průměru o několik dní delší než na MP Křtiny. Relativní navýšení průtoku bylo ve Křtinách více než dvakrát vyšší než na MP Račín. Toto srovnání platí v obou sledovaných letech. Specifikem je pak období extrémních srážek v září, při němž během pěti dní napršelo 180 a 220 mm na MP Račín, respektive na MP Křtiny. Během EPU vyvolané těmito bouřkami došlo k povodňové vlně dosahující 7,2- a 19,8násobku ročního průměru a událost trvala 16 a 7 dní na MP Račín, respektive Křtiny.



Obr. 4.
Hydrogram mikropovodí Křtiny 2023.
Fig. 4.
The Křtiny hydrograph 2023.



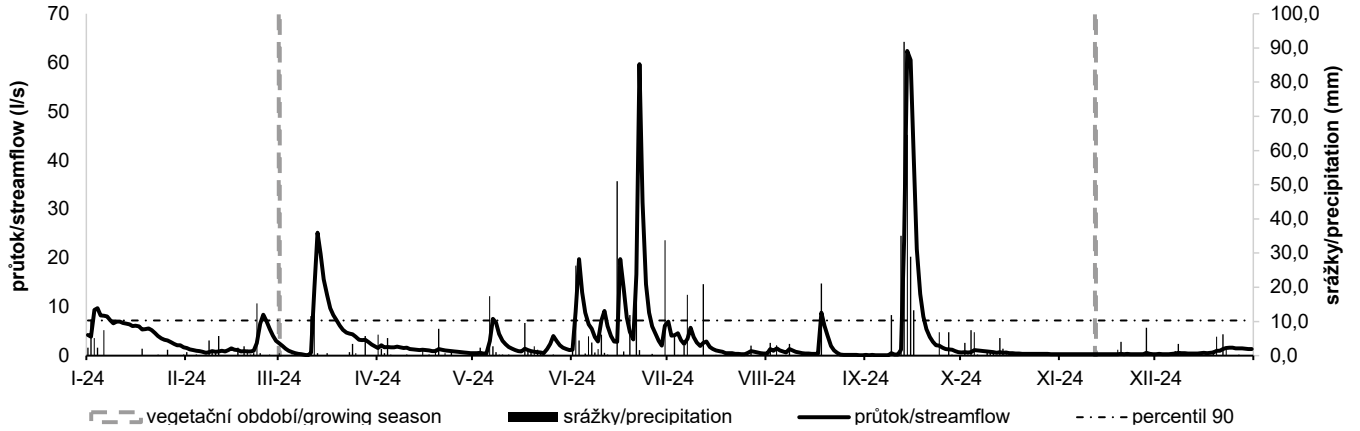
Obr. 5.
Hydrogram mikropovodí Račín 2024.
Fig. 5.
The Račín hydrograph 2024.

 https://doi.org/10.59269/ZLV/2025/4/774

Tab. 4.
Charakteristiky pozorovaných EPU. Kurzívou je označena EPU způsobená extrémními přívalovými dešti a následnými povodněmi. Tato událost je pro svou extremitu vyjmuta ze souhrnného srovnání.
Characteristics of the observed EPUs. EPUs caused by extreme torrential rains and floodings are given in italics. These events are excluded from the summary comparison due to their extremity.

2023	Trvání (dny)/ Duration (days)	Datum/ Date	Průměr z maximálních denních průtoků/Average of maximum daily streamflows (l/s)	Maximální denní průtok v události/ Maximum daily streamflow during EPU (l/s)	Odtok/ Discharge (m^3)	Poměr maximální/roční průměr průtoku/Ratio of maximum/annual average streamflow	Srážky/ Precipitation (mm)	Intenzita srážek (mm/den)/ Precipitation intensity (mm/day)
R-N-1	10	18.-27.2.	3,14	4,83	2712	3,96	6,19	3,09
R-N-2	1	9.3.	2,43	2,43	210	1,99	15,30	7,65
R-N-3	13	14.-26.4.	3,14	4,25	3531	3,49	38,10	19,05
průměr/ average	8		2,90	3,84	2151	3,15	19,86	9,93
Kř-N-1	2	14.-15.12.	5,41	5,54	935	3,20	10,17	5,08
Kř-V-1	7	14.4.-20.4.	15,33	37,66	9270	21,77	85,05	9,45
Kř-V-2	4	17.-20.5.	7,96	10,88	2752	6,29	56,70	8,10
Kř-V-3	2	6.-7.8.	6,15	6,27	1062	3,62	7,54	7,54
Kř-V-4	2	21.-22.8.	9,97	11,42	1723	6,60	61,40	30,70
Kř-V-5	4	29.8.-1.9.	9,77	14,76	3378	8,53	35,80	11,93
Kř-V-6	2	3.-4.11.	4,89	4,97	845	2,87	55,69	9,28
průměr / average	3		8,50	13,07	2852	7,56	44,62	11,73

2024	Trvání (dny)/ Duration (days)	Datum/ Date	Průměr z maximálních denních průtoků/Average of maximum daily streamflows (l/s)	Maximální denní průtok v události/ Maximum daily streamflow during EPU (l/s)	Odtok/ Discharge (m^3)	Poměr maximální/roční průměr průtoku/Ratio of maximum/annual average streamflow	Srážky/ Precipitation (mm)	Intenzita srážek (mm/den)/ Precipitation intensity (mm/day)
R-N-1	19	1.1.-19.1.	6,05	8,77	9933	3,25	48,70	9,74
R-N-2	2	24.1.-25.1.	5,50	6,63	951	2,46	12,30	4,10
R-V-1	16	13.9.-28.9.	7,63	19,43	10541	7,20	180,50	36,10
průměr/ average	10,50		5,78	7,70	5442,23	2,85	30,50	6,92
Kř-N-1	6	3.1.-8.1.	8,47	9,72	4391	2,95	14,96	3,74
Kř-N-2	1	25.2.	8,37	8,37	723	2,54	16,00	8,00
Kř-V-1	7	12.3-1.-3.	15,16	25,18	9166	7,63	35,02	11,67
Kř-V-2	1	7.5.	7,53	7,53	651	2,28	20,06	10,03
Kř-V-3	4	2.6.-5.6.	12,64	19,77	4368	5,99	32,90	10,97
Kř-V-4	2	10.6.-11.6.	8,16	9,13	1411	2,77	9,70	2,43
Kř-V-5	3	16.6.-18.6.	13,78	19,73	3571	5,98	51,00	51,00
Kř-V-6	5	21.6.-25.6.	26,21	59,65	11325	18,08	35,00	17,50
Kř-V-7	1	18.8.	8,77	8,77	758	2,66	21,76	10,88
Kř-V-8	7	13.9.-19.9.	36,83	62,38	22274	18,90	220,32	55,08
průměr/ average	3,33		12,12	18,65	4040,32	5,65	26,27	14,02



Obr. 6.
Hydrogram MP Křtiny 2024, odlišné měřítko os oproti předchozím grafům.
Fig. 6.
The Křtiny hydrograph 2024, note different axes scale when compared with previous graphs.

Tab. 5.
Korelační koeficienty průtokových a srážkových charakteristik.
Correlation coefficients of runoff and precipitation characteristics.

MP Račín 2023	Srážky/ Precipitation (mm)	Intenzita srážek (mm/den)/ Precipitation intensity (mm/day)	MP Křtiny 2023	Srážky/ Precipitation (mm)	Intenzita srážek (mm/den)/ Precipitation intensity (mm/day)	MP Račín 2024	Srážky/ Precipitation (mm)	Intenzita srážek (mm/den)/ Precipitation intensity (mm/day)	MP Křtiny 2024	Srážky/ Precipitation (mm)	Intenzita srážek (mm/den)/ Precipitation intensity (mm/day)
Průměr z maximálních denních průtoků/ Average of maximum daily streamflows (l/s)	0,246	0,246	průměr z maximálních denních průtoků/ average of maximum daily streamflows (l/s)	0,708	0,287	průměr z maximálních denních průtoků/ average of maximum daily streamflows (l/s)	0,999	0,996	průměr z maximálních denních průtoků/ average of maximum daily streamflows (l/s)	0,865	0,701
Maximální denní průtok v události/Maximum daily streamflow during EPU (l/s)	0,010	0,010	maximální denní průtok v události/maximum daily streamflow during EPU (l/s)	0,693	0,033	maximální denní průtok v události/maximum daily streamflow during EPU (l/s)	0,999	1,000	maximální denní průtok v události/maximum daily streamflow during EPU (l/s)	0,726	0,595
Odtok/ Discharge (m^3)	0,463	0,463	odtok/ discharge (m^3)	0,678	-0,067	odtok/ discharge (m^3)	0,709	0,679	odtok/ discharge (m^3)	0,882	0,637

https://doi.org/10.59269/ZLV/2025/4/774

Na první pohled je patrné odlišné chování v roce 2023 a 2024 (Tab. 5). V roce 2023 lze na MP Račín pozorovat relativně nižší korelaci mezi sumou srážek a průtokovými charakteristikami (0,01–0,46) oproti vyšší korelaci na MP Křtiny (0,68–0,71). V hydrologicky extrémním roce 2024 lze pozorovat v druhé polovině září intenzivní deště, kdy suma srážek dosáhla během 5 dní přes 180 mm na MP Račín a 220 mm na MP Křtiny. Tato vlna deštů způsobila rozsáhlé povodně na velkém území ČR i některých sousedních států. Na obou lokalitách to vyústilo ve zvýšenou korelační závislost mezi sumou srážek a průtokovými charakteristikami (nad 0,7 u nejnižší korelace, po 0,99). Denní intenzita srážek opět dosahuje nižší korelace, což dokládá, že i v těchto podmínkách zůstává celkové množství srážek řídícím faktorem. Z výsledků tedy vyplývá, že pro extremitu povodňových situací je klíčovým prvkem celková suma srážek řídící srážkové epizody.

DISKUSE

V našem výzkumu jsme se zaměřili na srovnání dvou dominantně smrkových pramenných mikropovodí s relativně podobnými přírodními podmínkami, které se nachází v různých lesních vegetačních stupních. Sledovali jsme dva hydrologicky odlišné roky a pozorovali odlišnosti v počtu i charakteristikách extrémních průtokových událostí, které interpretujeme primárně jako vliv lesních porostů odkazujících na jejich vodohospodářské hydrické funkce.

Jedná se o krátký časový úsek a pouze dvě konkrétní povodí, nelze tedy hovořit o široké generalizaci výsledků. Pro hodnocení příčinné souvislosti mezi srážkovými a extrémními odtokovými epizodami byla použita korelační analýza. Interpretace výsledků je pojednána zjednodušeně dle Akoglu (2018), který uvádí, že lze považovat hodnoty vyšší než 0,8 za vynikající korelaci a hodnoty pod 0,2 za slabou. V případě MP Račín byly pozorovány v každém roce toliko tři EPU. Spolehlivost korelace založená na třech pozorováních má velmi omezenou relevanci. V článku výsledky korelační analýzy na MP Račín uvádíme, ale je třeba k nim přistupovat vysoce kriticky.

Na výsledky je třeba nahlížet v kontextu klimatické změny, jako na další střípek skládačky, který nadále prohlubuje naše povědomí o měnící se lesnické a vodohospodářské roli pahorkatin. Temperátní lesy pahorkatin střední Evropy jsou silně postiženy globální klimatickou změnou, která mimo jiné omezuje jejich stabilitu i vodohospodářský potenciál (Kupec et al. 2021). Řídícím faktorem vodohospodářských funkcí těchto území je právě dřevinná skladba lesních porostů, kdy se ukazuje, že dominantně smrková povodí dosahují nižší vodohospodářské účinnosti, než povodí buková či smíšená. Tato situace je doložena z nižších pahorkatin (3. LVS), a to jak v suchých obdobích schopností vyrovnávat průtok (Kupec et al. 2018), tak ve schopnosti omezovat velikost povodňových vln při intenzivních srážkách (Hemr et al. 2023). Sníženou vodohospodářskou účinnost smrkových porostů v těchto podmínkách lze připsat tomu, že ve 3. LVS se smrkové porosty nacházejí na hranici své ekologické niky.

Design tohoto experimentu měl pomoci odpovědět na otázku, zda smrkové porosty blíže svému ekologickému optimu dosahují vyšší vodohospodářské účinnosti. MP Křtiny se nachází v cílovém hospodářském souboru (CHS) 45 (LVS 3), kde se doporučuje podíl smrku 20–30 %, zatímco MP Račín v CHS 53 (LVS 5), kde je smrk optimální hospodářskou dřevinou. Naše výsledky dokládají, že tomu tak skutečně je. V roce 2023 bylo lze pozorovat 3 EPU na MP Račín oproti 7 na MP Křtiny. Průměrná délka EPU byla na MP Račín výrazně delší (8 vs 3 dny) a relativní velikost povodňové vlny dosáhla 3,15- a 7,56násobek ročního průměru na MP Račín, respektive Křtiny. Veškeré EPU na povodí Račín v tomto roce proběhly mimo vegetační období, zatímco na MP Křtiny se jejich většina (6 ze 7) vyskytovala právě během vegetační doby. V povodňovém roce 2024 byla situace obdobná, kdy mimo povodňovou událost, která je vyhodnocena zvlášť, byly na MP Račín pouze 2 EPU (obě mimo vegetační období), zatímco 9 na MP Křtiny. Průměrná délka EPU byla na MP Račín opět výrazně delší (11 vs 3 dny) a relativní velikost povodňové vlny dosáhla 2,85- a 5,65násobek ročního průměru na MP Račín, respektive Křtiny. Samostatně byla v tomto roce vyhodnocena EPU způsobená extrémními zářijovými srážkami (180 mm Račín, 220 mm Křtiny). I zde však bylo možno pozorovat vyšší vodohospodářkou účinnost porostů na MP Račín, kdy velikost povodňové vlny dosáhla v maximu 7,2- a 18,9násobku ročního průměru MP Račín, respektive Křtiny. Délka trvání EPU dosáhla 16 a 7 dní na MP Račín, respektive Křtiny. Tedy i v tomto extrémním případě bylo lze pozorovat významnější schopnost tlumit a tranformovat povodňovou vlnu u lesních porostů na MP Račín. Během vegetační doby se na MP Račín prakticky nevyskytují EPU, na rozdíl od MP Křtiny. V roce 2023 bylo ve Křtinách o 23 dní delší vegetační období a napršelo v něm o 30 % ročních srážek více než na MP Račín. V roce 2024 bylo ovšem rozložení srážek i vegetační doby velice podobné (Tab. 3). To dokládá, že odlišný výskyt EPU nelze přisoudit pouze rozdílné srážkové činnosti. Tato zjištění souhrně naznačují, že lesní porosty na MP Račín (tedy povodí, kde je smrk blíže svému optimu) prokazují lepší schopnost tlumit povodňové vlny a zajišťovat vyrovnané průtoky, což jsou definice vyšší vodohospodářské účinnosti povodí popsané v práci Kupec et al. (2018) a Hemr et al. (2023).

Největší rozdíl při srovnání obou let lze pozorovat na MP Račín, kde je chování v roce 2023 dramaticky odlišné od povodňového roku 2024. Zatímco v roce 2023 zde lze pozorovat významné ovlivnění srážkoodtkového procesu lesními porosty (doloženo nižší korelací srážkových a odtokových charakteristik; Tab. 5), v roce 2024 při povodních je jejich vliv zanedbatelný. U MP Křtiny není tento rozdíl tak markantní, jelikož korelační analýza ukázala, že ani v roce 2023 zde lesní porosty nehrají v povodňové ochraně tak významnou roli. Velmi vysoká korelace srážkových a odtokových charakteristik v povodňovém roce 2024 na obou lokalitách dokládá, že v případě extrémních přívalových dešťů přestává být funkce lesa (a celkově krajinného pokryvu) pro rozptýlení povodňové vlny relevantní.

Tato studie se opírá o data ze dvou mikropovodí, kde dominoval smrk jako řídící dřevina lesních porostů. Jeho zastoupení zde ještě před rokem 2020 dosahovalo 56 % s podílem buku 39 % (Kupec et al. 2018; Hemr et al. 2023). V roce 2024 na základě dat dálkového průzkumu dosahuje zastoupení smrku 29 % ve prospěch buku 59 %. Jedná se o reakci na období ustupující kůrovcové kalamity mezi lety 2020 a 2023 (Kahuda 2024), kdy byla část smrkových porostů napadena podkorním hmyzem rodu *Ips* sp. či *Pityogenes* sp. V tomto povodí tedy dochází k náhradě smrku za buk, což by mělo vodohospodářskou účinnost povodí při zadržování extrémních srážek podpořit (Hemr et al. 2023). Vliv této významné změny ve 27 % porostního složení však nebyl na výsledcích této studie zaznamenán. Obdobně jako v případě Šumavského povodí Upper Große Ohe, kde došlo k poškození 30 % porostů kůrovcovou kalamitou ale nebylo možné vztáhnout tento vliv na zvýšení povodňového ohrožení (Bernsteinová et al. 2015). Bernsteinová et al. (2015) dokládají, že po odlesnění došlo ke zvýšení celkového odtoku, ale primárně formou podzimních průtoků. Pro srovnání, podzimní průtoky na MP Křtiny (od září do konce roku) dosahovaly v roce 2023 2,1 l/s, během zbytku roku 1,5 l/s. V roce 2024 pak 2,53 l/s na podzim a 3,67 l/s během zbytku roku. Stejně tak v povodí Křtiny lze pozorovat výrazné zvýšení průměrného průtoku z 1,72 l/s v roce 2023 na 3,29 l/s v roce 2024. Nicméně to může být zkresleno zářijovými povodněmi a vysokou meziroční variabilitou. Zdá se tedy, že původně smrkové povodí si zachovává nízkou vodohospodářskou účinnost ještě několik let po výrazné změně dřevinné skladby na jinou řídicí dřevinu.

ZÁVĚR

Naše studie prezentuje data ze dvou lesních mikropovodí a dvou hydrologicky odlišných let. Lokální charakter studie i krátké časové období je třeba vnímat v kontextu globální klimatické změny jako experiment, jehož cílem je přispět k pochopení měnící se role lesních porostů v protipovodňové ochraně a problematiky radikální změny dřevinné skladby. Naše výsledky poukazují na fakt, že smrková povodí v nižších pahorkatinách 3. LVS dosahují výrazně nižší vodohospodářské účinnosti, než smrková povodí blíže svému ekologickému optimu (5. LVS). Toto zjištění je důležité z toho důvodu, že připomíná, že problematiku smrku nelze kategoricky generalizovat, ale vždy je důležité pracovat s lokálními podmínkami. To platí mimo jiné u změny dřevinné skladby, která může mít dlouhodobě významný pozitivní vliv na hydrické poměry, ale tento vliv lze očekávat až s několikaletým zpožděním.

Poděkování:

Článek vznikl díky podpoře a na základě výsledků projektu NAZV č. QK21010198 „Adaptace lesního hospodářství pro udržitelné využívání přírodních zdrojů".

LITERATURA

Akoglu H. 2018. User's guide to correlation coefficients. Turkish Journal of Emergency Medicine, 18 (3): 91–93. DOI: 10.1016/j.tjem.2018.08.001

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. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 63 (4): 342–352. DOI: 10.1515/johh-2015-0037

Bredemeier M. 2011. Forest management and the water cycle – Introduction to the challenge. In: Bredemeier, M. et al. (eds.): Forest management and the water cycle. An ecosystem-based approach. Dordrecht, Springer: ix-xiv. Ecological Studies 212. DOI: 10.1007/978-90-481-9834-4

de Bastos F., Hasenauer H. 2024. The water dynamics of Norway spruce stands growing in two Alpine catchments in Austria. Forests, 15 (1): 35. DOI: 10.3390/f15010035

de la Cretaz A.L., Barten P.K. 2007. Land use effects on streamflow and water quality in the northeastern United States. Boca Raton, CRC Press: 344 s. DOI: 10.1201/9781420008722

Gericke O.J. 2019. GIS applications to investigate the linkage between geomorphological catchment characteristics and response time: A case study in four climatological regions, South Africa. Water, 11 (5): 1072. DOI: 10.3390/w11051072

Guo Y, Zheng G., Yang Y., Sang Y., Wen C. 2024. A hydrogeomorphic dataset for characterizing catchment hydrological behavior across the Tibetan Plateau. Earth System Science Data. 16 (4): 1651–1655. DOI: 10.5194/essd-16-1651-2024

Hemr O., Kupec P., Čech P., Deutscher J. 2023. The response of forested upland micro-watersheds to extreme precipitation in a precipitation abundant year. Theoretical and Applied Climatology, 155: 2627–2640. DOI: 10.1007/s00704-023-04766-w

Kahuda J. 2024. Kůrovcová kalamita je na ústupu. Statistika a my, 14 (07–08): 10–12.

Kantor P. et al. 2003. Lesy a povodně: souhrnná studie. Praha: Ministerstvo životního prostředí. ISBN 80-7212-255-X.

Körner Ch., Möhl P., Hiltbrunner E. 2023. Four ways to define the growing season. Ecology Letters, 26 (8): 1277–1292. DOI: 10.1111/ele.14260

Kupec P., Školoud L., Deutscher J. 2018. Tree species composition influences differences in water use efficiency of upland forested microwatersheds. European Journal of Forest Research, 137: 477–487. DOI: 10.1007/s10342-018-1117-0

Kupec P., Deutscher J., Futter M. 2021. Longer growing seasons cause hydrological regime shifts in Central European Forests. Forests, 12 (12): 1656. DOI: 10.3390/f12121656

Lammerant R., Rita A., Borghetti M., Muscarella R. 2023. Water-limited environments affect the association between functional diversity and forest productivity. Ecology and Evolution, 13 (8): e10406. DOI: 10.1002/ece3.10406

McMillan S.K., Wilson H.F., Tague C.L., Hanes D.M., Inamdar S., Karwan D.L., Loecke T., Morisson J., Murphy S.F., Vidon P. 2018. Before the storm: antecedent conditions as regulators of hydrologic and biogeochemical response to extreme climate events. Biogeochemistry, 141: 487–501. DOI: 10. 1007/ s10533-018- 0482-6

MZe 2024. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2023. Praha, Ministerstvo zemědělství: 126 s.

Shekar P.R., Mathew A. 2024. Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. Watershed Ecology and the Environment, 6: 13–25. DOI: 10.1016/j.wsee.2023.12.001

Šišák L. 2011. Metodický postup vyjádření společenské sociálněekonomické významnosti funkcí lesa včetně praktických příkladů. Metodika [online]. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze [cit. 2025–03–16]. Dostupné z: http://vulhm.opocno.cz/download/metodiky/Metodicky_postup_vyjadrovani_funkci_lesa.pdf

Šrámek V. et al. 2023. Voda v lesních ekosystémech [online]. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti [cit. 2025–03–16. Dostupné z/Available on: https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/06/Voda-v-lesnich-ekosystemech-2022.pdf

Švihla V., Černohous V., Šach F., Kantor P. 2012. Hydrologický režim mladých porostů smrku a buku ve vegetačním období na experimentální ploše v Orlických horách. Zprávy lesnického výzkumu, 57 (1): 21–26.

Švihla V., Šach F., Černohous V. 2023. Odtoky z lesů v době klimatického sucha v povodí řeky Svratky. Zprávy lesnického výzkumu, 68 (1): 59–64.

Willems P., Lloyd-Hughes B. 2016. Projected change – River flow and urban drainage. In: Quante, M., Colijn, F. (ed.). North Sea region climate change assessment. Springer Open, 219–237. ISBN 978-3-319-39743-6. DOI: 10.1007/978-3-319-39745-0_7

DIFFERENT BEHAVIOR OF PAIR SPRUCE MICRO-WATERSHEDS IN LOW AND HIGH UPLANDS IN TWO HYDROLOGICALLY CONTRASTING YEARS

SUMMARY

In recent years, long-term climate changes manifested in increasing average annual temperatures and constant annual rainfall have been witnessed in Central Europe. At the same time, climatically extreme events such as torrential rains and prolonged droughts have become more frequent. This suggests an increased risk of torrential rainfall and subsequent flooding (Mcmillan et al. 2018).

That having been said, the aim of this research is to compare basic hydro-climatic variables during the year 2023 and the flood year 2024 in two forested micro-watersheds located in the uplands of the Czech Republic, where spruce is, or was, the controlling dominant tree species. The work focuses on the identification of extreme runoff events (ERE) in order to contribute to understanding the role of forest stands in flood mitigation.

We used the paired catchment experiment. The Račín catchment (Račín) area extends one kilometer northeast of the village of the same name (Fig. 1). The Křtiny catchment (Křtiny) extends approximately three kilometers north of the town of Křtiny, after which it is named (Fig. 2). The Račín micro-watershed is approximately 150 meters higher in elevation than Křtiny and is significantly smaller while the mean slope and other hydro-morphological characteristics are similar (Table 1). Račín is located in the 5th forest vegetation zone (FVZ) on an acid habitat while MP Křtiny is located in the 3rd FVZ on a nutrient-rich habitat. According to current remote sensing data (2024), the dominant tree species in Křtiny is beech (59%; Table 2). However, according to the 2013 forest management plan, spruce was the predominant tree species (spruce 56%, beech 39%; see Kupec et al. 2018). Up to 2020, the tree species composition in MP Křtiny was still identified as: spruce 56% and beech 39% based on several vegetation indices from Sentinel-2 satellite data (Hemr et al. 2023). Since then, there has been an extensive shift in the tree species composition towards beech. In the context of this research, the catchment is still considered to be a catchment where spruce plays the controlling role in the stand, but this issue is given increased attention in the discussion.

Daily streamflow data from the discharge outlets of the catchments were used to calculate 90th percentile, which was used to identify EREs (Willems, Lloyd-Hughes 2016). The growing season for each microwatershed and each year was determined by temperature analysis (Table 3). The beginning was considered consecutive the fifth day in spring when the average daily temperature did not fall below 5°C, and the end was considered the tenth day in autumn when the average daily temperature stayed below 5°C (Körner et al. 2023). Basic runoff characteristics (average streamflow, maximum streamflow, total runoff, ratio of maximum streamflow to annual average) were determined for each ERE. Rainfall characteristics of antecedent rainfall events (sum of rainfall and average daily rainfall intensity) were also evaluated. A correlation analysis was performed between all the above runoff and precipitation characteristics to verify their causal relationship.

According to our results, the characteristics of EREs exhibited a high variability among the catchments (Figure 3, 4, 5 and 6; Table 4). In 2023, three EREs were observed at Račín compared to 7 at Křtiny. The average length of the ERE was significantly longer at Račín (8 vs. 3 days), and the relative flood wave was 3.15 and 7.56 times the annual average at Račín and Křtiny, respectively. All of the EREs in Račín occurred outside the growing season, while at Křtiny the majority (6 out of 7) occurred during the growing season. Both these findings indicate that forest stands in Račín (i.e. the catchment where spruce is closer to its ecological optimum) show significantly better to disperse flood waves and provide balanced flows. In the 2024 flood year, which was extreme in terms of rainfall and flow, the situation was similar, with only two other EREs in Račín (both outside the growing season), while 9 in Křtiny. The average length of EREs was again significantly longer in Račín (11 vs. 3 days), and the relative flood wave magnitude was 2.85 and 5.65 times the annual average in Račín and Křtiny, respectively. During the ERE caused by extreme September rainfall (180 mm Račín, 220 mm Křtiny), higher water management efficiency of the forest stands in Račín was also observed, with flood wave magnitudes reaching 7.20 to 18.90 times the annual average in Račín and Křtiny, respectively. The duration of the ERE reached 16 and 7 days in Račín and Křtiny, respectively. Thus, even in this extreme case, a more significant ability to retain and transform the flood wave could be observed in the forest stands in Račín.

This research focused on the comparison of two spruce-dominated micro-watersheds with relatively similar natural conditions, located in different forest vegetation zones (FVZ). The local nature of the study and the short time period should be seen in the broader context of global climate change as a contribution to the understanding of the changing role of forest stands in flood protection. Our results highlight the fact that spruce catchments in lower altitudes (3rd FVZ) achieve significantly lower water management efficiency than spruce catchments closer to their ecological optimum (5th FVZ). This finding is important because it reminds us that challenges connected to spruce management cannot be categorically generalized but must be evaluated in local conditions.

Zasláno do redakce/Received: 09. 07. 2025

Přijato do tisku/Accepted: 07. 10. 2025