

Revize pramenů podzemních vod v širším okolí města Berouna

A revision of groundwater springs in the broader area of the city of Beroun

Jan Holeček¹, Pavla Holečková¹

Abstract

In spring 2022, a revision and hydrogeological mapping of groundwater resources were carried out in the cadastral area of the town of Beroun and its vicinity. As a part of the fieldwork, documentation of the current conditions of hydrogeological objects was performed, and water samples were taken to assess their chemical composition. The paper summarizes hydrogeology of the most important springs. The results show that, despite of the relatively large number of present springs, only a few of them reach higher yields on the order of deciliters to a few liters per second. Waters of most springs are moderately to highly mineralized and some of them are interesting in their chemical composition, which results from the varied geology of the area. Four springs were found to contain nitrate concentrations above the drinking water limit, which evidences the effect of human activities on groundwater quality.

1. Úvod

Dostupnost vody je jedním ze základních zdrojů nezbytných pro život veškerých organismů včetně člověka. Lokální zdroje podzemních vod a jejich rozmístění jsou určujícím jevem, který umožnil v minulosti člověku osídlit krajinu a vzdálit se z dosahu řek. Nezbytností však byla přítomnost zdroje vody v docházkové vzdálenosti. V současné době jsme na lokálních zdrojích podzemních vod závislí méně, obyvatelstvo je z velké části zásobováno dálkovými vodovody, avšak určitá část domácností je i dnes stále zásobována lokálními zdroji podzemních vod. Na dostupnosti vody je závislá i veškerá fauna divoce žijící v krajině.

V posledních letech stále více pociťujeme postupné změny klimatu a zvýšenou extemitu počasí. Stejně tak nemůžeme zcela vyloučit, že z nějaké vnější či vnitřní příčiny nepříjeme na kratší či delší dobu o dálkové vodovodní zásobování. Z těchto důvodů je vhodné znát lokální zdroje podzemních vod, které by bylo možné v případě nouze využít, a správně o ně pečovat.

V průběhu přípravy monografie „Příroda Berouna – mezi Českým krasem a Křivoklátskem“ (Žák et al. 2023) věnované živé a neživé přírodě Berouna byla pozornost věnována i vodním zdrojům v katastru města Berouna a jeho přilehlém okolí. Tento článek shrnuje výsledky terénního hydrogeologického výzkumu provedeného v roce 2022 za podpory České geologické služby (ČGS).

2. Metodika

Hlavním zájmovým územím hydrogeologického výzkumu bylo území města Berouna (katastrální území Beroun, Jarov u Berouna, Hostim u Berouna a Zdejcina), avšak byly studovány i blízké hydrogeologické objekty vně této hranice (např. zajímavé prameny v oblasti Lisku). Výzkum probíhal formou terénního hydrogeologického mapování, při kterém byl revidován stav vodních zdrojů známých z archivních údajů a topografických mapových podkladů, avšak v průběhu prací v terénu bylo podchyceno i několik dříve nedokumentovaných pramenů. U každého navštíveného hydrogeologického bodu byla provedena dokumentace jeho stavu, pořízena fotodokumentace, a pokud to bylo možné, byly změřeny základní

fyzikálně-chemické parametry podzemních vod a vydatnost pramenů na vývěru. Pro měření pH byl použit terénní přístroj pHTestr 30, pro měření teploty a konduktivity přístroj ECTestr 11+, obojí od výrobce Eutech Instruments. Přístroje byly řádně kalibrovány vždy před zahájením terénních prací. Vydatnost pramenů byla měřena pomocí stopek a kalibrovaných odměrných nádob.

V případě že hydrogeologický objekt vykazoval aktivní přetok podzemní vody, byly odebrány dva vzorky vod na chemickou analýzu. První vzorek o objemu 250 ml, nefiltrovaný, bez přítomnosti vzduchové bubliny pro základní chemickou analýzu vody, druhý vzorek o objemu 50 ml, nefiltrovaný, okyselený 1 ml koncentrované kyseliny dusičné pro doplňkovou analýzu vybraných stopových prvků – kovů stanovených metodou atomové absorpční spektroskopie (ETAAS). Vzorky byly odebírány vždy přímo ve vývěru podzemní vody na povrch tak, aby neobsahovaly hrubé nečistoty či sediment. Chemické analýzy vod byly provedeny v Centrálních laboratořích ČGS v Praze podle certifikované metodiky laboratoře. Získaná terénní dokumentace i výsledky chemických analýz byly následně uloženy v centrální hydrogeologické databázi ČGS, kde jsou dostupné pro budoucí využití a studium.

3. Významné a zajímavé prameny v okolí Berouna

Ve studovaném území bylo v průběhu března a dubna 2022 zdokumentováno 34 hydrogeologických objektů – studánek, výtoků z důlních děl či vodárenských jímacích objektů. Zde je třeba upozornit, že se zcela jistě nejedná o všechny zdroje podzemních vod ve studovaném území. Nebyly studovány vrty a kopané studny, z nichž je třeba vodu aktivně čerpat, a také byly opomenuty mokřiny bez přítomnosti soustředěného vývěru a povrchové vodoteče. Z celkového množství zdokumentovaných hydrogeologických objektů jich v době výzkumu 23 vykazovalo aktivní přetok vody. Základní informace o jednotlivých objektech jsou uvedeny v tabulce 1 a jejich rozmístění v krajině je zobrazeno na přehledové mapce (obr. 1). Prameny jsou označené pořadovým číslem (1 až 34), prameny, u kterých byla provedena analýza, jsou v mapce (obr. 1) označené červenou barvou, prameny bez analýzy modrou barvou. V následujícím přehledu pramenů se věnujeme pouze pramenům s vyšší vydatností nebo pramenům, které jsou z nějakého hlediska hydrogeologicky zajímavé.

¹Česká geologická služba, Klárov 131/3, 118 00 Praha 1;

jan.holecek@geology.cz, pavla.holeckova@geology.cz

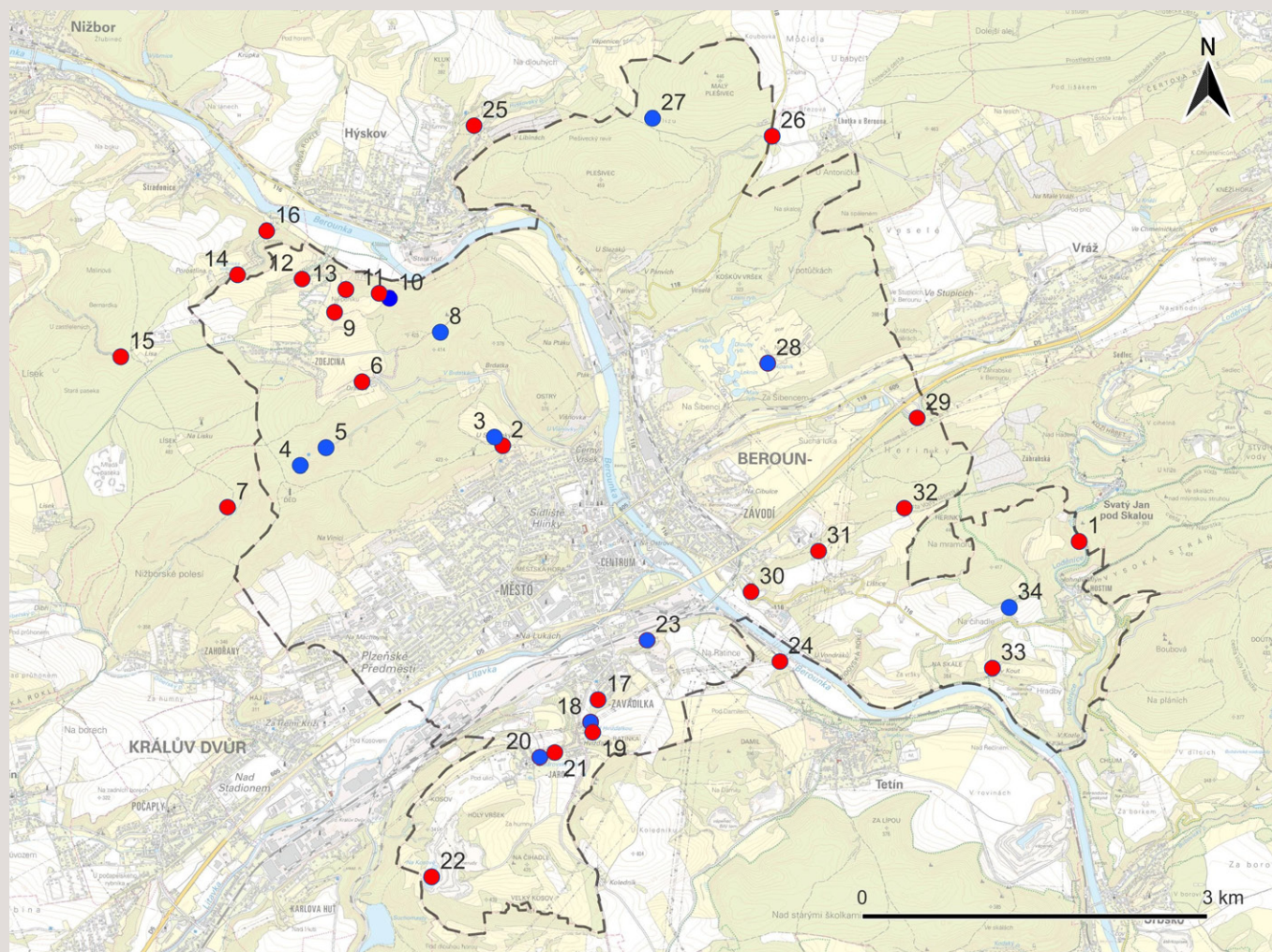
Poděkování: Je milou povinností poděkovat kolegovi RNDr. Karlu Žákovi, CSc., jak za pomoc při terénních pracích, tak i za cenné rady a poznatky při přípravě tohoto příspěvku. Poděkování patří též oběma recenzentům doc. RNDr. Zbyňku Hrkaloovi, CSc., a RNDr. Zbyňku Vencelidesovi, Ph.D., za konstruktivní připomínky v recenzním řízení, které přispěly ke zkvalitnění textu. Tato práce byla podpořena interním projektem České geologické služby č. 311220 „Živá a neživá příroda Berouna“ řešeným v rámci DKRVO/ČGS (2023–2027).

Český kras (Beroun), 49 (2023), 37–44, 2 tab, 3 obr.

© Muzeum Českého krasu, p. o., Beroun

ISSN 1211-1643

ISBN 978-80-87708-19-4



Obr. 1. Přehledová mapka rozmístění studovaných hydrogeologických objektů. Červenou barvou jsou označeny prameny, u kterých byla provedena chemická analýza, modrou barvou jsou označeny prameny bez analýzy. Čárkovanou čarou je vyznačena katastrální hranice města Beroun. Mapový podklad Základní mapa České republiky v měřítku 1:25 000, © ČÚŽK, 2023.

Fig. 1. An overview map of the distribution of studied hydrogeological objects. Springs subjected to chemical analyses are marked in red, springs with no analyses are indicated in blue. The Beroun city limits are shown by a dashed line. The map is derived from the Basic map of the Czech Republic, scale 1:25,000, © ČÚŽK, 2023.

3.1. Údolí Kačáku

Pramen (1), který má na území města Berouna zdaleka největší vydatnost, téměř nikdo nezná. Jedná se o silný vývěr podzemních krasových vod v údolí Kačáku mezi Svatým Janem pod Skalou a Hostímí. Voda zde vyvěrá z nivních sedimentů přímo do vodoteče potoka Kačák při pravém obtížně přístupném břehu nad bývalým jezem Johnova mlýna. Tento pramen bývá ve vědeckých pracích označován jako pramen V Nivě nebo Vývěr u jezu (BRUTHANS et al. 2022). Upozorní na sebe jen v zimním období, kdy hladina Kačáku kolem pramene nikdy nezamrzá. Led se na Kačáku objevuje pouze zřídka za velkých mrazů, protože vody Kačáku jsou ohřívány teplými podzemními krasovými vodami, které se do něj vlévají výše proti proudu ze slavných a široce známých pramenů ve Svatém Janu pod Skalou. Teplota pramene V Nivě je zvýšená a i v zimě dosahuje 11 °C, což je důsledek hlubokého oběhu a ohřevu vody geotermální energií v hloubce.

V roce 2021 proběhl výzkum, který zjišťoval, kudy vedou podzemní cesty vod ztrácejících se pod povrch z Bubovického potoka pod Bubovicemi a kde opět vytékají na povrch (BRUTHANS et al.

2022). Do ponorných vod bylo přidáno barvivo – fluorescein – a přesnými analytickými metodami bylo sledováno, kde všude se stopovač objeví. Ukázalo se, že podstatná část vod z Bubovic směřuje podzemím právě do popisovaného pramene V Nivě v údolí Kačáku, k němuž vody dotečou podzemím velmi rychle, už za 28 až 39 hodin (BRUTHANS et al. 2022). I přes velkou vydatnost tohoto pramene, 5–6 l/s (BRUTHANS et al. 2022), není tento zdroj vhodný pro využití, protože vody v tomto prameni jsou kontaminovány dusičnany a dalším fekálním znečištěním pocházejícím z polí v okolí Bubovic. Tato kontaminace je v určité míře přítomna i ve výše zmíněných pramenech ve Svatém Janu pod Skalou, ty se však již nachází mimo území katastru Berouna, a proto se jim zde nevěnujeme.

3.2. Šanův kout

Vydatný a stálý krasový pramen (33) se nachází v rokli v Šanově koutě za bývalým zahradnictvím V Kozle. Přístup k prameni od řeky Berounky přerušily soukromé pozemky a pramen samotný se nachází již v území NPR Karlštejn a není tedy volně přístupný. Využívaný pramen je zachycen betonovou hrázkou a sveden korytem na sucho

Tab. 1. Přehled studovaných hydrogeologických objektů s uvedením základních terénních měření teploty vývěru, pH a elektrické vodivosti. * – odhad hodnoty.**Tab. 1.** A review of the studied hydrogeological objects with basic field-measured parameters of temperature, pH and conductivity. * – estimated value.

Číslo bodu	Typ objektu	Název	Útvar	Datum odběru	Teplota vývěru °C	Vydatnost l/s	pH	Vodivost μS/cm
1	Pramen trvalý	V Nivě - Hostim	Devon	23.03.2022	11,6	neměřitelné	7,1	925
2	Pramen trvalý	U Studánky (též U Kapličky) - Beroun	Ordovik	09.04.2022	6,5	neměřitelné	7,7	912
3	Pramen trvalý	Na Vrbské - Beroun	Ordovik	neodebráno	-	-	-	-
4	Pramen občasný	Markova studánka - pod Dědem	Ordovik	neodebráno	-	-	-	-
5	Pramen občasný	Pod Markovou studánkou - pod Dědem	Ordovik	neodebráno	-	-	-	-
6	Pramen trvalý	U Krausů - Zdejcina	Ordovik	22.4.2022	9,0	0,049	7,1	2480
7	Pramen trvalý	Pramen sv. Václava - Děd	Ordovik	18.03.2022	5,2	0,009	6,4	2090
8	Pramen občasný	Při hřebeni Ostrý – kóta 425 (Pěník) - Zdejcina	Ordovik	neodebráno	-	-	-	-
9	Pramen občasný	Vodní zdroj - pastviny Na Pěniku	Ordovik	05.04.2022	7,2	neměřitelné	7,5	1301
10	Pramen trvalý	Severní svah Pěniku, rokle se sesuvem - Zdejcina	Ordovik	neodebráno	-	-	-	-
11	Pramen občasný	Pod pastvinami Na Pěniku - Zdejcina	Ordovik	22.4.2022	8,2	0,001*	7,1	1333
12	Vodní zdroj	Vodní zdroj - serpenty Stradonická, Zdejcina	Ordovik	05.04.2022	7,2	neměřitelné	7,3	1397
13	Pramen trvalý	Pramen v rokli pod Pěnikem - Zdejcina	Ordovik	22.4.2022	8,9	0,068	7,2	1265
14	Pramen trvalý	U Rezavé vody - Zdejcina	Karbon	18.03.2022	9,5	0,909	6,3	927
15	Vývěr ze štoly	Rezavá voda (původní) - Lísek	Karbon	18.03.2022	8,8	0,173	6,1	676
16	Pramen trvalý	Ve Stradonické rokli (Černov) - Zdejcina	Karbon	18.03.2022	9,0	0,291	6,6	727
17	Vodní zdroj	Vodní zdroj Zavadička - Zavadička	Silur	05.04.2022	9,8	neměřitelné	7,3	1343
18	Pramen trvalý	Nedaleko nad jímáním VZ na Zavadičce	Ordovik	neodebráno	-	-	-	-
19	Pramen trvalý	Pramen pod charitou - Jarov	Silur	23.03.2022	8,9	0,106	7,3	1287
20	Pramen trvalý	Vývěr do rybníka na Jarově	Ordovik/Silur	neodebráno	-	-	-	-
21	Vodní zdroj	Vodní zdroj (starý nefunkční) - Jarov	Silur	23.03.2022	6,1	0,033	7,8	1325
22	Jezero	Jezero v lomu Kosov	Silur	22.03.2022	6,3	neměřitelné	8,1	2200
23	Pramen občasný	Prameny u Grossovy - Zavadička	Ordovik	neodebráno	-	-	-	-
24	Pramen trvalý	Crkavka (U Crkavky) - Tetín	Silur/Devon	23.03.2022	8,4	0,076	7,5	1162
25	Pramen trvalý	Libinská studánka - Hýskov	Ordovik	22.4.2022	10,0	0,030	6,8	880
26	Studna	Studna pod Lhotkou - Železná	Terciér	23.4.2022	7,9	0,079	7,1	900
27	Pramen občasný	U Lizu - Lhotka u Berouna	Terciér	neodebráno	-	-	-	-
28	Pramen občasný	Studánka nad rybníčkem Rákosník - Beroun	Ordovik	neodebráno	-	-	-	-
29	Pramenná linie trvalá	Na Suchých lukách (nájezd na D5) - Záhrabská	Ordovik/Silur	06.04.2022	8,4	0,027	7,4	1017
30	Pramen trvalý	Za dvorem Ovčín - Beroun	Silur	06.04.2022	9,6	neměřitelné	7,1	1326
31	Pramen trvalý	Nad nemocnicí - Lištice	Silur	06.04.2022	8,2	neměřitelné	7,8	913
32	Pramen trvalý	Pramen Klabalka (vodní zdroj) - Záhrabská	Silur/Devon	06.04.2022	8,6	neměřitelné	7,3	894
33	Pramen trvalý	Šanův kout - Hostim	Silur/Devon	21.03.2022	8,4	0,300	7,8	1026
34	Pramen občasný	Nad Hostimí v úvozové cestě - Hostim	Devon	neodebráno	-	-	-	-

skládaných kamenných bloků. Jeho vydatnost je 0,3 až 0,5 l/s v závislosti na vydatnosti předchozích srážek. Pod pramenem se na dně koryta sráží novotvořené karbonáty – pěnovec.

Přestože je pramen využíván obyvateli přilehlých nemovitostí, voda nesplňuje limity pro pitné vody. I tento pramen je kontaminován dusičnany a pravděpodobně i dalšími látkami z výše položených polí. Zajímavé je, že voda pramene do Berounky po povrchu nedoteče, po několika desítkách metrů se vsakuje zpět pod zem do nivních sedimentů a do řeky vtéká skrytě.

3.3. Lísek a okolí

V oblasti Lísku na území lísecko-hýskovského karbonského reliktu se nalézají zajímavé železité prameny, tzv. rezavé vody. Vystupují na povrch na několika místech v hlubokých erozních roklích pod Zdejcínou. Nejznámější a největší z nich je vývěr v rokli označené v mapách jako Stradonická rokle či Černov na místě lidově zvaném U rezavé vody (14). Vydatnost tohoto pramene někdy dosahuje 1,5 až 2,0 l/s a jedná se tak o nejvydatnější nekrasový pramen v okolí Berouna. Po blíží vývěru a v krátkém úseku pod ním se kvůli oxidaci dvojmočného

železa rozpuštěného ve vodě sráží nerozpustné železité výrazně rezavě oranžově zbarvené druhotné minerály železa, které daly zdejším pramenům název. Níže v rokli tyto rezavé sraženiny barví skalní kaskády potoka označované jako Stradonické vodopády. Menší „rezavý“ pramen vyvěrá ve stejné rokli v její spodní části v místech křížení potoka se silničním mostkem (16) a další pramen obdobného charakteru vystupuje ze zavalené štolky zhruba 200 m západně pod hájovnou Lísa (15).

3.4. Zavadilka

Již od pravěku známé, a až do dnešní doby využívané, jsou prameny v oblasti Berouna-Zavadilky (17). Podnítily vznik zdejšího pravěkého osídlení a později ve středověku byl odtud veden první berounský městský vodovod, který ústí do kašny na berounském náměstí (SEYDL 1828). Jedná se o skupinu několika menších pramenů vyvěrajících v úbočí nebo centru údolí v prostoru pod berounskou Charitou. Voda pramenů je nasycená hydrogenuhlíkatem, což se projevuje srážením pěnoveců v nedalekém rybníčku. Vydátnost jednotlivých pramenů je malá v řádu 0,1 až 0,2 l/s, avšak souhrnná vydátnost vodního zdroje dosahuje průměrně 1,2 l/s (v maximu až 2,0 l/s; MĚÚ BEROUN 2016a), což řadí tyto prameny mezi významné lokální zdroje vod. Prameny jsou níže v údolí zachycovány vodárenskou jímací štolou, která se nachází 10 m pod terénem, je 30 m dlouhá o šířce 0,7 m a výšce 1,1 m. Jímaná podzemní voda je následně sváděna do sběrné jímky a odtud gravitačně do vodojemu Zavadilka, odkud je část vod přimíchávána do vodovodu berounského hromadného zásobování.

3.5. Zdejcina

Další využívané prameny se nachází na Zdejcíně ve svahu Pěníku (9) a při serpentinovité ulici Stradonická pod Zdejcínou (12). Dle rozhodnutí vodoprávního úřadu města Beroun z roku 2017 (MĚÚ BEROUN 2017) je povolen odběr z těchto zdrojů průměrně 0,3 l/s z prameniště na Pěníku (9) a 0,5 l/s z prameniště pod Zdejcínou. Tyto vodní zdroje jsou jímány do vodojemu a po chloraci zásobují pitnou vodou obyvatele Zdejciny. Kromě přirozeného prameniště se poblíž bodu 9 nachází i jímací vrt HZ4, který je též využíván jako vodní zdroj a má povolený odběr o vydátnosti 0,22 l/s (MĚÚ BEROUN 2016b). Prameny na Zdejcíně jsou situovány do ordovických alterovaných tufitů a bazických diabasů komárovského komplexu. Geologický podklad se propisuje do jejich chemického složení vod. Jsou slabě alkalické, silně mineralizované s obsahem rozpuštěných solí nad 1 g/l.

3.6. Klabalka

Posledním příkladem lokálního využívaného vodního zdroje je pramen Klabalka (32) nad berounskou nemocnicí na úbočí Herinek. Historický pramen se nacházel v údolí zhruba 750 m daleko od berounské nemocnice, při levé straně pěšiny k dubu Na Herinkách. Při výstavbě nemocnice byl někdy mezi lety 1927–1929 tento pramen zachycen jímacím objektem a sveden do vodojemu, který se nachází o něco níže po svahu vedle cesty. V 80. letech 20. století bylo uvažováno o úpravě jímacích zářezů a zvýšení vydátnosti, k čemuž ale nikdy nedošlo. V 70. letech byly zachyceny podzemní vody jímacím objektem o několik set metrů níže v údolí. Vydátnost pramene Klabalky je 0,2 až 0,4 l/s. Vzhledem k tomu, že se jedná o zdroj vody pro nemocnici, je důležité, že voda splňuje nízkým obsahem dusičnanů i přísný limit pro kojenecké vody. Hydrogeologicky se zřejmě jedná o vody krasového původu z oblasti Herinek, které vystupují k povrchu podle jednoho z příčných zlomů.

3.7. Lhotka u Berouna

Významný zdroj podzemní vody najdeme i v reliktu terciérních sedimentů pod Lhotkou u Berouna. U křižovatky silnice č. 118 pod Lhotkou se nachází velkoprofilová studna s přetokem (26). Studna je osazena čerpadlem a zachycená voda se využívá pro zemědělství, při nečerpání studna přetéká a je odvodňována přílehlým silničním propustkem do údolí. Přetok pramene v době návštěvy v dubnu 2022 byla necelá desetina litru za sekundu, avšak vydátnost výrazně kolísá v závislosti na dešťových srážkách a může dosahovat i několika desetin l/s. Níže v úbočí pod silniční křižovatkou se podzemní voda tlačí na povrch na řadě dalších míst a rozptýlené prameniště se sbírá a napájí potok protékající Šípovou roklí dále směrem do údolí v oblasti V Pánvích. Vzhledem k mělké hloubce založení zdejších pramenů a příležitosti zemědělsky obdělávaných pozemků výše po svahu jsou zdejší podzemní vody kontaminovány dusičnany a jsou využitelné pouze jako užitková voda.

3.8. U Kapličky (též U Studánky)

Jistě nejznámějším berounským pramenem je pramen U Kapličky (2) vyvěrající v cihlové kapličce vedle novogotické kaple Panny Marie Bolestné tyčící se nad městem. Hydrogeologicky zajímavá je pozice pramene vysoko ve svahu hřbetu Dědu tvořeného ordovickými břidlicemi a drobnými letenského souvrství jen několik desítek metrů pod vrcholem hřbetu.

Prameny jsou v této oblasti dva, jeden ve zmíněné kapličce (2) a druhý (3), vzdálený přibližně 100 m sz. směrem, plní jezírko v okraji louky Vrbská v křovinatém pásu. Podzemní vody zřejmě protékají hřebenem kopce podél ukloněných vrstev letenského souvrství směrem k JV a zde vyvěrají na povrch. Vydátnost obou pramenů není velká, obvykle se jedná jen o desetiny litru za vteřinu, v suchých obdobích i méně. Bohužel v dnešní době voda v prameni U Studánky obsahuje velké množství dusičnanů, které se splachují z rozkládajících se organické hmoty v rozpadajícím se lesním porostu nad pramenem a není tak i přes její údajně zázračné vlastnosti vhodná k pití.

3.9. Lužánky

Velmi zajímavý pramen (6) se nachází v Lužánkách pod Zdejcínou, nedaleko statku U Krausů (v mapách je místo označeno jako Drábov, avšak tento pomístní název patří spíše jinam). V erozním údolí zde v lukách vyvěrá několik menších pramenů, z nichž nejnižší položený je zachycený v dřevěné uzamykatelné boudičce na soukromém pozemku v blízkosti cesty. Voda z tohoto pramene je zajímavá svojí velmi silnou mineralizací s vysokým obsahem síranů, vápníku a hořčíku. V katastru Berouna se jedná o pramen s vůbec nejvyšším zjištěným obsahem rozpuštěné mineralizace o obsahu až 2,5 g/l. Tento pramen je využíván k individuálnímu zásobování přílehlé usedlosti. Souhrnná vydátnost zdejších pramenů je v řádu prvních desetin litrů za vteřinu.

3.10. Kosov

Neobvyklým zdrojem podzemních vod v katastru Berouna je uměle vytvořené jezero v lomu Kosov na Jarově (22). Voda prosakující puklinami horninového masivu stěn lomu se shromažďuje v prohlubni nejspodnější etáže a tvoří zde bezodtoké jezero o rozměru přibližně 150 × 50 m a hloubce až několika metrů. V lomu Kosov je zastíženo v různých výškových úrovních pestré litologické zastoupení hornin od bioklastických ortocerových vápenců, přes vápnité tufy a alterované diabasy až po černé graptolitové břidlice na nejnižší etáži. Jezero v lomu plní částečně srážková voda z plochy lomu a částečně voda pramenná prosakující puklinami ve stěnách lomu.

Voda v jezírku je silně mineralizovaná s obsahem rozpuštěných látek okolo 2,2 g/l. Hlavní rozpuštěnou složkou vody je síran vápenatý. Síranu jsou do vody uvolňovány zvětráváním v hornině přítomného pyritu, vápník je vyloučen z přítomných karbonátů, případně z karbonátových puklin v bazických tufech. I přestože se jedná o síranový typ vody, pH reakce je alkalická a hodnota pH dosahuje i více než 8. Na březích jezera se v období zvýšeného výparu sráží novotvořené karbonáty a sádrovce. Hladina v jezeře kolísá v závislosti na srážkách a velikosti výparu i o více než 1 m. Vzhledem k bezodtokému charakteru lze do budoucna očekávat další postupné zvyšování salinity až do úrovně okolo 3 g/l, kdy začne docházet nasycení vody minerály a ke krystalizaci sádrovce a množství rozpuštěných látek ve vodě bude řízeno srážením tohoto minerálu.

4. Vliv geologického prostředí na přítomnost podzemních vod

Zdroje podzemní vody vznikají přirozeným procesem, kdy dešťové srážky gravitačně pronikají do země a postupně se ukládají v pórech a trhlinách hornin. Množství zachycené vody i vydatnost pramenů úzce souvisí s geologickým podložím.

Větší sz. část studovaného území je tvořena nekrasovějícími horninami ordoviku (jílovce, jílovité břidlice a prachovce, a střídající se sledy drob, pískovců, prachovců a jílovitých břidlic) a vulkanogenního siluru (bazalty, diabasy). V těchto horninách se podzemní voda pohybuje zejména v zóně připovrchových zvětralin a po puklinách, případně po zlomech v hlubších částech skalního masivu. Vydatnosti zdejších pramenů jsou kvůli nízké pórovitosti a zásobnosti hornin zpravidla velmi nízké, obvykle v řádu desetin maximálně prvních litrů za minutu (tedy zhruba 0,005 až 0,05 l/s), v grafu na obr. 2 vyznačeno hnědou barvou.

Významnější rezervoáry podzemní vody nalezneme jen v úsecích budovaných krasovějícími horninami siluru a devonu, v nekrasovém karbonu nebo v nepevných sedimentech terciéru a kvartéru.

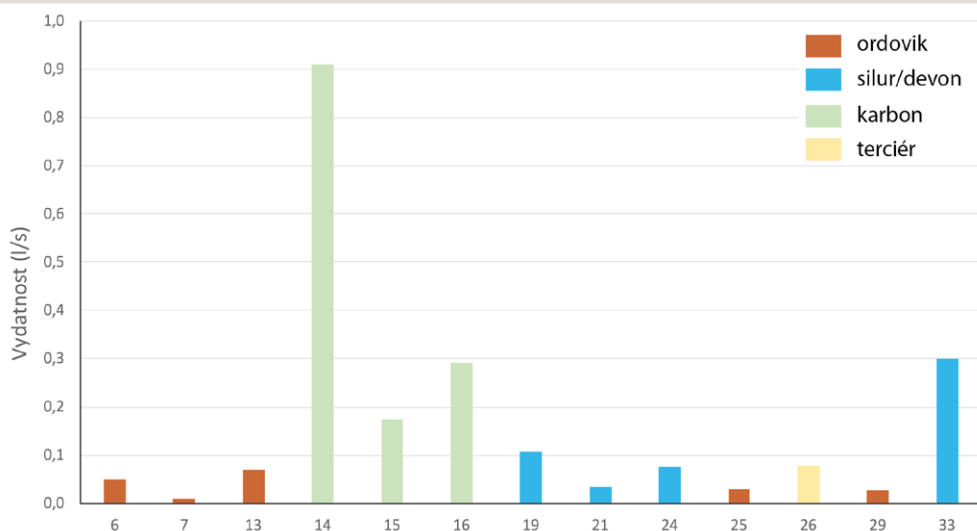
V krasovějících horninách siluru a devonu (menší, jv. část zájmového území) se podzemní vody soustřeďují do několika typů vápenců, kde vytváří zvodně – spojitá tělesa podzemních vod. Chemické složení vápenců umožňuje jejich rozpouštění a vznik cest soustředěného pohybu vod podzemím. Prameny s velkou vydatností se nacházejí v místech odvodnění takzvaného hlavního kolektoru – nejsnáze rozpustných vápenců lochkovského a zejména pražského souvrství

(modrou barvou na obr. 2). V nich je vzhledem k hlubšímu krasovému odvodnění hladina podzemní vody zakleslá do hloubky i více než 100 m pod povrchem. Prameny odvodňující rozsáhlá území hlavního krasového kolektoru mohou mít vydatnost i několik litrů za sekundu (BRUTHANS a ZEMAN 2000), výjimečně až první desítky litrů za sekundu (např. pramen ve Svatém Janu pod Skalou s vydatností okolo 20 l/s; ŽÁK et al. 2001). Další méně významná krasová zvodně je vytvořena také v některých vápencích siluru (včetně tzv. facie Kozla) v rámci silurského vrstevního sledu.

Prameny v oblasti Českého krasu jsou ve značné míře napájeny podzemní vodou s pomalým oběhem a dlouhou dobou zdržení vody v podzemí, běžně několik až první desítky let (ŽÁK et al. 2001). Jen malá část vody pochází z povrchových toků, protéká připovrchovou zónou zvětralin a reliktů křídly a neogénu, s dobou zdržení v řádu prvních měsíců. Proměnlivý podíl tvoří infiltrace srážek, které mají nejkratší dobu zdržení v řádu desítek hodin (ŽÁK et al. 2001).

Významné prameny s velkou vydatností odvodňují lísecko-hýskovský karbonový relikt (prachovce, pískovce a slepence na S dokumentovaného území; zelenou barvou na obr. 2). Vliv na vydatnost těchto pramenů má kromě lokálního narušení horninového prostředí těžbou uhlí také přirozené tektonické porušení zdejších karbonových sedimentů. Typické pro tyto prameny je nápadné srážení sytých oranžových až rezavě hnědých sekundárních minerálů železa na vývěrech (více v části věnované chemickému složení vod).

Největší množství podzemní vody lze čerpat z nivních terciérních a kvartérních štěrkopísků řek Berounky a Litavky, kam se kromě vsakujících se srážek a skrytých přítoků ze skalních masivů ležících na úbočích údolí dostává břehovou infiltrací i povrchová voda z řek (žlutá barva na obr. 2). Až do zavedení pitné vody ze Želivky bylo město Beroun na studních založených v nivě Berounky a Litavky z většiny závislé. Říční štěrkopísky mají velmi vysokou propustnost a díky tomu i velkou vydatnost vod. Čím více ze studny či vrtu v nivě čerpáme, tím více se projevuje břehová infiltrace, a proto chemické složení vod říčních niv je proměnlivé a závislé na konkrétním místě čerpání, stavu vody v řece a způsobu čerpání. Při velkém odběru nebo při vysoké hladině vody v řece převládá v čerpané vodě infiltrovaná říční voda. V případě řeky Berounky povrchová voda obsahuje do 0,5 mg/l rozpuštěných látek s významným obsahem chloridů, síranů a také nejrozličnějších dalších kontaminantů. Naopak při menším odběru čerpáním nebo nízké hladině řeky je podíl podzemní vody



Obr. 2. Vydatnost pramenů. V grafu nejsou uvedeny prameny s minimální vydatností a prameny, které neumožňovaly měření (např. zdaleka nejvydatnější pramen V Nivě v Hostimi (1) s odhadovanou vydatností okolo 5–6 l/s). Barevně jsou odlišeny podle geologického prostředí.

Fig. 2. Discharges of the springs. The plot does not contain springs with low discharge or those where measurement of discharge was impossible (e.g., spring V Nivě (1) with the highest discharge in the area of about 5–6 L/s). The colors indicate geological environments of the springs.

v čerpané vodě vyšší. Kvalitou vody se podzemní voda získaná z nivy Berounky či Litavky blíží povrchovým vodám. Dnes se již zdroje v nivách Berounky a Litavky v Berouně nevyužívají. Výše položené říční terasy Berounky obsahují obvykle jen malé zásoby podzemní vody s proměnlivým chemismem i obsahem rozpuštěných látek, podle typu podloží a okolních hornin. Vydátnost pramenů odvodňujících tyto staré říční terasy je silně kolísavá a do značné míry závislá na rozložení dešťových srážek v průběhu roku. V suchších obdobích zde prameny často zcela vysychají a objevují se opětovně až po vydatnějších srážkách.

5. Chemické složení podzemních vod

Chemické složení podzemních vod je výsledkem působení celé řady chemických interakcí (převážně rozpouštění/srážení) mezi horninovým prostředím a prosakující infiltrovanou srážkovou vodou. Dalšími významnými faktory jsou interakce s půdní atmosférou, biosférou a působení času, teploty a tlaku. V moderní době má vliv na chemické složení podzemních vod i činnost člověka, která se projevuje zejména kontaminací podzemních vod různými druhy polutantů.

Základní fyzikálně-chemické parametry vod pramenů měřené v terénu jsou uvedené v tabulce 1 a výsledky chemických analýz v tabulce 2. Většina studovaných pramenů má pH blízké neutrální hodnotě 7. Alkalické vody jsou v okolí Berouna zastoupeny pouze vodou v jezeře v lomu Kosov (22), která vykazuje mírně alkalické pH 8,11. Naopak prameny rezavých vod na Lísku (14, 15, 16) a pramen svatého Václava na Dědu (7) mají pH mírně kyselé (6,1–6,6). U pramenů na Lísku je nízké pH způsobeno oxidací v hornině rozptýleného pyritu, kdy je do vod uvolňováno rozpustné dvojmocné železo, sírany a kyselé vodíkové ionty.

V okolí Berouna se vyskytují většinou vody středně mineralizované s obsahem rozpuštěných látek mezi 0,6 až 1 g/l, avšak lze zde nalézt i vody silně mineralizované (1,6 až 2,5 g/l). Naopak mezi nejméně mineralizované podzemní vody patří tzv. „rezavé vody“ v oblasti lísecko-hýskovského karbonu, které mají mineralizaci v rozmezí 0,4–0,6 g/l. Nižší mineralizace „rezavých vod“ je dána jejich rychlejším oběhem v podzemí a krátkou dobou zdržení, kdy se původně srážkové vody nestihnou dostatečně obohatit o rozpuštěné minerály. Pro porovnání – obsah rozpuštěných látek ve srážkách je v řádu setin gramu na litr a množství obsažené v pitné vodě hromadného zásobování se obvykle pohybuje do 0,5 g/l.

Z chemického hlediska se nejčastěji vyskytují vody chemického typu $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$ s větším či menším zastoupením hořčíku a chloridů. Obsahy sodíku a draslíku jsou ve zdejších vodách nízké, v souhrnných koncentracích v řádu prvních desítek mg/l. Méně obvyklé jsou vody typu Ca-SO_4 , avšak ty jsou obvykle téměř prosté chloridů. Nejvýraznějším příkladem silně mineralizované síranové vody je jezíčko (22) na dně lomu Kosov s obsahem solí 2,2 g/l (sycené převážně podzemní vodou) nebo pramen U Krausů v Lužánkách (6) v horní části brdatského údolí u Zdejciny. Ten je obsahem 2,5 g/l rozpuštěných látek nejvíce mineralizovaným pramenem v okolí Berouna a je zajímavý i vysokým obsahem hořčíku (158 mg/l). Podzemní vody krasovějších vápenců mají chemické složení typu Ca-HCO_3 , místy se zvýšeným obsahem síranů a hořčíku. Celkový obsah rozpuštěných látek krasových pramenů je obvykle okolo 1,0 g/l a jedná se tak o vody středně mineralizované.

Obsah fluoru byl ve všech analyzovaných vodách, kromě jediného deficitního případu (jezera v lomu Kosov), obvyklý v rozpětí 0,1–0,4 mg/l. V množství stopových prvků Zn, Mn, Ni, Cu, As a Cd nebyly až na výjimky zjištěny žádné anomálie a koncentrace jsou v podzemních vodách nízké, často pod mezí stanovitelnosti ana-

lytických metod (tab. 3). Výjimku tvoří „rezavé vody“ (14, 15, 16) na Lísku, které mají kromě vysokého obsahu rozpustné dvojmocné formy železa (až 6 mg/l) i velké množství manganu (až 3 mg/l) a mohou mít zvýšené i obsahy dalších stopových prvků jako zinek, nikl či arsen. Typické pro tyto vody je nápadné srážení sytě oranžových až rezavě hnědých sekundárních minerálů železa na vývěrech způsobené oxidací rozpuštěného železa na nerozpustnou trojmocnou formu železa.

Z anorganických látek je v podzemních vodách považována za kontaminaci přítomnost dusičnanů, případně anomálně zvýšené obsahy chloridů, ty ale v některých případech mohou mít i přírodní původ. Zvýšený obsah dusičnanů v podzemní vodě je vždy indikátorem znečištění a nejčastějším původcem je nadměrné využívání umělých či statkových hnojiv, případně mají dusičnany původ v kontaminaci podzemních vod povrchovými fekálními vodami. Pozitivním zjištěním je, že z 23 pramenů, které jsme ověřovali na jaře roku 2022, pouze 4 (2, 24, 26, 33) obsahem dusičnanů přesahovaly hygienický limit obsahu 50 mg/l stanovený pro pitnou vodu. Naopak 8 pramenů obsahovalo dusičnany ve velmi nízké koncentraci nebo pod úrovní meze stanovitelnosti, a tímto parametrem se blíží lidskou činností neovlivněným vodám. Zbylých 11 vzorků vod obsahovalo první desítky mg/l NO_3^- . Maximální zjištěná koncentrace dusičnanů (148 mg/l, tj. trojnásobek zdravotního limitu) byla nalezena ve známém prameni U Studánky u berounské kaple Panny Marie Bolestné. Příčinou takto vysoké hodnoty dusičnanů je pravděpodobně splach rozkládané organické hmoty z blízkého výše ve svahu lesa či rozklad listí nafoukaného do pramení jímky. Vody z pramenů se zvýšeným obsahem dusičnanů nejsou vhodné k pití nejen kvůli dusičnanům, ale i z důvodu zvýšeného rizika přítomnosti nežádoucích koliformních bakterií či kontaminantů pocházející ze zemědělské činnosti.

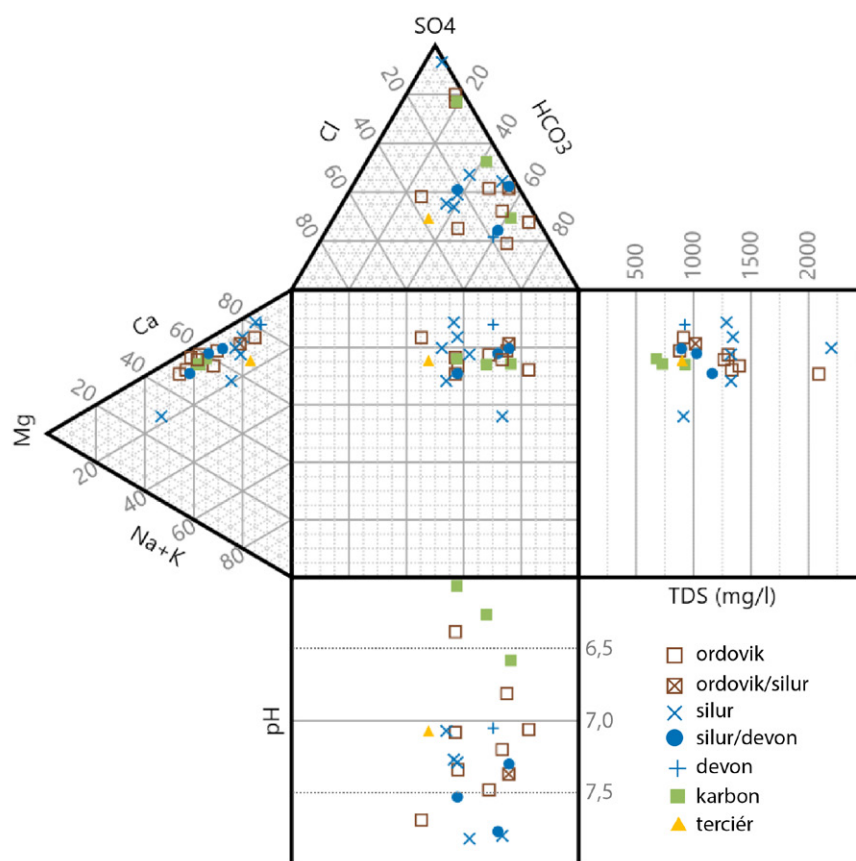
6. Diskuze a závěry

V rámci terénního hydrogeologického mapování na území města Berouna bylo zrevidováno a zdokumentováno 34 hydrogeologických objektů, převážně pramenů. Třidvacet pramenů vykazovalo aktivní přetok, avšak většina zdrojů má nízkou vydátnost v řádu tisícín až setin l/s a pouze 6 pramenů má vydátnost větší než 0,1 l/s. Nejvydatnějším pramenem v katastrálním území Berouna je málo známý pramen V Nivě vyvěrající do řečiště Kačáku mezi Hostimí a Sv. Janem pod Skalou, ten je ale jako zdroj pitné vody nevyužitelný z důvodu nevyhovující kvality vody. Obecně se v okolí Berouna vyskytují prameny s převážně středním až vyšším obsahem rozpuštěné mineralizace v rozpětí 0,4 až 2,5 g/l. To je dáno pestrým geologickým podložím s obsahem geochemicky reaktivních hornin (vápence, vulkanity). Reakce pH podzemních vod je převážně neutrální, vody lísecko-hýskovského karbonu jsou mírně kyselé (min. pH 6,1), naopak voda v jezeře Kosov je mírně alkalická (pH 8,1). Byly identifikovány 4 prameny překračující limit 50 mg/l obsahu dusičnanů. Největší koncentrace dusičnanů (148 mg/l) byla nalezena ve známém prameni U Kapličky. Důvodem je pravděpodobně splach rozkládající se organické hmoty z výše položeného rozpadajícího se lesního porostu. Další tři prameny s nadlimitními koncentracemi dusičnanů leží v blízkosti zemědělsky obdělávaných ploch. Obsahy sledovaných stopových prvků – Zn, Mn, Ni, Cu, As a Cd byly kromě „rezavých vod“ v oblasti Lísku velmi nízké, často pod úrovní analytického limitu. „Rezavé vody“ se vyznačují nejen vysokými obsahy rozpuštěného železa a manganu, ale též obsahují zvýšené množství niklu a arsenu.

Prameny a další lokální vodní zdroje mají významnou roli jak pro životní prostředí, tak pro lidskou společnost. Existuje řada důvodů, proč je důležité o ně pečovat. Přestože jsou vodní zdroje

Tab. 2. Chemické analýzy hlavních a stopových prvků odebraných vzorků. Hodnoty označené < jsou pod mezí stanovitelnosti analytické metody.
 Tab. 2. Chemical analyses of major and trace elements in the collected water samples. Values designated by the symbol < were below the detection limit.

Analyt	Li ⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mn ²⁺	Fe	Zn ²⁺	(HCO ₃) ⁻	(NO ₃) ⁻	F ⁻	SiO ₂	(SO ₄) ²⁻	Cl ⁻	Ni	Cu	As	Cd	Pb
Jednotka	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
1	5,1	<0,02	10,9	13,8	2,1	148,4	<5,0	<0,05	6,0	320,3	44,8	0,12	10,8	91,8	34,1	2,8	0,6	0,6	<0,04	<0,4
2	50,0	<0,02	14,1	15,6	6,0	129,5	<5,0	<0,05	23,0	131,2	148,7	0,40	20,4	150,9	18,9	63,0	12,5	1,3	0,04	<0,4
6	23,4	0,02	19,5	158,0	2,3	352,7	12,0	<0,05	18,0	326,4	12,4	0,36	9,0	1203,2	26,2	1,4	<0,2	<0,5	<0,04	<0,4
7	130,4	<0,02	32,4	134,1	4,5	230,5	10,0	<0,05	11,0	274,5	<0,1	0,09	13,6	892,5	38,8	4,2	<0,2	<0,5	<0,04	<0,4
9	18,6	<0,02	9,9	62,9	2,5	160,8	15,0	<0,05	22,0	390,5	10,9	0,46	11,3	265,8	43,3	4,9	0,8	<0,5	0,04	<0,4
11	29,3	0,19	16,6	73,9	6,0	142,8	112,0	1,0	11,0	567,5	2,2	0,27	17,0	179,4	15,7	2,8	<0,2	<0,5	<0,04	<0,4
12	17,0	<0,02	29,6	52,3	4,7	155,7	6,0	<0,05	24,0	353,9	25,1	0,24	11,2	154,4	118,9	5,1	5,2	<0,5	0,08	<0,4
13	13,8	<0,02	12,3	61,1	4,6	147,9	8,0	0,1	14,0	457,5	9,3	0,29	15,3	203,0	43,6	4,0	0,8	<0,5	0,05	<0,4
14	54,7	0,05	11,5	40,7	5,3	99,0	1245,0	4,9	23,0	231,9	<0,1	0,12	11,9	230,0	19,3	24,2	0,3	2,6	0,06	<0,4
15	38,6	0,07	6,7	23,7	2,8	65,6	3097,0	6,1	158,0	67,1	<0,1	0,10	14,7	213,1	8,3	142,8	<0,2	1,3	<0,04	<0,4
16	39,1	0,05	7,3	31,3	4,4	73,3	627,0	2,7	6,0	253,2	<0,1	0,26	10,9	94,9	21,2	8,4	<0,2	6,3	0,09	<0,4
17	4,3	<0,02	20,0	33,8	0,8	204,6	15,0	<0,05	31,0	311,2	31,7	0,12	13,3	249,8	89,2	8,5	5,3	<0,5	0,05	1,8
19	<2,0	<0,02	10,9	23,1	0,9	210,1	8,0	<0,05	5,0	295,9	40,2	0,07	16,4	199,8	92,2	5,5	<0,2	<0,5	0,05	<0,4
21	4,7	0,38	32,6	33,0	5,9	175,7	153,0	0,3	17,0	311,1	19,8	0,21	21,2	300,8	56,8	9,9	2,8	1,8	0,07	0,6
22	31,8	0,08	51,1	73,6	2,5	359,5	13,0	<0,05	17,0	94,6	<0,1	0,03	2,3	1203,0	9,7	17,8	0,9	<0,5	0,28	<0,4
24	<2,0	<0,02	20,5	56,5	1,1	112,0	10,0	<0,05	10,0	250,1	82,3	0,16	14,0	216,5	37,8	9,4	<0,2	<0,5	0,04	<0,4
25	19,2	<0,02	9,4	31,1	3,4	107,2	<5,0	<0,05	33,0	323,3	26,0	0,43	11,3	73,7	29,8	14,2	<0,2	1,8	0,09	<0,4
26	2,9	<0,02	27,5	15,6	1,3	102,3	18,0	0,1	10,0	158,6	86,0	0,24	15,6	111,1	55,9	0,8	<0,2	0,6	<0,04	<0,4
29	6,8	0,05	19,7	27,3	0,7	150,5	9,0	<0,05	7,0	341,7	0,6	0,18	14,5	202,9	12,8	<0,5	<0,2	<0,5	0,07	<0,4
30	10,0	<0,02	53,6	36,5	1,6	137,0	6,0	0,1	10,0	268,4	36,7	0,10	15,4	206,1	101,2	<0,5	<0,1	<0,5	<0,04	<0,4
31	2,5	<0,02	36,0	60,7	2,4	55,1	6,0	<0,05	10,0	292,8	11,2	0,14	14,5	200,4	8,2	<0,5	<0,2	2,9	<0,04	<0,4
32	3,3	<0,02	12,1	29,6	0,8	113,4	<5,0	<0,05	12,0	286,7	3,5	0,12	9,8	175,6	7,2	<0,5	<0,2	<0,5	0,04	<0,4
33	<2,0	0,02	11,3	41,1	0,8	121,4	<5,0	<0,05	11,0	353,9	77,6	0,08	11,2	113,9	10,7	10,7	<0,2	<0,5	0,05	<0,4



Obr. 3. Durovův diagram graficky popisující poměrové zastoupení (v hm. %) hlavních prvků ve vodách a základní parametry – pH a celkovou rozpuštěnou mineralizací (TDS, total dissolved solids). Z diagramu je patrný kyselý charakter vod v horninách karbonu, a naopak neutrální až zásaditý charakter vod v silurských a devonských horninách, které jsou převážně tvořeny karbonáty nebo bazickými vulkanity. V levém trojúhelníku je zřetelné, že mezi kationty obvykle převažuje vápník s proměnlivým množstvím hořčíku nad kationty sodíku a draslíku. Z horního trojúhelníku lze vyčíst, že převážná většina vod je smíšený typ hydrogenuhličitan-síranový, avšak občas lze nalézt i vody téměř čistě síranové (vzorek 22 – jezero Kosov v horní špičce trojúhelníku). Mineralizace vod je střední až vysoká.

Fig. 3. The Durov plot, diagrammatically illustrating the proportions (in wt. %) of major compounds and elements and basic parameters – pH and total dissolved solids (TDS). The diagram shows an acid reaction of groundwaters from Carboniferous rocks and, contrastingly, an alkaline reaction of groundwaters from the environment of Silurian and Devonian rocks, mostly represented by limestones or basic volcanic rocks. The left triangle with the cations clearly shows the usual prevalence of Ca with variable amounts of Mg over Na and K. The upper triangle shows that a vast majority of the studied waters belong to the bicarbonate-sulfate type. Still, almost purely sulfate waters are also occasionally present (sample 22 – Kosov Lake near the upper apex of the triangle). The TDS values are medium to high.

v Berouně využívány díky existenci dálkového vodovodu ze Želivky pouze podružně, jejich znalost a udržování je nezbytné z důvodu řešení různých krizových scénářů v budoucnu. Bohužel v současnosti se o většinu zdejších pramenů nikdo pravidelně nestará a upravené čisté pramenní jímky či studánky jsou vzácností. Přitom je třeba si uvědomit významnost těchto zdrojů pro divoce žijící zvěř a jedná se též o významné krajinnotvorné prvky, které zaslouží naši pozornost.

Literatura

- BRUTHANS J., MAREŠ J., JÄGER O., HERZA T. (2022): Voda z ponoru Bubovického potoka v hloubce rychle podtéká klastickou výplň holočenského synklinálu do pramenů v údolí Loděnice. – *Český kras*, 48: 5–17. Beroun.
- BRUTHANS J., ZEMAN O. (2000): Nové poznatky o hydrogeologii Českého krasu. – *Český kras*, 26: 41–49. Beroun.
- MĚSTSKÝ ÚŘAD BEROUN, OŽP (2016a): *Rozhodnutí o povolení nakládání s vodami čj. 2928/2003/ŽP-VOD/Li*: 1–5. Beroun.
- MĚSTSKÝ ÚŘAD BEROUN, OŽP (2016b): *Rozhodnutí ve věci odběru podzemní vody čj. MBE/45353/2016/ŽP-Ba*: 1–3. Beroun.

MĚSTSKÝ ÚŘAD BEROUN, OŽP (2017): *Rozhodnutí o povolení nakládání s vodami čj. MBE/75568/2016/ŽP-LiB*: 1–5. Beroun.

SEYDL J. A. (1828, tiskem 2003): *Kronika královského města Berouna*. – Editore vydání v roce 2003 M. GARKISCH, M. TOŠNEROVÁ. Státní oblastní archiv Praha, Státní okresní archiv Beroun: 1–256. Praha, Beroun.

ŽÁK K., HLADÍKOVÁ J., BUZEK F., KADLECOVÁ R., LOŽEK V., CÍLEK V., KADLEC J., ŽIGOVÁ A., BRUTHANS J., ŠTASTNÝ M. (2001): Holocenní vápence a krasový pramen ve Svatém Janu pod Skalou v Českém krasu. – *Czech Geological Survey Special Papers*, 13: 1–133. Praha.

ŽÁK K., BUDIL P., HEJNA M., HOLEČEK J., MAJER M., ELLEDER L., JUŘÍČKOVÁ L., MANDA Š., MOTTL J., PODROUŽKOVÁ Š., PRACH J., SEJKORA J., SVOBODA D., ŠPRYŇAR P., TASÁRYOVÁ Z., VESELOVSKÝ F., VESELÝ J., WAGNER J., CÍLEK V. (2023): *Příroda Berouna, mezi Českým krasem a Křivoklátskem*. – Machart: 1–304. Beroun.