

HYDROGEOLOGIE, HYDROLOGIE, KARSOLOGIE A VÝVOJ KRAJINY/ HYDROGEOLOGY, HYDROLOGY, KARSOLOGY AND LANDSCAPE EVOLUTION

Nové poznatky o krasových pramenech ve Svatém Janu pod Skalou a příčiny extrémně nízkých průtoků Loděnice v letech 2018 a 2019

New data on the Svatý Jan pod Skalou karst springs and possible causes of extremely low flow rate of the Loděnice Stream in 2018 and 2019

Jiří Bruthans¹, Jakub Mareš¹, Tuna Karatas¹

Abstract

Tracer and hydraulic tests were used to characterize karst conduits between the Vývěr nad Klášterem Cave and three springs at Svatý Jan pod Skalou. Tracer injected in the cave reached the springs in 30–99 minutes, with the fastest response in the Ivanka Spring, and the slowest in the Kotelna Spring. The volume of mobile water between the cave and the springs was about 80 m³. The yield of the Ivan Spring dropped 10 minutes after the onset of pumping in the cave which indicates that water partly flows in phreatic conditions. Extremely low flow rate of the Loděnice Stream at Loděnice (0.07 l/s/km²) in the dry years 2018 and 2019 were not caused by water abstraction in the watershed but by intense evaporation from ponds (average evaporation rate above 100 l/s in the summer of 2018) and from riparian vegetation. Under such conditions, karst springs contributed to the flow rate of the Loděnice Stream by more than 50 % downstream of Svatý Jan pod Skalou. At that time, the yield of the Svatý Jan pod Skalou Springs was 17–19 l/s and that of the V nivě Spring was 5–6 l/s.

1. Úvod

Ve Svatém Janu pod Skalou (dále Sv. Jan p. Skalou) se nachází 3 trvalé prameny krasové vody (Ivan, Ivanka a Vývěr v kotelně kláštera, dále Kotelna; obr. 1), které popsali a charakterizovali ŽÁK et al. (2001). Většinu vydatnosti pramenů tvoří podzemní voda se značnou dobou zdržení v podzemí a vyšší teplotou, která vystupuje z holyňsko-hostimské synklinály z hloubky několika set metrů. Do těchto pramenů proniká po srážkových událostech též voda z ponorů u jeskyně Arnika, jak prokázala stopovací zkouška provedená v roce 1995. Za vysokých vodních stavů a hltnosti ponoru Arnika 0,3 l/s pronikla voda z ponoru do pramenů ve Sv. Janu p. Skalou za 20 hodin (hod; ŽÁK et al. 1996). Za nižšího průtoku v Arnici v červenci 2013 (0,08 l/s) trvalo vodě z ponoru Arnika 60–70 hod, než pronikla do pramenů ve Sv. Janu p. Skalou (ŽÁK et al. 2013). Stopovací zkouška v roce 1995 ukázala, že voda z ponorů Arnika nemá stejné zastoupení ve všech pramenech ve Sv. Janu p. Skalou. Zatímco v prameni Ivan a Ivanka je její zastoupení totožné, v Kotelně je množství vody z ponorů nižší na úkor složky hlubokého oběhu (BRUTHANS 1999). Je tak zjevné, že krasové prameny ve Sv. Janu p. Skalou sestávají z nejméně dvou složek, které se mísí až v bezprostředním okolí pramenů (ŽÁK et al. 2001).

Za vysokých průtoků se aktivuje ve Sv. Janu p. Skalou další pramen, a to nedaleko nad pěnovcovou kaskádou. Pramen byl aktivní ve velmi vodných letech 1941–1942, krátce v roce 1981 a nejnověji od 1. 6.

do 13. 12. 2013 (ŽÁK et al. 2013; LOH 2018). Šachtice hloubená podle výstupního kanálu tohoto občasného pramene vedla k objevu nevelké jeskyně nazvané Vývěr nad Klášterem (LOH 2018). Objev jeskyně umožňuje přístup do úseku aktivně protékaného krasového systému, bezprostředně nad trvalými prameny Ivan, Ivanka a Kotelna ve Sv. Janu p. Skalou. Těto skutečnosti bylo využito v letech 2019 a 2020 k realizaci stopovacích zkoušek, jejichž cílem bylo upřesnit proudění krasové vody v prostoru těsně nad prameny ve Sv. Janu p. Skalou.

Ve velmi teplých a suchých letních obdobích let 2018 a 2019 došlo k extrémnímu poklesu průtoku Loděnice (Kačáku) na celém spodním toku, včetně úseku v Loděnici a v prostoru Sv. Jana p. Skalou. Nejnížší naměřený průtok na měrném profilu ČHMÚ v Loděnici dosáhl pouhých 14 l/s (BURIAN 2019). Tento extrémně nízký stav, kdy průtok Loděnice byl nižší než vydatnost pramenů ve Sv. Janu p. Skalou, umožnil změřit přesně vydatnost všech větví pramene ve Sv. Janu p. Skalou a též změřením vydatnosti pramene v nivě Loděnice, který ústí do toku Loděnice skrytý asi 0,5 km pod Sv. Janem p. Skalou (pramen č. 11 in KADLECOVÁ a ŽÁK 1998; dále označován jako pramen „V nivě“). Příčiny extrémně nízkých průtoků Loděnice jsou rovněž diskutovány v tomto článku.

2. Metodika

Vydatnost pramene Ivan a Kotelny byly měřeny nádobou o objemu 45 l a pomocí stopek. Výsledná hodnota byla průměrem 3–5 měření. Průtok Loděnice byl měřen metodou stopovačů. Jedná se o metodu založenou na principu ředění známého množství konzervativního stopovače, kdy průtok toku je určen z míry zředění stopovače (KILPATRICK a COBB 1985; KÄSS et al. 1998; KOPÁČ 2007).

¹ Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 00 Praha 2; bruthans@natur.cuni.cz

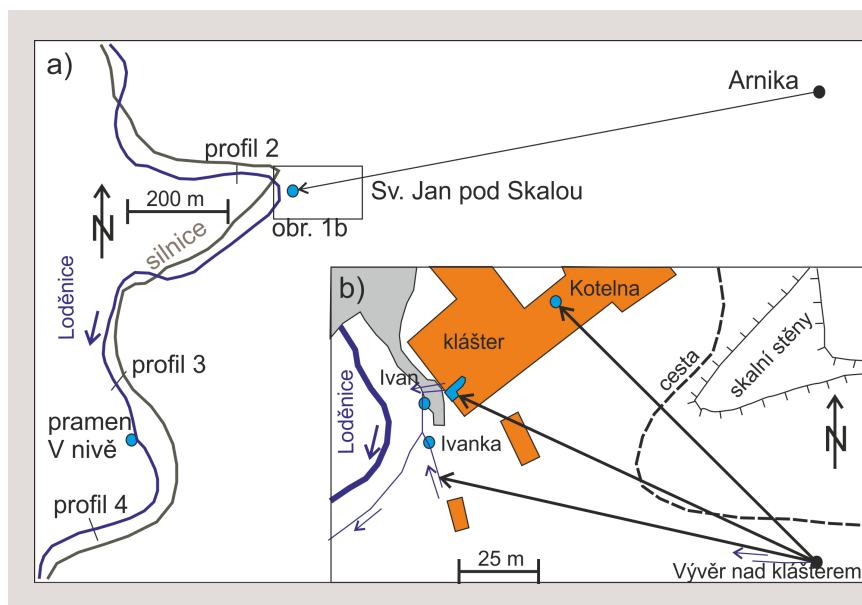
Poděkování: Se stopovacími zkouškami pomáhali Josef Loh, Ján Hýbl, Vojtěch Bruthans a Helena Vysoká. Michalu Kolčavovi děkujeme za upřesnění souřadnic studovaných objektů. Majiteli pozemku, na kterém vyvěrá pramen Ivanka, patří poděkování za umožnění vstupu na pozemek. Majitel pozemku a František Vycpálek zde také pomohli při instalaci čidel. Karlu Žákovi děkujeme za podnět k napsání tohoto příspěvku, který by jinak skončil v šuplíku, a za cenné připomínky k rukopisu. Za cenné kritické připomínky děkujeme recenzentům RNDr. Renatě Kadlecové a Ing. Radku Vlnasovi.

Český kras (Beroun), 46 (2020), 28–36, 6 tab., 7 obr.

© Muzeum Českého krasu, p. o., Beroun

ISSN 1211-1643

ISBN 978-80-87708-14-9



Obr. 1. Pozice pramenů ve Sv. Janu p. Skalou a prameni V nivě a profilů s měřeními průtoky na toku Loděnice. Prameny a toky modře, jeskyně černě, budovy oranžově a zpevněné cesty šedě. Černými šipkami je znázorněno prokázané proudění pomocí stopovacích zkoušek.

Fig. 1. Locations of springs at Sv. Jan pod Skalou, the V nivě Spring and of profiles at the Loděnice Stream. Springs and streams are drawn in blue, caves in black, buildings in orange, paved roads in grey. Black arrows indicate flow paths confirmed by tracer tests.

Koncentrace stopovače se měří v takové vzdálenosti pod místem injekece, ve které se stopovač promíchal do celého průtoku. Metoda má velmi dobré výsledky u menších toků s nepravidelnými profily koryt do průtoku cca 1 000 l/s. Zejména za nízkých průtoků ji lze těžko nahradit jinou metodou, což vede k častějšímu používání i v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ) v poslední době (osobní sdělení J. Hlaváček). K měření bylo použito malého množství NaCl. Koncentrace rozpuštěného NaCl v toku byla sledována pomocí automatického měření konduktivity (elektrické vodivosti) povrchové vody toku v kroku 5 sekund. Vztah mezi množstvím NaCl a navýšením konduktivity byl získán kalibrací. K měření se používaly konduktometry Cond 3310 s automatickým záznamem 5 000 hodnot (výrobce Xylem Analytics, Německo). Konduktometry byly rozmístěny rovnoměrně napříč celým korytem. Měřilo se 3 přístroji ve 3 opakováních (tj. 3 injekece stopovače). Průtoky a kalibrace byly zpracovány v aplikaci prutok.xls (autoři J. Bruthans, O. Zeman, Univerzita Karlova; aplikace je dostupná u hlavního autora na vyžádání). Celkem bylo získáno pro každý profil až 8–9 nezávislých hodnot průtoků (výpadek jednoho měření byl způsoben výměnou baterií). Ze všech měření byl spočten aritmetický průměr a směrodatná odchylka.

Vydutnost pramenů ústících zčásti skrytých do vodního toku Loděnice lze určit změřením průtoku vodního toku hydrometrickou vrtulí pod a nad pramenem a poté vypočítat z rozdílu těchto průtoků. U vodních toků, které mají výrazně vyšší průtok než zájmový pramen, vede ale tento přístup ke značné nejistotě. Druhou možností je využít změny konduktivity nebo teploty vody toku v důsledku přítoku vody pramene do toku. Tento přístup vede k mnohem menší chybě měření než pouhé odečítání průtoků na dvou profilech vodního toku (BRUTHANS a ZEMAN 2001). Pro tento účel (prameny ve Sv. Janu p. Skalou) byly hodnoty měřeny jednorázově jediným přístrojem, kde je v celém úseku pod pramenem běhový tok. V případě pramene v nivě nacházejícího se zhruba 500 m pod Sv. Janem p. Skalou, kde se na toku Loděnice nachází rozsáhlé tůň, docházelo k změnám konduktivity a teploty v čase a bylo proto třeba získat průměrné hodnoty konduktivity vody toku nad a pod pramenem. Konduktometry zde proto byly ponechány po několikadenní období se záznamem po 5 minutách (min) a poté byly naměřené hodnoty konduktivity opraveny na rozdíl měření obou přístrojů ve stejné vodě.

Konduktometry byly využity i pro stopovací zkoušky, kdy zaznamenávaly konduktivitu s krokem 1 min. Naměřená konduktivita povrchové vody toku byla přepočtena na koncentraci NaCl ze stopovacích zkoušek pomocí kalibrace. Protože každý konduktometr měří mírně odlišné hodnoty, byly pomocí kalibrace konduktivity z různých konduktometrů přepočteny v roce 2020 na jediný přístroj a jsou tak vzájemně porovnatelné. Průnikové křivky ze stopovacích zkoušek byly vyhodnoceny pomocí programu Qtracer2 (FIELD 2002). Hladina podzemní vody v jeskyni Vývěr nad Klášterem a na přepadu Ivan byla sledována pomocí čidel Solinst Edge Levellogger a Barrologger (Kanada) se záznamem v kroku 1 min.

3. Výsledky

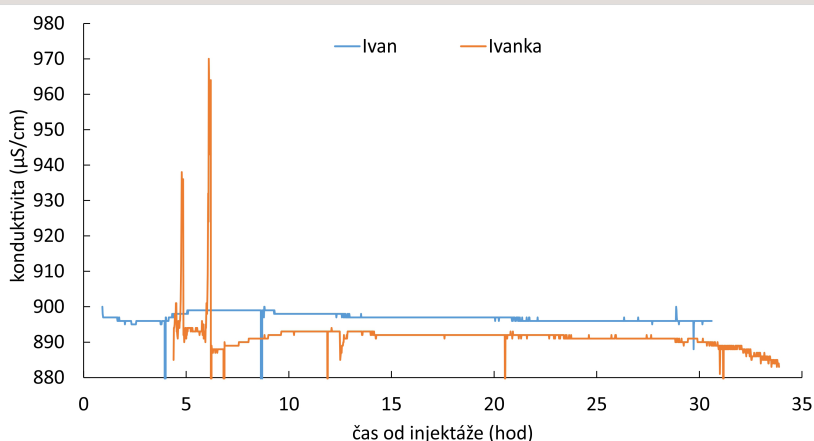
3.1. Stopovací zkouška v místech vsaku čerpané vody z jeskyně Vývěr nad Klášterem

Ještě před objevem aktivního toku v jeskyni Vývěr nad Klášterem, předpokládali autoři článku za nepravděpodobné, že by při čerpání 2,5 l/s, které snižuje hladinu podzemní vody v jeskyni o několik metrů, mohla současně voda z této jeskyně i přirozeně pokračovat podzemními cestami mimo dosah čerpadla dále směrem k prame-

Tab. 1. Měřený průtok pramene Ivan a čerpané množství podzemní vody z jeskyně Vývěr nad Klášterem dne 16. 3. 2019.

Tab. 1. Measured yields of the Ivan Spring and pumped amounts of groundwater from the Vývěr nad Klášterem Cave on March 16, 2019.

datum a čas	průtok Ivan (l/s); pozn.
16.03.2019 9:08	6,3
16.03.2019 9:50	začátek čerpání z jeskyně 2,5 l/s
16.03.2019 12:00	zpozorován zákal v Ivanovi
16.03.2019 13:10	4,8
16.03.2019 13:55	4,8
16.03.2019 14:40	5,1
16.03.2019 14:50	konec čerpání z jeskyně
16.03.2019 16:00	6,2
16.03.2019 17:00	6,7



Obr. 2. Záznam konduktivity vody při stopovací zkoušce v roce 2019.

Fig. 2. Conductivity record during the tracer test in 2019.

nům Ivan a Ivanka. Za příčinu občasného zakalování pramene Ivan byla tedy považována voda vypouštěná z čerpadla a na tuto vodu se zaměřila první stopovací zkouška.

Dne 16. 3. 2019 byla jeskyně Vývěr nad Klášteřem čerpána mezi 9:50 a 14:50. Voda se při čerpání ztrácí po asi 30 m od jeskyně v sutích ve dně údolí. Zákal v prameni Ivan byl pozorován v 12:00 tedy asi 2 hod po začátku čerpání. Čerpané množství a vydatnost pramene Ivan jsou uvedeny v tabulce 1. Mezi 10:30 a 10:45 bylo do odtoku čerpané vody injektováno 5 kg NaCl. Voda se ztrácela asi 15–20 m od jeskyně Vývěr nad Klášteřem ve dně suchého údolí v suti. Pomocí konduktometrů byly v kroku 1 min sledovány prameny Ivan (3 m pod měrným přelivem ČHMÚ) a smíšené vody pramenů Ivana+Ivanky (na spodním konci drenážního systému na pozemku čp. 24 při ústí do Loděnice). Sledování konduktivity vody probíhalo po dobu 30 hod po injektáži stopovače (obr. 2).

Z tabulky 1 je zřejmé, že při čerpání podzemní vody došlo k poklesu průtoku pramene Ivan asi o 1,5 l/s. Zbýlých zhruba 1 l/s do čerpaného množství jde tedy zřejmě na úkor vodnosti pramene Ivanka, jehož vydatnost nelze dnes přesně měřit. Z obrázku 2 je zřejmé, že v prameni Ivan nedošlo k významnějšímu nárůstu konduktivity vyvěrající vody. Po injektáži stopovače do vypouštěné zasakované vody se konduktivita vody v prameni zvýšila o pouhé 3 µS/cm v období 4–5 hod po injektáži a vrátila se pomalu zpět na původní hodnoty. Nejspíše jde o průnik malého množství stopovače (6 % injektovaného množství), nelze ale vyloučit i vlivy se stopovací zkouškou nesouvisející, jako například jiný poměr míšení vod vlivem čerpání podzemní vody z jeskyně. Pramen Ivanka byl sledován až 5 hod po injektáži stopovače do zasakované vody. Na záznamu jsou patrné dva velmi krátce trvající vrcholy koncentrace (5 a 6 hod po injektáži). Doba jejich trvání je příliš krátká, než aby mohlo jít o průnik stopovače z injektáže přirozenou cestou (disperzitivita přírodní dráhy by byla nereálně nízká). Nárůst konduktivity je pravděpodobně způsoben chvilkovou kontaminací pramene Ivan. Konduktivita vody pramene se poté po dobu 20 hod mění pouze o první µS/cm.

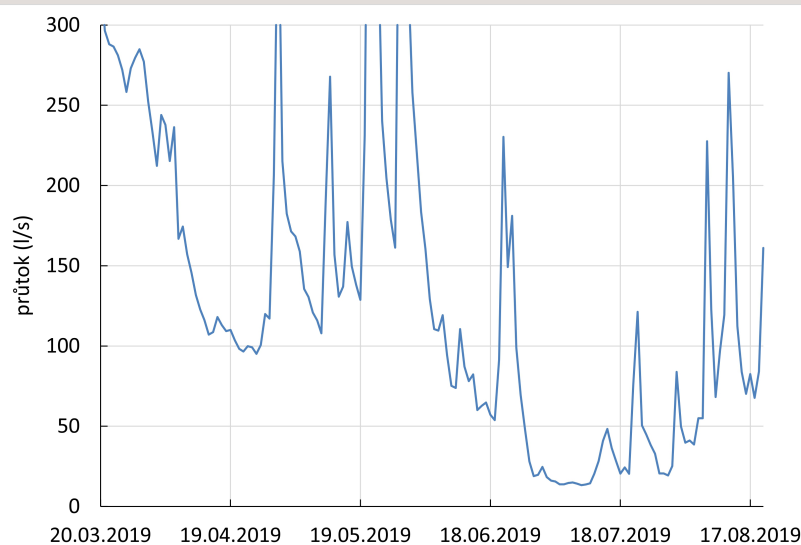
Z výsledku je zřejmé, že stopovač ze zasakované vody do pramene Ivan ve významnějším množství nepronikl a pravděpodobně ani do pramene Ivanka, protože při průniku stopovače od místa injektáže zčásti nenasycenou zónou by měla i po 5 hod od injektáže být pozorovatelná klesající koncentrace stopovače zpět k původním hodnotám. Podzemní voda odčerpaná z jeskyně (v objemu okolo 45 m³) je tak zřejmě z velké většiny zachycena v prostředí a uvolňuje se z něj pomalu, nebo odtéká jiným směrem než do pramenů Ivan a Ivanka.

3.2. Měření průtoků pramenů v červenci 2019

Dne 4 července 2019 byl na profilu ČHMÚ na toku Loděnice (Kačák) v Loděnicích na stránkách ČHMÚ indikován extrémně nízký průtok (14 l/s; obr. 3). Protože tok Loděnice má nad stanicí ČHMÚ povodí 254 km², bylo rozhodnuto o ověření tohoto extrémně nízkého průtoku terénním měřením. Nízký průtok Loděnice navíc umožňoval změřeni vydatnosti celého pramene ve Sv. Janu p. Skalou (resp. jeho hlavních větví), který za současného stavu ústí do toku Loděnice na více místech a pomocí přepadů či nádob lze měřit jen některé jeho části. Nízký průtok Loděnice umožňoval navíc změřit vydatnost pramene V nivě situovaného asi 500 m pod spodním koncem zástavby Sv. Jana p. Skalou, který již detekovala termometrií VČÍSLOVÁ (1980) a o jehož průtoku za nízkých ani vyšších vodních stavů není nic známo.

Průtok Loděnice byl změřen dne 6. 7. 2019 metodou stopovačů na 4 profilech (lokalizace viz obr. 1). Souřadnice profilů, plochy povodí Loděnice nad profilem i naměřené průtoky jsou uvedené v tabulce 2. Průtok Loděnice na profilu 1 v Loděnici dosahoval $16,8 \pm 1,0$ l/s na základě 9 hodnot měření. Velmi podobná hodnota byla zjištěna na profilu 2 asi 200 m nad ústím pramene ve Sv. Janu p. Skalou $17,4 \pm 2,7$ l/s. V obou případech se jedná o extrémně nízké průtoky vůči ploše povodí. Při vydělení průtoku plochou povodí získáváme průměrný specifický odtok $0,07$ l/s/km². V průměru tedy z každého 1 km² povodí Loděnice odtékalo pouhých 7 setin l/s. Tyto hodnoty jsou zhruba o řád nižší než očekávaný nejnižší průtok za suchých období. Profil ČHMÚ v Loděnici (malý jez se šikmou přepadovou hranou) je vhodný i pro měření velmi nízkých průtoků.

Výrazný nárůst průtoku Loděnice byl zaznamenán na profilu 3 na spodním jz. konci Sv. Jana p. Skalou ($33,4 \pm 2,0$ l/s). Nárůst průtoku odpovídá nárůstu vodnosti toku díky ústí několika větví pramene ve Sv. Janu p. Skalou. Pokud bychom vzali v potaz střední hodnotu průtoku, pak celková vydatnost pramene ve Sv. Janu p. Skalou činila 16 l/s což odpovídá 92 % vydatnosti Loděnice nad ústím pramene. Přitom povodí pramene odhadováno na 8 km² (ŽÁK et al. 2001), zatímco tok Loděnice má v tomto místě povodí o ploše 265 km² – tedy asi 33× rozsáhlejší (!). Poslední profil na toku Loděnice byl umístěn nad Hostimí, tedy pod ústím pramene V nivě. Změřený průtok na něm byl $36,1 \pm 1,9$ l/s. Protože směrodatná odchylka dosahuje u profilů 3 a 4 hodnoty 2 resp. 1,9 l/s a rozdíl ve středních hodnotách změřeného průtoku mezi profilem činí pouhé 2,7 l/s, nelze vydatnost pramene V nivě určit z rozdílu průtoků na profilech.



Obr. 3. Denní průměry průtoků Loděnice na profilu ČHMÚ v Loděnicích. Zdroj: ČHMÚ. Je dobře patrné, že v červenci 2019 byl průtok Loděnice extrémně nízký.

Fig. 3. Daily averages of the Loděnice Stream flow rates at the CHMI (Czech Hydrometeorological Institute) gauging station at Loděnice. Data source: CHMI. It is clear that the flow rate of the Loděnice Stream was anomalously low in July 2019.

U pramene ve Sv. Janu p. Skalou byla 6. 7. 2019 v době měření průtoků konduktivita následující: pramen 821 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Loděnice nad pramenem 1 382 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Loděnice pod pramenem 1 074 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pro teplotu vody platilo: pramen 11,8 °C, Loděnice nad pramenem 16,9 °C, Loděnice pod pramenem 14,15 °C. Pro výpočet byl využit průtok na profilu 3, který má menší směrodatnou odchylku než měření na profilu 2. Z míšení na základě konduktivity vychází celková vydatnost pramene Sv. Jan p. Skalou 17,3–19,5 l/s při uvažování průtoků Loděnice pod pramenem v rozsahu $33,4 \pm 2,0$ l/s. Z míšení na základě teploty vychází celková vydatnost pramene Sv. Jan p. Skalou 16,7–18,8 l/s při uvažování průtoků Loděnice pod pramenem v rozsahu $33,4 \pm 2,0$ l/s. Celková vydatnost pramene Sv. Jan p. Skalou tedy v červenci 2019 se pohybovala mezi 17–19 l/s. Je třeba poznamenat, že se jedná o průtok v období dlouhodobého hydrologického sucha.

U pramene V nivě byla situace složitější, protože v objemných tůních v oblasti pramene a při extrémně nízkém průtoku Loděnice docházelo jen k pomalému odtoku vody z tůní. Protože konduktivita vody toku Loděnice se pravděpodobně z důvodu nerovnoměrného množství vypouštěné vody z čistírny odpadních vod (dále jen ČOV) v Loděnici a v dalších obcích v čase měnila, způsobovaly velké objemy tůní mezi profily 3 a 4 různý průběh konduktivity povrchové vody na těchto profilech. Rozdíl v teplotě vody

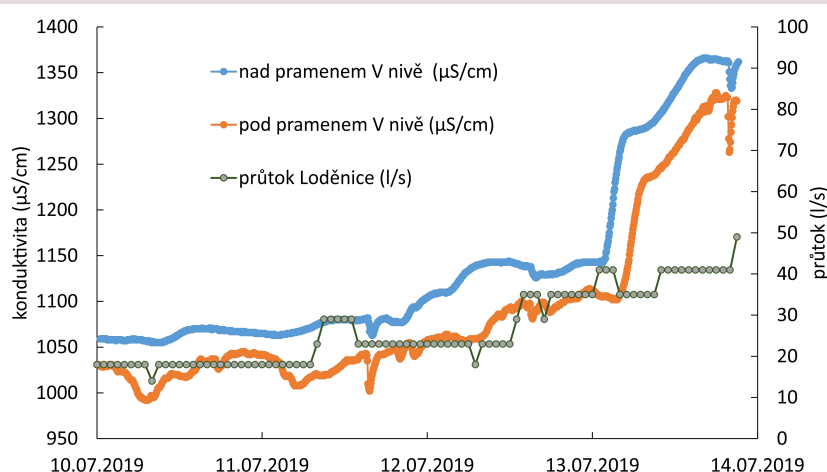
toku mezi profily byl malý, nepravidelně osciloval a nebylo možné ho pro výpočet míšení vody pramene s tokem využít. Pro určení středního rozdílu konduktivity vody mezi profily 3 a 4 byly tedy profily osazeny konduktometry na delší období. Dne 6. 7. 2019 probíhalo měření v čase 12:00–17:00 v intervalu 1 min. I toto zvolené období bylo příliš krátké, proto bylo měření na obou profilech opakováno v období 10. 7. 2019 21:00 až 14. 7. 2019 18:00 s automatickým záznamem po 5 min (obr. 4). Protože v uvedeném období se po srážkových událostech zvedal průtok, bylo pro výpočet míšení vody pramene a toku využito jen období 10. 7. 2019 21:00 až 12. 7. 2019 4:00, kdy byl průtok stejný jako 6. 7. 2019. Průměrná změna konduktivity Loděnice mezi profily v tomto období činila 39 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Průměrná konduktivita Loděnice na profilu 3 byla 1 063 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a na profilu 4 pak 1 024 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Z tohoto poklesu konduktivity Loděnice a pramene V nivě 807 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vychází vydatnost pramene v nivě 5–6 l/s při uvažování průtoků Loděnice pod pramenem $36,1 \pm 1,9$ l/s.

Při hledání nového vodního zdroje pro obec Hostim byl pramen V nivě v roce 2019 dočasně zpřístupněn pro vzorkování zaraženou pažnicí (Mgr. Michal Havlík, Stavební geologie – Geosan, s. r. o.). Voda z pramene má složení prakticky identické pramenům ve Sv. Janu p. Skalou (nitráty těsně nad 50 mg/l), takže bylo od plánů na případné využití pramene upuštěno (ústní sdělení K. Žák).

Tab. 2. Charakteristiky povodí a změřené průtoky Loděnice. Ve sloupci průtok je uveden aritmetický průměr, $\pm$ směrodatná odchylka průtoků a v závorce počet měření průtoků na daném profilu.

Tab. 2. Characteristics of the watershed and measured flow rates of the Loděnice Stream. The column "průtok" (flow rate) shows the arithmetic mean, $\pm$ standard deviation of the flow rate and in parentheses the number of measurements at the given profile.

profil	N	E	plocha povodí (km ²)	podíl délky říční sítě a plochy povodí (km/km ²)	spád toku (%)	střední nadmořská výška povodí (m n. m.)	datum měření průtoků	průtok (l/s)	specifický odtok (l/s/km ²)
1_Loděnice v Loděnici, limnigraf ČHMÚ	49,99262	14,16004	253,9	1,3	0,4	407	06.07.2019	16,8 $\pm$ 1,0 (9)	0,07
2_Loděnice nad Sv. Janem p. Skalou	49,96920	14,13268	265,5				06.07.2019	17,4 $\pm$ 2,7 (8)	0,07
3_Loděnice pod Sv. Janem p. Skalou	49,96554	14,12940	267,0				06.07.2019	33,4 $\pm$ 2,0 (9)	0,13
4_Loděnice nad Hostimí	49,96288	14,12889	267,1				06.07.2019	36,1 $\pm$ 1,9 (9)	0,14



Obr. 4. Průběh konduktivity Loděnice na profilech 3 a 4 při druhém měření a průběh průtoku Loděnice. Průtok je v tomto případě z internetového portálu ČHMÚ bez pozdějších oprav. Konduktivita vody byla přepočtena na stejný přístroj.

Fig. 4. Conductivities changes of the Loděnice Stream at profiles 3 and 4 during the second measurement and the flow rate changes of the Loděnice Stream. In this case, the flow rate values were adopted from the CHMI internet portal with no later corrections. Conductivity values were recalculated to the same device.

3.3. Extrémně nízké průtoky Loděnice v letech 2018 a 2019 a diskuze jejich příčin

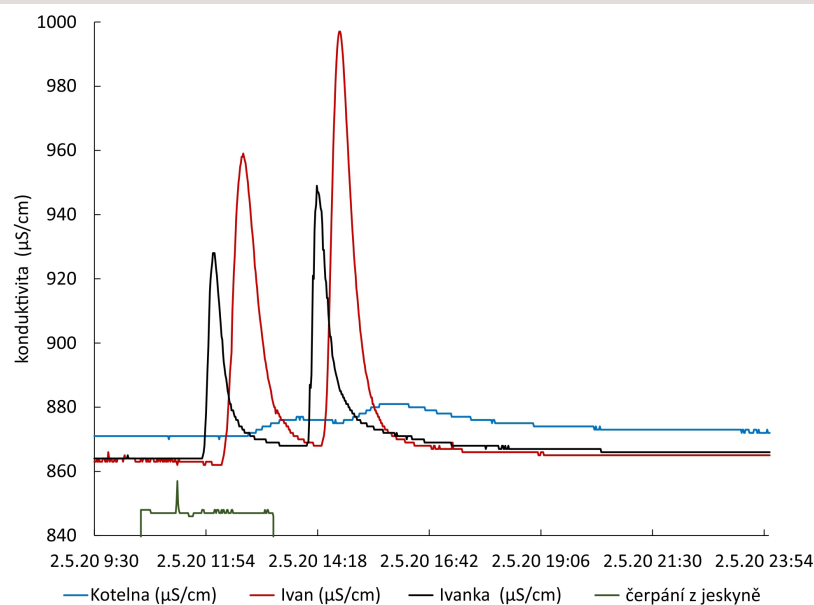
Podle databáze HEIS (<https://heis.vuv.cz/>) bylo v roce 2018 odebíráno v celém povodí Loděnice průměrně 9,8 l/s podzemní a povrchové vody. Největší podíl na odběrech vody z toku Loděnice měly závlahy pro Golf Vysoký Újezd (v průměru za celý rok 4,9 l/s; při odběrech je podle čerpaného objemu a doby čerpání ale odebíráno až 18,1 l/s). Individuální odběry povrchové vody chatářů pro účely zavlažování nepodléhají měření odebraného množství, ovšem vzhledem k počtu chat ležících na středním toku Loděnice bezprostředně podél toku, se může v souhrnu jednat o významný odběr vody z toku. Mnohem významnější bylo vypouštění vody v povodí Loděnice, které v roce 2018 dosahovalo průměrně 77 l/s. Z velké většiny (68,5 l/s) se jednalo o odtok z čistíren odpadních vod (ČOV). Je tak zřejmé, že vypouštění vody z ČOV do povodí Loděnice výrazně převyšuje odběry povrchové a podzemní vody (v průměru o 67 l/s), což je způsobeno především vypouštěním odpadní vody z obecních ČOV na Kladensku na horním až středním toku Loděnice, kam je v posledních letech pitná voda přiváděna z vodárenské soustavy KSKM s hlavními zdroji na Mělnicku a v povodí Klíčavy. Pokud v databázi HEIS nechybí informace o významných odběrech podzemní a povrchové vody a v povodí nejsou masivní černé odběry povrchové a podzemní vody dosahující okolo 70 l/s, což je velmi nepravděpodobné, pak stávající odběry povrchové a podzemní vody nemohou mít výrazný negativní vliv na průtok Loděnice. Naopak vypouštění vody z ČOV udržuje průtok toku na řadě profilů, jinak by zřejmě v letních obdobích 2018 a 2019 zcela vyschl. Je paradoxní, že přítok z ČOV do povodí Loděnice je 5× vyšší než nejnižší naměřený průtok Loděnice. Odtok z ČOV se tak podílí výrazně na vodnosti toku Loděnice, což je zjevné i z velmi vysoké konduktivity tohoto toku za nízkých vodních stavů (obr. 4).

BURIAN (2019) zpracoval denní průtoky Loděnice na profilu Loděnice od roku 1977 do 2018 (mimo let 1980–1982) z hlediska sucha, kde sucho je definováno jako denní průměrný průtok pod hodnotou 355denní vody (68 l/s), tedy průtok, který je v dlouholetém průměru podkročen jen 10 dní v roce. Vůbec nejnižší průtok byl zjištěn v srpnu 2018 (14 l/s), stejný průtok pak byl dosažen i v roce 2019. Tato data však již nebyla součástí zpracovávané řady. Velmi nízké průtoky se na toku Loděnice vyskytují zejména v srpnu a září (BURIAN 2019). Pokles průtoku pod 355denní vodu (68 l/s) se vyskytuje zejména v poslední době. Roky s více než 20 dny s průtokem nižším než 68 l/s byly 1999, 2008, 2009 a 2015–2018 (BURIAN

2019). Je tak zjevné, že pokles průtoku Loděnice v letním období je v posledních deseti letech výraznější. Příčiny těchto velmi nízkých letních průtoků mohou být v zásadě tři: 1/ výrazný nárůst letních teplot, který zásadně zvyšuje intenzitu evapotranspirace (BRUTHANS et al. 2020) a výparu z rybníků v povodí; 2/ snížení přítoků z kanalizace díky menší spotřebě vody na obyvatele (od roku 1990 klesla spotřeba pitné vody a tedy i množství vypouštěné vody z ČOV na cca polovinu což zmenšilo přítoky vody do povodí Loděnice za posledních 30 let z cca 140 na 70 l/s), a 3/ odběry povrchové a podzemní vody v povodí.

V povodí Loděnice se nachází 229 vodních nádrží s celkovou rozlohou 2,2 km² (BURIAN 2019). Vodní nádrže se vyskytují převážně v horní části povodí Loděnice. Největší z nich je Turyňský rybník (též Záplavy; zhruba 51 ha), deprese vzniklá na místě dřívějšího rybníka poklesem povrchu souvisejícím s hlubinnou těžbou uhlí. Výpar z vodní hladiny (mm.den⁻¹) lze spočítat ze vzorce E8 (ŠUHÁJKOVÁ et al. 2019), kde výpar = 0,0824*(průměrná denní teplota vzduchu)^{1,289}. Průměrný výpar z 2,2 km² vodních hladin v povodí Loděnice v červenci a srpnu 2018 dosahoval podle výpočtu v měsíčním průměru mezi 100–116 l/s (!). Podle plochy nivy pokryté vegetací lze očekávat nejméně stejné i spíše výrazně vyšší ztráty výparem z vegetace dosahující kořeny na hladinu podzemní vody (BRUTHANS et al. 2020). Zdaleka největší význam pro pokles průtoku Loděnice v suchých letech 2018 a 2019 má tedy zřejmě první faktor, kdy výpar za tropických dní dosahuje prvních set l/s a je tedy nejméně o 1 řád významnější než odběry povrchové vody. Vzhledem k výrazně vyšším teplotám vzduchu v řadě posledních let oproti situaci před rokem 1980 je vliv výparu z vodních ploch a nivy významnější než v minulosti.

Evapotranspirace (odpar z vegetace, půdy a vodní hladiny) je v povodí Loděnice nejzásadnější příčinou ztráty vody z povodí. Dlouhodobý průměrný úhrn srážek se pohybuje mezi 500–550 mm.rok⁻¹ (BURIAN 2019). Dlouhodobá průměrná výška odtoku na profilu Loděnice pak dosahuje jen 79 mm.rok⁻¹ (z průměrného průtoku 640 l/s na stanici ČHMÚ a plochy povodí; BURIAN 2019). Průměrný odtok vody na profilu Loděnice tak je jen 14–16 % z úhrnu srážek (podíl odtok/srážky). Evapotranspirace tedy z povodí průměrně odnáší 84–86 % spadlé srážkové vody. Jen okolo 15 % srážek zbývá na povrchový a podzemní odtok. Podíl evapotranspirace na srážkách bude mít tendenci s rostoucí teplotou se dále zvyšovat až do bodu, kdy vegetace začne zčásti ve srážkové suchých obdobích odumírat, což již nastává. Tímto procesem dojde postupně k autoregulaci vegetačního krytu na nové teplotní a srážkové podmínky.



Obr. 5. Průnikové křivky stopovače z jednotlivých objektů při testu v květnu 2020. Konduktivita vody přepočtena na stejný přístroj.

Fig. 5. Breakthrough curves of the tracer in the studied springs. Conductivities were recalculated to the same device.

3.4. Stopovací zkouška na aktivním toku v jeskyni Vývěr nad Klášteřem

V druhé polovině roku 2019 se ukázalo, že při velkém snížení hladiny vody v jeskyni Vývěr pod Klášteřem čerpáním se na jejím dně objevuje rychlé proudění vody, které má čerpadlo a pokračuje do neznámých prostor směrem k pramenům (dále aktivní tok; www.geospeleos.com). To umožnilo provést stopovací zkoušku přímo z této jeskyně směrem k vývěrům Ivan, Ivanka a Kotelna, bez rizika, že by většina stopovače byla nasáta do čerpadla.

Dne 2. 5. 2020 byla provedena dvojice stopovacích zkoušek v jeskyni Vývěr nad Klášteřem. Přitom byly sledovány pomocí automatických konduktometrů všechny prameny: A/ pramen Kotelna v pramenné jímce, B/ pramen Ivan 3 m pod přepadem ČHMÚ, C/ průsak ze zadržovací chodby s přítokem Ivanky (0,5 l/s) a konečně i D/ čerpaná voda z jeskyně Vývěr nad Klášteřem. Konduktivita vody byla zaznamenávána po 1 min. Záznam byl ukončen 3. 5. 2020 večer. Čerpané množství podzemní vody z jeskyně nebylo měřeno, ale mělo by být stejné jako v září 2020, tj. okolo 4 l/s, protože používané čerpadlo a hadice i hydrologické podmínky byly stejné.

První injektáž stopovače byla provedena po snížení hladiny podzemní vody v jeskyni Vývěr nad Klášteřem. Mezi 11:10 až 11:15 bylo do odtokového sifonu vsypáno 2 kg NaCl. Podle záznamu konduktometru nad čerpadlem strhlo čerpadlo jen 0,1 % injektovaného stopovače, což je zanedbatelné. Druhá injektáž 3 kg NaCl byla provedena v 13:35 po vypnutí čerpadla vsypáním do vodního sloupce ve Vývěru nad Klášteřem. Měřený průtok na prameni Ivan a Kotelna ukazuje tabulka 3. Průtok pramene Ivan byl měřen nádobou 45 l na přepadu. Pramen Kotelna byl měřen jen jednorázově na odtoku trubkou do toku Loděnice.

Z obrázku 5 je patrné, že stopovač vždy dorazil nejdříve do pramene Ivanka, později do pramene Ivan a nejpозději do pramene Kotelna. Zatímco prameny Ivan a Ivanka vykazují ostré vrcholy, do pramene Kotelna dorazilo jen malé množství stopovače. Průnikové křivky stopovače byly analyzovány v programu Qtracer2 (tab. 4).

Z tabulky 4 je zřejmé, že čelo stopovače dorazilo při čerpání podzemní vody z Vývěru nad Klášteřem do pramene Ivanka za 40 min, do pramene Ivan až za 65 min a do pramene Kotelna za 99 min. Po ukončení čerpání podzemní vody z Vývěru nad Klášteřem

Tab. 3. Měřené průtoky během stopovací zkoušky v květnu 2020. Odtok z pramene Kotelna je periodicky zajišťován odčerpáváním, měřeno při čerpání, takže skutečná vydatnost pramene je výrazně nižší.

Tab. 3. Measured spring yields during the tracer test. The outflow from the Kotelna Spring is pumped periodically, the given value was measured during pumping, so the real yield of the spring is considerably lower.

datum	Ivan průtok (l/s)	Kotelna průtok (l/s)
02.05.2020 8:15	5,7	0,29
02.05.2020 10:03	5,5	
02.05.2020 10:28	začátek čerpání	
02.05.2020 11:10	začátek injektáže 1	
02.05.2020 11:15	konec injektáže 1	
02.05.2020 12:26	4,2	
02.05.2020 13:35	injektáž 2 po ukončení čerpání	
02.05.2020 16:59	5,6	

se díky zvýšenému průtoku systémem čas zdržení snížil na 30 min u pramene Ivanka, 49 min u pramene Ivan a 77 min u pramene Kotelna. Tomu odpovídá i maximální rychlost proudění podzemní vody, která se u jednotlivých sledovaných objektů a stopovacích zkoušek pohybuje mezi 100 a 348 m/hod. Při první stopovací zkoušce bylo zachyceno jen okolo 60 % stopovače, při druhé zkoušce okolo 100 %. Drtivá většina stopovače míří do pramenů Ivan a Ivanka, do pramene Kotelna proniklo méně než 1 % injektovaného stopovače. Objem zatopených podzemních prostor mezi Vývěrem nad Klášteřem a sledovanými prameny dosahuje cca 28 m³ v cestě k prameni Ivan, 48 m³ v cestě k prameni Ivanka a pouhé 3 m³ v cestě k prameni Kotelna.

3.5. Stopovací a hydraulická zkouška na aktivním toku v jeskyni Vývěr nad Klášteřem

Dne 12. 9. 2020 byla provedena další stopovací zkouška na aktivním toku podzemní vody v jeskyni Vývěr nad Klášteřem, při které se sledovaly pomocí konduktometrů prameny: A/ Ivan v odtokovém kanále 3 m pod přepadem ČHMÚ, B/ Ivanka v odtokové trubce pod

Tab. 4. Výsledky stopovací zkoušky z května 2020. Průtoky pramene Ivanka byly dopočteny za předpokladu, že vydatnost celého prameniště ve Sv. Janu p. Skalou dosahovala 18 l/s. Průtoky podzemní vody v jeskyni Vývěr nad Klášterem byly odhadnuty. Přímá vzdálenost je násobena koeficientem 1,5 podle FIELD (2002).

Tab. 4. Results of the tracer test from May 2020. The yields of the Ivanka Spring were calculated additionally assuming that the yield of the whole spring area was 18 l/s. The discharge values in the Vývěr nad Klášterem Cave were estimated. The direct distance was multiplied by a factor of 1.5 based on FIELD (2002).

objekt	Ivan	Ivan	Ivanka	Ivanka	Kotelna	Kotelna
stopovací zkouška č.	1	2	1	2	1	2
průtok na místě injektáže (l/s)	4	8	4	8	4	8
průtok na místě sledování (l/s)	4,2	5,6	10	12,5	<0,3	<0,3
vzdálenost korigovaná 1,5 (m)	190	190	174	174	167	167
čas prvního objevení (min)	65	49	40	30	99	77
čas max. koncentrace (min)	92	71	53	42	161	126
max. koncentrace (mg/l)	52	70	35	44	3	3,5
střední doba zdržení (min)	111		80		170	
střední rychlost (m/hod)	105		136		60	
disperzní koeficient (m ² /s)	0,06		0,11		0,05	
podélná disperzivita (m)	2		2,9		3,1	
Pecletovo číslo	97		60		54	
maximální rychlost (m/hod)	176	233	261	348	101	130
objem zatopených prostor (m ³)	28		48		<3	
průměrný průtočný řez (m ²)	0,15		0,28		<0,02	
návratnost stopovače (%)	29	46	33	60	<0,2	<0,7

Tab. 5. Měřené vydatnosti během stopovací zkoušky.

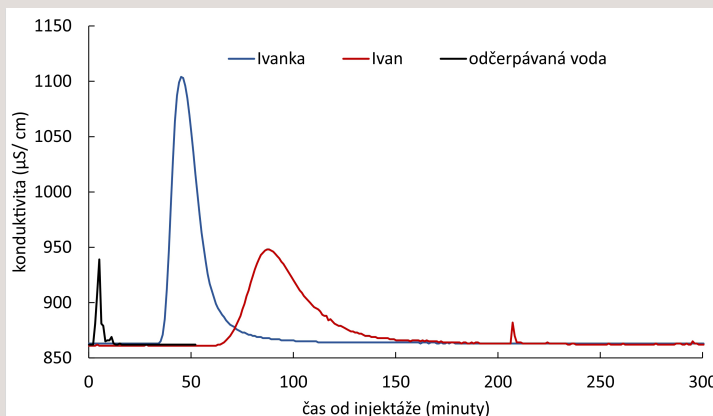
Tab. 5. Measured yields during the tracer test.

Datum/objekt	vydatnost Ivan (l/s)	množství čerpané vody z jeskyně (l/s)
12.09.2020 9:00	5,5	
12.09.2020 10:32	začátek čerpání	
12.09.2020 10:40		4,6
12.09.2020 11:10	4,6	
12.09.2020 11:20		4,0
12.09.2020 11:46	injektáž stopovače	
12.09.2020 12:00		3,9
12.09.2020 12:15	3,7	
12.09.2020 12:30		4,4
12.09.2020 12:36	konec čerpání	
12.09.2020 14:00	5,0	
12.09.2020 14:45	5,1	
12.09.2020 15:30	5,3	

Tab. 6. Výsledky stopovací zkoušky ze září 2020. Průtoky pramene Ivanka byly dopočteny za předpokladu, že vydatnost celého prameniště ve Sv. Janu p. Skalou dosahovala 20 l/s. Průtoky v jeskyni byly odhadnuty. Vzdálenost je násobena koeficientem 1,5 na základě neznámých údajů o skutečné délce proudových cest (FIELD 2002).

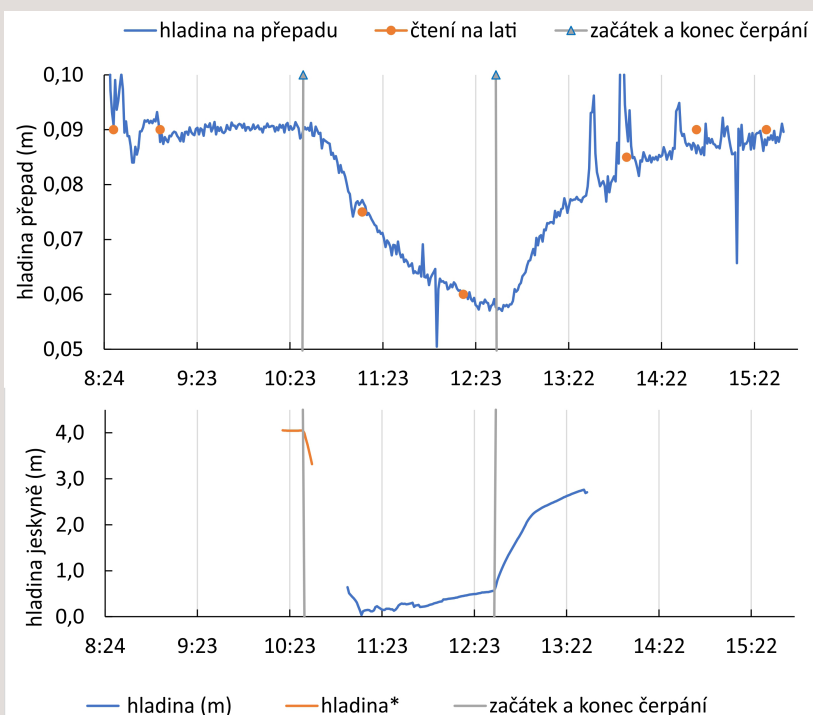
Tab. 6. Results of the tracer test from September 2020. The yields of the Ivanka Spring were calculated additionally assuming that the yield of the whole spring area was 20 l/s. The flow rates in the cave were estimated. The direct distance was multiplied by a factor of 1.5 based on FIELD (2002).

pramen	Ivan	Ivanka
stopovací zkouška č.	3	3
průtok na místě injektáže (l/s)	4	4
průtok na místě sledování (l/s)	4,2	12
vzdálenost korigovaná 1,5 (m)	190	174
čas prvního objevení (min)	65	35
čas max. koncentrace (min)	87	45
max. koncentrace (mg/l)	45	121
střední doba zdržení (min)	103	52
střední rychlost (m/hod)	111	201
disperzní koeficient (m ² /s)	0,05	0,06
podélná disperzivita (m)	1,6	1,1
Pecletovo číslo	120	165
maximální rychlost (m/hod)	176	298
objem zatopených prostor (m ³)	28	~37
průměrný průtočný řez (m ²)	0,15	~0,21
návratnost stopovače (%)	22	~72



Obr. 6. Průnikové křivky stopovače z 12. 9. 2020. Hodnoty konduktivity vody jsou přepočteny na stejný přístroj. Malý vrchol koncentrace na Ivanovi po 200 min je umělým vlivem.

Fig. 6. Breakthrough curves of tracers on September 12, 2020. The conductivity values of groundwater were recalculated to the same device. A small peak for the Ivan Spring after 200 minutes is an artefact.



Obr. 7. Průběh hladin na přepadu pramene Ivan (nahore) a v jeskyni Vývěr nad Klášteřem (dole). U hladiny podzemní vody v jeskyni symbol * představuje nejistotu ve výškovém nasazení.

Fig. 7. The development in water levels at the Ivan Spring overflow (above) and in the Vývěr nad Klášteřem Cave. Symbol * refers to uncertainty in the exact position of groundwater level.

soukromým pozemkem. Konduktivita podzemní vody byla zaznamenávána po 1 min a záznam byl ukončen 13. 9. 2020 večer. Rovněž bylo měřeno čerpané množství vody z jeskyně a její konduktivita.

Injektáž stopovače byla provedena po snížení hladiny podzemní vody v jeskyni Vývěr nad Klášteřem. V 11:46 byly do odtokového sifonu injektovány 2 kg NaCl. Podle záznamu konduktometru nad čerpadlem strhlo čerpadlo jen 1,3 % injektovaného stopovače, což je relativně malé množství. Měřenou vydatnost pramene Ivan a čerpané množství podzemní vody z jeskyně Vývěr nad Klášteřem ukazuje tabulka 5. Vydatnost byla u pramene Ivan měřena nádobou 45 l na přepadu a čerpané množství podzemní vody z jeskyně nádobou 12 l.

Výsledky pro pramen Ivan jsou velmi podobné jako při první zkoušce (obr. 6). Výsledky pro pramen Ivanka jsou věrohodnější než u první stopovací zkoušky, protože při druhé zkoušce bylo čidlo umístěno přímo do odvodní trubky (do soustředěného proudu vody) zatímco při stopovacích zkouškách z května 2020 bylo měřeno jen drobnější množství vody unikající mimo trubku. Množství zachyceného stopovače se blížilo 100 %.

V průběhu stopovací zkoušky byl pomocí tlakových čidel se záznamem v intervalu 1 min zaznamenáván pokles hladiny podzemní vody v jeskyni z důvodu jejího čerpání a opětovný nárůst hladiny podzemní vody po ukončení čerpání a taktéž změny hladiny na přepadu pramene Ivan. Hladina vody v prameni Ivanka zaznamenávána nebyla, protože to odtok trubkou nedovoloval. Změny hladin dokumentuje obrázek 7. Ukázalo se, že hladina vody na přepadu pramene Ivan reaguje na začátek a konec čerpání podzemní vody v jeskyni se zpožděním 10–13 min. Hydraulický pulz se šíří mnohem rychleji než částice stopovače, což ukazuje, že proudění podzemní vody se zčásti odehrává v tlakovém režimu (bez volné hladiny). V jeskyni došlo ke snížení hladiny podzemní vody na minimální úroveň již po 40 min. Hladina podzemní vody pak mírně začala stoupat díky nepatrně se zvyšujícím přítokům podzemní vody vyvolaným unikajícím vzduchem z neznámých částí jeskyně (J. Loh, ústní sdělení).

V prameni Ivan hladina na přepadu i vydatnost pomalu klesala až do konce čerpání podzemní vody z jeskyně Vývěr nad Klášteřem. Na prameni Ivan je pokles průtoku zřejmě způsoben odtokem vody ze statických zásob z okolí krasového kanálu mezi jeskyní a pramenem.

Těsnou souvislost mezi prameny Ivan a Ivanka dokládá také pozorování, které lze učinit při čerpání velkých objemů vody do cisterny (například pro dovážku vody do bazénů) z pramene Ivan. Obsluha vozu přitom obvykle zahradí přepad ČHMÚ deskou, čímž se hladina vody ve vývěru Ivan nad přepadem zvýší zhruba o 20 cm. Toto zvýšení hladiny vody se projeví v jezírku u vývěru v kostele – pramen Ivan – a velmi záhy se projeví zvýšením vydatnosti pramene Ivanka. Při poslední rekonstrukci pramene Ivan byl totiž hadicí na pramen Ivanka napojen přívod do kamenného korýtko pro odběr vody do nádob. Konec této hadice je ale za nízkých vydatností pramenů příliš vysoko, takže voda do něj obvykle neteče. Po zahrazení přepadu na prameni Ivan se přetok do odběrového korýtko po krátké době obnoví (K. Žák, ústní sdělení).

4. Závěr

Pomocí stopovacích zkoušek a hydraulického testu byl popsán charakter krasových kanálů mezi jeskyní Vývěr nad Klášteřem a prameny ve Sv. Janu p. Skalou. Podzemní voda proniká do jednotlivých pramenů z prostoru jeskyně Vývěr nad Klášteřem za 30–99 min, nejrychleji do pramene Ivanka a nejpomaleji do pramene Kotelna. Vydatnost pramene Ivan klesá 10 min po začátku čerpání podzemní vody z jeskyně Vývěr nad Klášteřem, což ukazuje, že podzemní voda proudí z části v napjatém režimu. Objem mobilní podzemní vody mezi výše uvedenou jeskyní a prameny ve Sv. Janu p. Skalou je relativně velký: 28 m³ nad pramenem Ivan a okolo 48 m³ u pramene Ivanka, což odpovídá průměrným průtočným profilům o ploše 0,15–0,2 m² a pokud se jedná o jediný krasový kanál, pak 0,35 m². Spíše se však jedná o pórovité prostředí při bázi akumulace pěnoveců, kde voda prostupuje více cestami. Ze stopovacích zkoušek byly zís-

kány disperzní parametry krasových kanálů. Drtivá většina stopovače proniká do pramenů Ivanka a Ivan, jen velmi malé množství (pod 1 %) do pramene Kotelná.

V červenci 2019 byly indikovány extrémně nízké průtoky Loděnice na profilu ČHMÚ v Loděnici, které souhlasí s výsledky terénního měření. Průtok Loděnice klesl na pouhých 15–17 l/s, což odpovídá odtoku na 1 km² povodí pouhých 0,07 l/s. Vydátnost pramenů ve Sv. Janu p. Skalou v tomto období s extrémně nízkými stavy některých povrchových toků dosahovala 17–19 l/s. Pramen v nivě Loděnice mezi Sv. Janem p. Skalou a Hostímí měl průtok okolo 5–6 l/s a vtékal skrytě do toku Loděnice bez pozorovatelných vývěrů podzemní vody ze břehu. Krasové prameny se na průtoku Loděnice pod Sv. Janem p. Skalou podílely za uvedeného stavu více než 50 %.

Nízké průtoky Loděnice v obci Loděnice v suchých letech 2018 a 2019 nejsou způsobeny odběry povrchové a podzemní vody, které jsou podle databáze HEIS oproti vypouštění vody z ČOV v povodí Loděnice nevýznamné, ale masivním výparem za tropických teplot, kdy jen z vodních nádrží v povodí se vypaří přes 100 l/s a další významné množství se vypařuje z vegetací pokryté říční nivy. Přes vypouštění velkého množství vody z ČOV do povodí Loděnice (okolo 70 l/s a to zejména z Kladenského regionu, kam je přiváděna voda z vodárenské soustavy KSKM), tak průtok Loděnice v Loděnici klesl na pouhých 14 l/s, což jsou nejnižší zaznamenané průtoky. Pokud v budoucnu dále porostou letní teploty, lze očekávat úplnou ztrátu vodnosti toku Loděnice na řadě úseků. Ostatně v některých úsecích mezi obcemi Loděnice a Sv. Jan p. Skalou bylo při pozorovaných extrémně nízkých průtocích koryto zcela vyschlé a veškerý tok se odehrával jen ve štěrčích pod dnem koryta. Přežití ryb zajišťovaly jen stagnující tůně.

Zvyšování hladiny povrchového toku v nivě, které navrhuji některá nápravná opatření uplatňovaná v poslední době v České republice (návrat koryt do přírodě blízkého stavu) by nevedlo ke zvýšení průtoku toku Loděnice, ale naopak k dalšímu prohloubení ztráty vodnosti toku, protože zvýšení hladiny toku v nivě a návazně i hladiny podzemní vody v údolní nivě umožní další vegetaci přístup k podzemní vodě, což dále zvýší výpar na úkor odtoku za suchých teplých letních období. Při plánování jakýchkoli nápravných opatření je tak vždy třeba uvažovat výpar a jeho změny při změně hladiny vody v nivě či při rozšíření vodních ploch.

Na rozdíl od laických představ většina vody z povodí Loděnice i dalších toků ve středních Čechách neodtéká, ale odpařuje se. Vodnost toků by tedy nezvýšilo lepší zadržení vody v nádržích a nivě toku, ale snížení odparu, resp. evapotranspirace. Velikost výparu rostlinami (evapotranspirace) závisí na teplotě vzduchu a dostupnosti vody pro vegetaci. Protože výpar za tropických teplot a vyschlé půdy se odehrává zejména z vegetace dosahující k hladině podzemní vody a z vodních ploch, zvýšení odtoku by ve skutečnosti nastalo při prohloubení řečišť a zmenšení vodních ploch. Tedy opatřeními přesně opačnými, než jsou často navrhována. Tím nemá být řečeno, že autoři článku po takových, dnes extrémně nepopulárních až kacírských opatřeních volají, jen se snažíme poukázat na zcela falešné představy o tom, kde je problém a k čemu by dnes často zmiňovaná a populární opatření vedla.

Při navrhování opatření pro zadržení vody v krajině je nezbytné v důsledku zvyšování teploty vzduchu, prodlužujícího se vegetačního období počítat se zvyšujícím se vlivem evapotranspirace, podle výsledku pak navrhnout vhodná opatření. Ne všechna opatření míněná ve prospěch přírody mají skutečně pozitivní přínos, jak ukazuje i současná situace vodního toku Loděnice.

Literatura

- BRUTHANS J. (1999): *Hydrogeologické poměry Českého krasu severně od řeky Berounky*. – Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy: 1–103. Praha.
- BRUTHANS J., KADLECOVÁ R., SLAVÍK M., KRÁLOVÁ M., FRYČ T., ČURDA J. (2020): Příčina prudkého snížení průtoků některých menších toků ve středních Čechách v létě 2019 a extrémně nízkých specifických odtoků: vliv evapotranspirace z příbřežní zóny toku a ploch s mělkou hladinou podzemní vody. – *Geoscience Research Reports*, 53: 47–54.
- BRUTHANS J., ZEMAN O. (2001): Regional permeable zones and stream thermometry in karst areas. – In: *New approaches characterizing groundwater flow*, Proceedings of 31st IAH Congress, Munich, vol. 2: 697–700. A. A. Balkema, Lisse, Netherlands.
- BURIAN A. (2019): *Hydrologické sucho v povodí Loděnice*. – Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy: 1–82. Praha.
- FIELD M. (2002): *The QTRACER2 program for Tracer Breakthrough Curve Analysis for Tracer Tests in Karstic Aquifers and Other Hydrologic Systems*. – U.S. Env. protect. agency hypertext multimedia publication. <http://cfpub.epa.gov/nceal/cfm/recordisplay.cfm?deid=54930>.
- KADLECOVÁ R., ŽÁK K. (1998): Krasové prameny Českého krasu. – *Český kras*, XXIV: 17–34. Beroun.
- KÄSS W., BEHRENS H., HIMMELSBACH T., HÖTZL H., HUNKELER D., LEIBUNDGUT C. H., MOSER H., ROSSI P., SCHULTZ H. D., STÖBER I., WERNER A. (1998): *Tracer technique in geohydrology*. – Balkema: 1–600. Rotterdam.
- KILPATRICK F. A., COBB E. D. (1985): *Measurement of discharge using tracers*. – U.S. Geological Survey. Open-File Records 84–116. Washington.
- KOPÁČ J. (2007): *Měření průtoku pomocí stopovačů: NaCl a měření konduktivity*. – Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy: 1–68. Praha.
- LOH J. (2018): Výsledky prací v občasném vývěru nad klášterem ve Svatém Janu pod Skalou v Českém krasu. – *Český kras*, XLIV: 60–63. Beroun.
- ŠUHÁJKOVÁ P., KOŽÍŇ R., BERAN A., MELIŠOVÁ E., VIZINA A., HANEL M. (2019): Aktualizace empirických vztahů pro výpočet výparu z vodní hladiny na základě pozorování výparu ve stanici Hlasivo. – *VTEI 2019*, 4: 4–10. Praha.
- VČÍSLOVÁ B. (1980): *Silur – devon Barrandienu – II. fáze – závěrečná zpráva*. – Nepublikovaná zpráva. Stavební geologie: 1–180. Praha.
- ŽÁK K., HLADÍKOVÁ J., BUZEK F., KADLECOVÁ R., LOŽEK V., CÍLEK V., KADLEC J., ŽIGOVÁ A., BRUTHANS J., ŠĚSTÝ M. (2001): *Holocenní vápenec a krasový pramen ve Svatém Janu pod Skalou v Českém krasu*. – Práce Českého geologického ústavu, 13: 1–136. Praha.
- ŽÁK K., KADLECOVÁ R., KADLEC J., KOLČAVA M. (1996): Chování krasových pramenů ve Svatém Janu pod Skalou během mimořádných srážkových událostí v květnu a červnu 1995 a nový občasný ponor v údolí Propadlé vody. – *Český kras*, XXII: 41–47. Beroun.
- ŽÁK K., KOLČAVA M., BRUTHANS J., ŽIVOR R. (2013): Evidence jeskyní Českého krasu: doplňky a změny za období 1. října 2011 až 30. září 2013. – *Český kras*, XXXIX: 63–67. Beroun.