

Smithsonian Conservation Biology Institute ve Virginii a vysokohorský prales v Utahu. Ve zmíněných pralesích vědci dlouhodobě zaznamenávali odumírající stromy a vypočetli objem půdy, který se dostává do pohybu v souvislosti s jejich úmrtím (obr. 6). Výzkum byl o to zajímavější, že v jeho průběhu byly Žofinský a Boubínský prales silně narušeny orkány a prales v Yosemitech na části území hořel. Tyto málo frekventované události se promítly do celkových výsledků vedle formování malých mezer ve stromovém zápoji.

O intenzitě vlivu stromů na svahové procesy v ekosystému rozhoduje objem kořenových systémů stromů v lese, mortalita stromů (rychlost odumírání jedinců v čase), podíl vývrátů mezi odumřelými stromy oproti zlomeným stromům, vztah mezi tloušťkou stromu a objemem vyvráceného kořenového balu a výskyt silných disturbance a vývoji lesa. Seznam klíčových faktorů ukazuje výjimečné postavení vývrátů, které jsou nejdůležitějším jevem, a naznačuje, že schopnost stromů působit na svahovou dynamiku a tvorbu krajiny neodráží pouze jejich velikost, byť ta je jejím významným prediktorem. Přestože na některých severoamerických plochách (Yosemite, Wind River) dosahují stromy nebývalých rozměrů s výškami až 80 m (obr. 7), jejich přínos ke svahové dynamice

byl někdy menší než na Boubíně, kde nejvyšší smrky aktuálně dorůstají 55 m. Za opačný extrém lze považovat vysokohorský prales v Utahu s nízkými stromy na mělké půdě a jejich minimální roli v dynamice svahů. Mezi středoevropskými plochami se jen Žofinský prales blížil Boubínu schopností stromů ovlivňovat svahové procesy.

Důvodem překvapivě velkého objemu půdy přemísťované stromy na svazích Boubína je výjimečný podíl vývrátů mezi odumřelými stromy, který dlouhodobě dosahuje 50 % a v době vichřice dokonce překračuje 80 %. Vývraty jsou na Boubíně současně mimořádně objemné. Klíčovým impulzem pro svahovou dynamiku se zde stal orkán Herwart v r. 2017. Protože ale po Herwartu nedošlo (stejně jako po Kyrillu v Žofinském pralese) k poklesu objemu půdy přemísťovanému stromy, existuje tu prostor pro ještě silnější narušení ekosystému z hlediska svahové dynamiky. Unikátní vztah mezi velikostí stromů a frekvencí orkánů působí na Boubíně a celé Šumavě ve prospěch neobyčejné intenzifikace biogeomorfologické role stromů. Pokud by byla frekvence orkánů vyšší, začala by se brzy snižovat průměrná velikost stromů v porostu. Kdyby naopak frekvence vichřic poklesla, snížil by se podíl vývrátů. Oba scénáře by vedly k poklesu vlivu stromů na svahovou dynamiku.

Závěrem

Šumavské stromy jsou monumentální stejně jako disturbance, ve kterých periodicky zanikají celé šumavské hvozdy. Kombinace velkých stromů a jejich častého vyvracení činí ze Šumavy unikátní region, kde se stromy výjimečně intenzivně podílejí na utváření krajiny. Současná specifická vazba mezi velikostí stromů a frekvencí silných narušení se může měnit pod tlakem změny klimatu, obecně provázené nárůstem frekvence extrémních klimatických jevů. Zapomínat nelze ani na schopnost některých dřevin měnit režim narušení. Rostoucí podíl buku ve vysokých nadmořských výškách může sám o sobě promluvit do změny vývrátové dynamiky lesa. Uvnitř národního parku, ale i v maximální míře mimo jeho hranice, by měly být respektovány projevy biogeomorfologického působení stromů, které vede k zadržování vody v krajině, zachování její biokomplexity i produkční schopnosti půdy.

Kolektiv spoluautorů: Jonathan D. Phillips, Přemysl Bobek a Pavel Daněš

Studie byla podpořena projektem Grantové agentury České republiky 19-09427S.

Použitou literaturu uvádíme na webové stránce Živý.

Anna Lamačová, Radek Vlnas, Jakub Hruška

Hydrologické bilance šumavských povodí a pramenů – vliv klimatu je větší než vliv krajinného pokryvu

V souvislosti s ponecháním části šumavských lesů samovolnému vývoji se objevují nejrůznější hypotézy, jak tato změna poškozuje vodní bilanci. Pokud jsou roky srážkově bohaté, hovoří se o častějším riziku povodní, pokud jsou roky suché, tématem je extrémní sucho kvůli vyprahlosti „bezlesé“ krajiny. Jak to ale opravdu je, se dozvíme jen z dlouhodobých měření, která se na Šumavě našťestí již desetiletí provádějí. A mimo tuto analýzu minulosti a současnosti ukážeme i modelový předpoklad šumavské hydrologické budoucnosti.

Sucho a podzemní voda na Šumavě v období let 2015–20

Hory jsou ve střední Evropě pramennými oblastmi vodních toků, protože mají obecně vyšší srážkové úhrny a menší výpar. Ke vzniku pramenů v horských oblastech také přispívají geologické poměry, členitý terén a jeho větší sklon. Prameny představují soustředěný vývěr podzemní vody na zemský povrch a vznikají zpravidla na rozhraní různých geologických vrstev. Často jde také o oblasti, kde není patrný vliv hospodaření člověka tolik jako v nížinách – tam

intenzivním hospodářským využíváním krajiny řada prameništ zanikla. Prameny obvykle odvodňují širší oblast a umožňují nám tak utvořit si obrázek o stavu podzemní vody v daném území.

Český hydrometeorologický ústav provozuje v ČR celoplošnou síť monitorovacích objektů, která zahrnuje celkem 319 pramenů, z toho jich je v tzv. hlásné síti zařazeno 170. Hlásná síť se používá pro pravidelné týdenní a měsíční vyhodnocení stavu podzemní vody. Na území chráněné krajinné oblasti Šumava se nacházejí

čtyři prameny hlásné sítě (PP0281 Lipka, PP0282 Lipka – obr. 1, PP0293 Kubova Huť, PP0755 Zdíkov). Dále vyvěrá jeden pramen hlásné sítě na území NP Šumava (PP0849 Nová Pec). Tento pramen se nachází v zóně soustředěné péče o přírodu, kde převažují člověkem významně pozměněné ekosystémy – v těchto oblastech je podle nové zonace NP Šumava snaha o zachování nebo postupné zlepšování stavu ekosystémů, významných z hlediska biologické rozmanitosti, jejichž existence je podmíněna trvalou činností člověka nebo obnovou přírodě blízkých ekosystémů. Vybrané prameny začaly být sledovány v rozpětí let 1968–89. Měření jejich vydatnosti probíhá prostřednictvím dobrovolných pozorovatelů, kteří provádějí přímá stanovení měrnou nádobou v týdenním intervalu.

V posledních pěti letech na území naší republiky přetrvávalo sucho, které bylo důsledkem kombinace mírně podnormálních srážek a nadnormálních teplot. Ukázal se zde i efekt dlouhodobé kumulace deficitu, projevující se odlišným vývojem víceletého sucha ve srovnání s „běžným“ jednoletým suchem. Výskyt meteorologického sucha (nedostatek srážek) bývá následován suchem půdním a hydrologickým (deficitem odtoku a podzemních vod) v řádu týdnů až měsíců. V případě suché epizody posledních let byl patrný výskyt všech těchto typů sucha souběžně. Hydrologické sucho trvalo téměř nepřetržitě od r. 2015 až do jara 2020.

Vydatnost pramenů se vyznačuje výrazným ročním chodem, kdy maxima dosahují zpravidla v jarních měsících. To je dáno doplňováním zásob podzemní vody především z tajícího sněhu. Vydatnost během vegetační sezony klesá, až dosáhne minima na podzim nebo v zimě. Výše zmí-



1 Pramen PP0282 Lipka z monitorovací sítě Českého hydrometeorologického ústavu – pramen Volynky na jihovýchodním svahu Světlé hory, asi 2 km jihozápadně od části obce Lipka. Foto A. Lamačová

2 Průběh standardizované vydatnosti pramenů na Šumavě od ledna 2015 do září 2021. Znárodně je také křivka (tečkovaná) vydatnosti pro celou ČR. Při standardizaci dat se od měsíční vydatnosti odečte dlouhodobý průměr a hodnota se vydělí směrodatnou odchylkou (oboje z normálového období 1981–2010). Výsledky jsou bezrozměrné a umožňují stanovit průměrnou vydatnost více pramenů v určité oblasti.

ně šumavské prameny mívají maxima v dubnu a minima v prosinci (obr. 2).

Pokud se podíváme podrobněji na vývoj vydatností pramenů na Šumavě v suchých letech 2015–20 a srovnáme je s celým územím ČR, pak je zřejmé, že sucho na Šumavě v jednotlivých letech neprobíhalo stejně jako na ostatním území. V letech 2015 a 2017 byl v období podzimu a zimy stav vydatností výrazně horší než průměr celé ČR. Naopak v r. 2018, který byl z celé periody nejušší, měly ostatní prameny po většinu roku mimořádně podnormální vydatnost, zatímco u šumavských byla téměř po celý rok normální. V r. 2019, druhém nejušším, bylo na Šumavě zaznamenáno silně nadnormální jarní maximum v březnu.

Navzdory velmi příznivému začátku roku se vydatnost během léta prudce snižovala, až dosáhla ročního minima v prosinci na silně podnormální úrovni. Sucho na Šumavě pokračovalo i na začátku r. 2020. Po velmi nízkém jarním maximu vydatnost rychle klesala, takže v květnu již dosáhla stejně jako na zbylém území mimořádně podnormálních hodnot. V průměru se pak v celém druhém pololetí r. 2020 zlepšovala v důsledku nadnormálních srážek. Vydatnost na Šumavě však byla nižší a k výraznému zlepšení došlo až letos, kdy v letních měsících byly stavy až silně nadnormální. Tato situace trvala ještě v září 2021.

Z vývoje měsíčních vydatností od r. 1981, hodnocených podle indexu DMGI (Drought Magnitude Groundwater Index), který kombinuje velikost poklesu vydatnosti s jeho trváním, je zřejmé, že významné suché epizody se v podzemních vodách vyskytovaly i v minulosti (obr. 3). Známa je např. suchá epizoda na začátku 90. let 20. století. Sucho v posledních pěti letech však bylo za celé hodnocené období nejvýraznější. Z hlediska samotného poklesu vydatnosti, hodnocené standardizovaným indexem podzemní vody SGI (Standardized Groundwater Index, Vlnas 2015), nejhorší sucho nastalo na jaře 2014. Index SGI je standardizovaná vydatnost transformovaná na normální rozdělení, umožňuje vzájemně porovnávat prameny (skupiny pramenů) s různým rozpětím vydatnosti.

Dlouhodobé změny vydatnosti pramenů

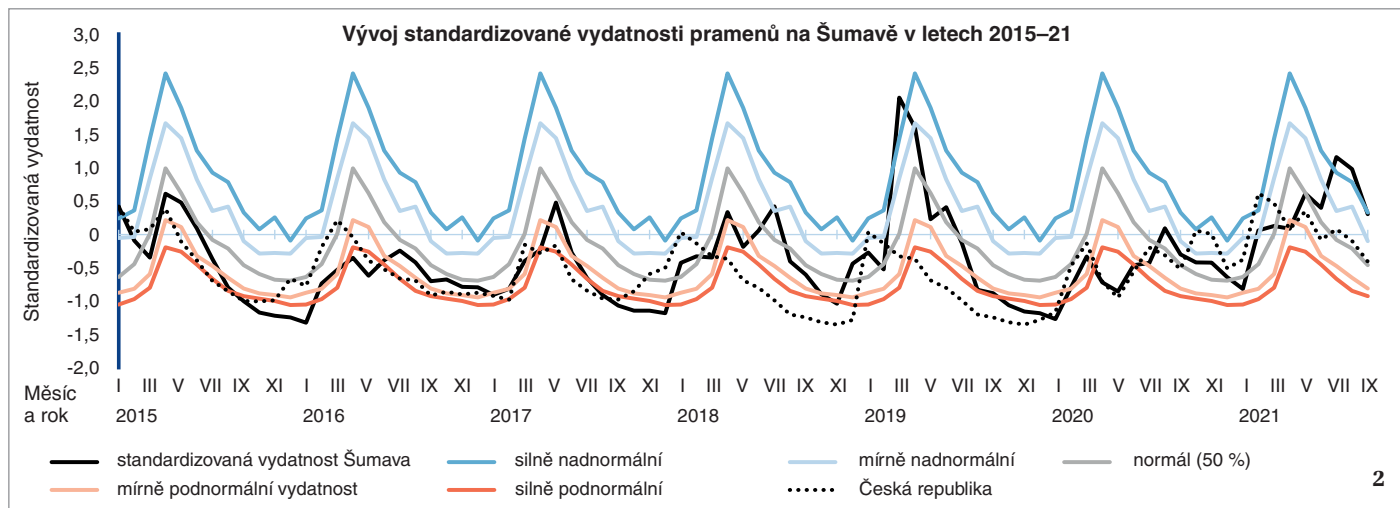
I přes aktuálně příznivý stav dochází na Šumavě v období 1981–2020 k významnému poklesu průměrné roční vydatnosti pramenů (obr. 4). Trend byl hodnocen jako statisticky průkazný na hladině významnosti 5 % – existuje pouze maximálně 5% pravděpodobnost, že trend je zdánlivý. V průběhu roku byl pak nejvýraznější pokles pozorován během dubna a května, v srpnu a prosinci. Na hladině významnosti 10 % dochází k poklesu také v červnu a září. Vydatnost se nezvětšuje v žádném měsíci. Pokles vydatnosti v jarních měsících představuje jev patrný na řadě míst ČR. Typicky je přisuzován posunu jarního tání po nárůstu teploty vzduchu. Teoreticky by se tedy mohla zvětšovat vydatnost v březnu. Tak tomu ovšem není, protože se stoupající teplotou ubývá také sněhová pokrývka a tím množství vody, které po tání může doplnit podzemní zásoby. Vybrané prameny se nacházejí mimo přírodní a přírodě blízké zóny NP Šumava, změny v režimu tak nemohou být ovlivněny bezzásahovým managementem parku.

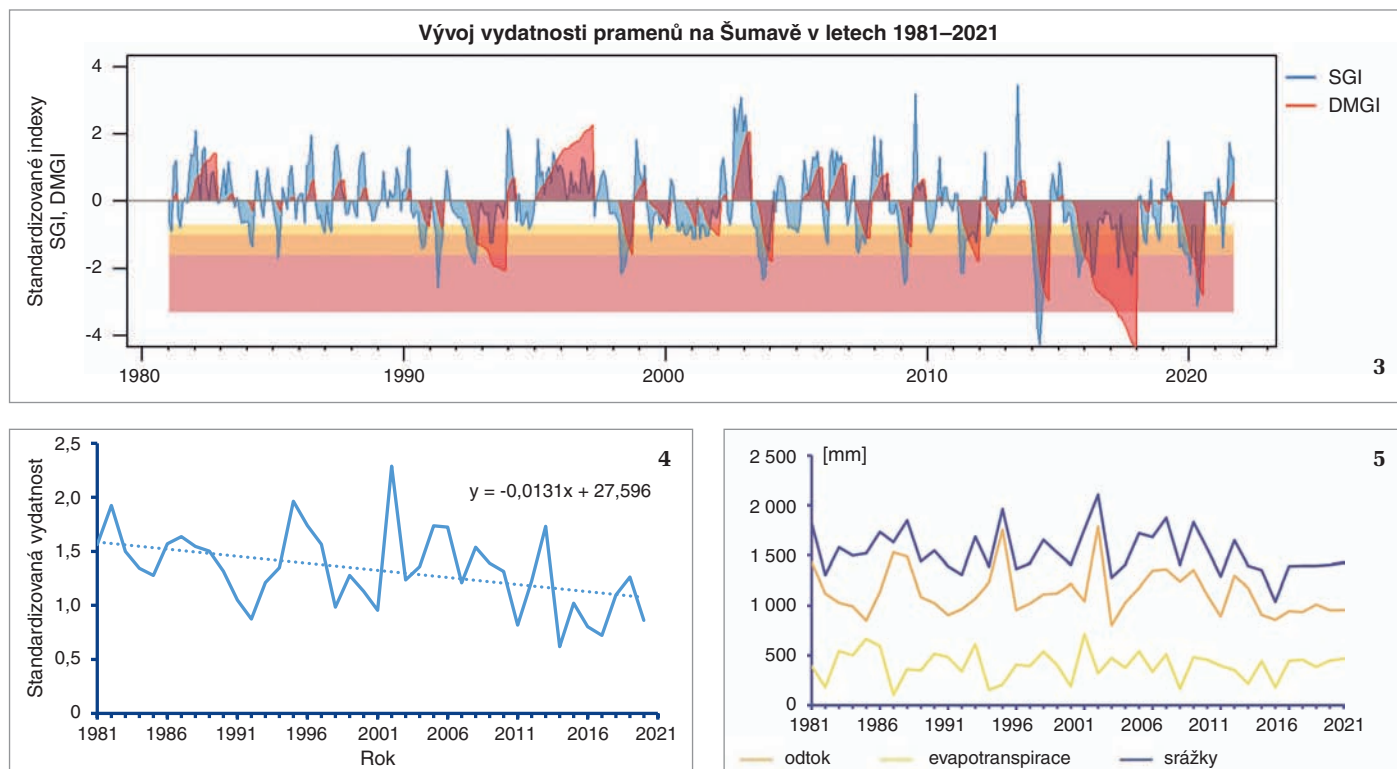
Změny srážek a teploty vzduchu

Důvody změn ročního chodu vydatnosti pramenů lze hledat ve změnách v chodu srážek a zvyšování teploty vzduchu. Analýza záznamu srážek meteorologické stanice Filipova Huť ukázala statisticky průkazný pokles srážek během 40 let v dubnu o 30 mm a v listopadu o 50 mm. V ročních srážkových úhrnech však k významné změně nedochází, což lze vidět i při pohledu na průběh ročních srážkových úhrnů z Filipovy Hutě (obr. 5). Teplota vzduchu na stanici Churáňov se prokazatelně zvyšuje v dubnu (+3,4 °C), červnu (+3,0 °C), červenci (+2,0 °C) a srpnu (+2,2 °C), tedy po největší část vegetační sezony, a také v listopadu (+3,0 °C). Významný nárůst v jednotlivých měsících se promítá i do ročních hodnot a celkově se průměrná roční teplota na Churáňově od r. 1981 do r. 2020 zvýšila o 1,9 °C.

Hydrologická bilance na Modravě

Pro sledování hydrologické bilance povrchových vod na Šumavě je vhodné povodí Vydry k vodoměrnému profilu Modrava (89,8 km²), který se nachází pod soutokem Modravského a Roklanského potoka. Tato oblast byla v minulosti silně postižena kůrovcovou gradací. Zhruba na třetinu povodí dospělý les podlehl lýkožroutu smrkovému





(*Ips typographus*) a byl ponechán samovolnému vývoji bez odstranění biomasy odumřelých stromů. Na další přibližně třetinu povodí byl v rámci boje s kůrovcem les vytěžen, holiny zalesněny a na zbylé zhruba třetině zůstal živý dospělý les. Současně byla v části povodí prováděna revitalizace rašeliníšť spočívající v hrázkování odvodňovacích příkopů (viz str. 287–289). V ročních odtocích mezi lety 1981–2020 ale nenastala statisticky významná změna hydrologických poměrů (obr. 5). Po odumření lesa se sice krátkodobě snížil evapotranspirace, výpar smrky je však velmi brzy nahrazen nastupující přízemní vegetací, zejména pokud nedojde k poškození podrostu a půdního profilu těžbou. Lesní půda dokáže díky systému makropórů vsakovat vodu i bez vzrostlého lesa, takže prakticky povrchově neodtéká. Změny v odtoku se neprojevily ani v jednotlivých měsících, s výjimkou statisticky významného poklesu v květnu, což souvisí s již pozorovaným posunem tání sněhu do zimních měsíců. Jak už bylo řečeno výše, v ročních úhrnech srážek nepozorujeme významnou změnu a stejné je to i v případě ročních sum evapotranspirace, a to i přesto, že průměrná teplota průkazně od r. 1981 vzrostla.

Možné dopady klimatické změny

Klimatické modely pro území České republiky předpokládají do r. 2100 nárůst průměrné teploty vzduchu o 2 °C v porovnání s měřenou průměrnou teplotou +7,9 °C za období 1981–2010. Jde o odhad podle optimistického scénáře RCP 4,5 (Representative Concentration Pathways – reprezentativní směry vývoje koncentrací), který počítá s nárůstem radičního působení o 4,5 W/m². Pesimistický scénář RCP 8,5 předpokládá, že teplota stoupne až o 4 °C. Důležité ale je, že pro srážky modely předpokládají zvýšení o 10–13 %. Nárůst výparu v důsledku vyšších teplot ale může mít nepříznivý dopad na výskyt sucha (Štěpánek a kol. 2019), a to zejména v letním

období. Očekává se také změna rozložení srážek během roku. Modely předpokládají zvýšení zimních, jarních a podzimních srážek a naopak pokles letních úhrnů.

V povodí Modrava je očekávaná změna teploty srovnatelná se zvýšením pro celou ČR. Průměrná roční teplota v povodí v referenčním období 1981–2010 byla +4,2 °C, optimističtější varianta vývoje změny klimatu počítá s nárůstem o 2,3 °C, pesimističtější uvažuje 4,2 °C do r. 2100. Avšak v případě srážek jsou očekávané změny vyšší než na ostatním území republiky. Průměrný úhrn srážek v povodí Modravy je dnes 1 575 mm a modely očekávají nárůst o 15 % (RCP 4,5) až 20 % (RCP 8,5).

Pro vývoj skupenství srážek je důležitý zimní posun teploty nad bod mrazu – v zimě budou srážky častěji dešťové. To s sebou přináší nejen citelné zmenšení zásob sněhu, ale i posun jarního tání na Šumavě o 3–4 týdny vůči dnešku. Tyto změny zřejmě negativně ovlivní nízké průtoky v létě (Jeníček a kol. 2021). Zvýšení teploty rovněž povede k prodloužení vegetační sezony, což bude mít za následek zvýšení evapotranspirace vegetací, které pozorujeme již v současnosti, hlavně v níže položených oblastech (Trnka a kol. 2015). Vyšší evapotranspirace vede k poklesu ročních odtoků na vybraných lesních povodích sítě GEOMON (Geochemický monitoring), která se nacházejí v nadmořských výškách 400–650 m. Rozdíl v průměrném ročním odtoku mezi lety 1994–99 a 2014–19 zde činil více než 50 % (Oulehle a kol. 2021). V případě horských oblastí, jako je Šumava, kde jsou srážkové úhrny přirozeně vyšší než v níže položených oblastech a zároveň je zde v důsledku nižší teploty menší výpar, by v případě, že srážky skutečně vzrostou tak citelně, jak předvídají některé modely, mohlo dojít do r. 2100 k nárůstu průměrných ročních odtoků až o 15 % (Lamačová a kol. 2018). Dále je třeba počítat s častějším výskytem extrémních srážek. Odhad vývoje v povodí Modravy předpo-

3 Průběh vydatnosti pramenů v letech 1981–2021. Modře SGI – standardizovaný index podzemní vody, červeně DMGI – součet hodnot SGI v období sucha, který je také poté standardizován. Barevné pruhy představují shora dolů mírně, silně a mimořádně podnormální stav hladiny.

4 Průběh standardizované roční vydatnosti pramenů na Šumavě

5 Hydrologická bilance povodí Modrava za období let 1981–2020, evapotranspirace je stanovena jako rozdíl srážek a odtoku. S využitím dat ČHMÚ (obr. 2–5).

Orig. A. Lamačová (2, 4 a 5) a R. Vlnas (3)

kládá zvýšení počtu dní se srážkovým úhrnem přes 50 mm až o třetinu (Hruška a kol. 2020). Můžeme tedy očekávat suché epizody a přívalem srážek s rizikem povodní. A to zřejmě v extrémnější podobě než dosud. Oba uvedené extrémy budou přicházet bez ohledu na případnou změnu vegetačního pokryvu povodí.

Shrnutí

Vydatnost šumavských pramenů klesá, podobně jako na celém našem území, lokální rozdíly jsou způsobeny zejména odlišnou distribucí srážek, zatímco vliv pokryvu území pozorovatelný není. Podobně pro poměrně velké povodí Modravského potoka, kde leží velké procento bezzásahového území, nebyl pozorován žádný vliv stavu lesa na roční hydrologickou bilanci. Toto zjištění není překvapivé a odpovídá podobnými studiím provedeným např. v NP Bavorský les. Predikce budoucího vývoje předpokládají zvýšení teplot, ale i srážkových úhrnů, což pravděpodobně vyústí v extremizaci odtokových poměrů, při níž můžeme očekávat více povodní, ale i suchých period.

Příspěvek vznikl za podpory projektu Podzemní voda v krystaliniku, řešeného Českou geologickou službou.

Použitá literatura uvedena na webu Živý.