

**Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Aplikovaná geologie



Bc. Daniil Belokopytov

Vybraná problematika v hydrogeologii krasu České republiky

Selected issues in karst hydrogeology in Czech Republic

Typ závěrečné práce:

Diplomová práce

Vedoucí práce/Školitel: doc. RNDr. Jiří Bruthans, Ph.D.

Praha, 2019

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 13. 05. 2019

.....

Podpis

ABSTRAKT

Předkládaná práce se zabývá hydrogeologií třech krasových oblastí České republiky - údolím Albeřického potoka, Dyleňským krasem a Javoříčko - Mladečským krasem. Cílem práce bylo zpřesnění hydrogeologických poměrů vybraných území pomocí lokalizace pramenů na úsecích vodních toků, kde byl očekáván jejich výskyt. Dílčím cílem pak bylo upřesnění původu vod v jímacím území Čerlinka na východním okraji Javoříčko - Mladečského krasu.

Základní metodou užitou v této práci bylo podélné profilování teploty a konduktivity (dále termometrie), které je oproti jiným metodám, které přes svoji jednoduchost a časovou nenáročnost (oproti jiným metodám, aplikovaným v krasu) umožňuje přesnou lokalizaci skrytých přítoků. Tato metoda byla v oblasti Javoříčko - Mladečského krasu doplněna o umístění piezometrů, sledujících směr proudění mezi vodním tokem a jeho břehy, a zpracování dat chemismu z předchozích výzkumů.

Výsledkem termometrie byla lokalizace několika potenciálně krasových přítoků v Albeřickém údolí a v Dyleňském krasu. V oblasti Javoříčko - Mladečského krasu byl oproti očekávání zaznamenán celkově nízký stav povrchových toků, které byly často vyschlé nebo zamrzlé. Analýza dat chemismu přinesla nejednoznačné závěry, které spočívají především v rozporu údajů o chemickém složení zkoumaných objektů oproti jejich hodnotám $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$.

ABSTRACT

This thesis deals with hydrogeology of three karst regions in Czech Republic – the valley of Albeřický brook, Dyleň karst and Javoříčko – Mladeč karst. The main goal of thesis was to give accuracy to hydrogeological situation in selected territories through the localization of the springs, where the occurrence of seepage into the watercourse was presumed. The side goal was to determine the origin of the waters, captured in the water collecting area of Čerlinka at the eastern edge of the Javoříčko – Mladeč karst.

The basic method of research was lengthwise measurement of temperature and conductivity. Although the method itself is easy to perform while not time-consuming, it gives precise localization of hidden springs. In Javoříčko – Mladeč karst, the method was supplemented with installation of piezometers to observe the direction of a flow between the watercourse and its banks. Also there was performed an analysis of older data on chemistry of the waters.

The result of lengthwise measurement of temperature and conductivity is the localization of several potential springs of karst origin in Albeřice valley and Dyleň karst. In spite of expectations, there were low water levels found in the region of Javoříčko_Mladeč karst, meaning that the watercourses were often dry or frozen. Chemical data analysis brings ambiguous conclusions, which are caused dominantly because of divergence of results based on analysis of chemical components versus results based on $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$.

Obsah

1. Úvod a cíl práce	9
2. Charakteristika studovaných oblastí.....	11
2.1 Lokalizace a klimatické a hydrologické charakteristiky.....	11
2.1.1 Údolí Albeřického potoka	11
2.1.2 Dyleňský kras.....	11
2.1.3 Javoříčsko – Mladečský kras.....	12
2.2 Geologie	12
2.2.1 Údolí Albeřického potoka	12
2.2.2 Dyleňský kras.....	13
2.2.3 Javoříčsko – Mladečský kras.....	13
2.3 Hydrogeologie.....	14
2.3.1 Údolí Albeřického potoka	14
2.3.2 Dyleňský kras.....	15
2.3.3 Javoříčsko – Mladečský kras.....	15
3. Přehled předchozích výzkumů	17
3.1 Údolí Albeřického potoka	17
3.2 Dyleňský kras	18
3.3 Javoříčsko – Mladečský kras.....	20
4. Metodika a provedené práce	24
4.1 Terénní práce	24
4.1.1 Termometrie	24
4.1.2 Piezometry	25
4.1.3 Odběr vzorků.....	25
4.2 Laboratorní práce.....	26
4.3 Zpracování dat chemismu	26
4.3.1 Hledání hypotetického zdroje	26
4.3.2 Pravděpodobné zdroje.....	28
4.3.3 Směšovací poměry na základě lineární optimalizace.....	28
5. Výsledky a diskuse.....	30
5.1 Podélné profilování teploty a konduktivity.....	30
5.1.1 Albeřický potok.....	30
5.1.2 Dyleňský kras.....	37
5.1.3 Javoříčsko - Mladečský kras.....	47
5.2 Piezometry.....	52
5.3 Chemické rozborý.....	52
5.4 Zpracování dat	53

5.4.1 Hypotetický zdroj.....	54
5.4.2 Pravděpodobné zdroje.....	56
5.4.2 Směšovací poměry na základě lineární optimalizace.....	59
7. Závěr.....	63
8. Literatura.....	64

SEZNAM OBRÁZKŮ V TEXTU

- Obr. 1.1: Schématické zakreslení studovaných oblastí na mapě České republiky*
- Obr. 3.1: Umístění Bischofova lomu a Albeřické jeskyně na severním konci Horních Albeřic*
- Obr.3.2: Přehled sledovaných pramenů v rámci stopovacích zkoušek Průchové (2006) a Marka (2015)*
- Obr. 3.3: Lokalizace JÚ Čerlinka a Řimických vyvěraček*
- Obr. 5.1: Průběh konduktivity a teploty na Albeřickém potoce, staničení 2000 – 3500 m (27.5.2017)*
- Obr. 5.2: Průběh konduktivity a teploty na Albeřickém potoce, staničení 800 – 2000 m (27. 5. 2017)*
- Obr. 5.3: Průběh konduktivity a teploty na Albeřickém potoce, staničení 2000 – 2950 m (6. 1. 2019)*
- Obr. 5.4.: Průběh konduktivity a teploty na Albeřickém potoce, staničení 800 – 2000 m (6. 1. 2019)*
- Obr 5.5: Výřez ze situační mapy potenciálních krasových přítoků na Albeřickém potoce*
- Obr. 5.6: Průběh konduktivity a teploty na Štibořském potoce*
- Obr. 5.7: Průběh konduktivity a teploty na Žandovském potoce*
- Obr. 5.8: Průběh konduktivity a teploty na Kosím potoce*
- Obr. 5.9: Průběh konduktivity a teploty na Lučním potoce*
- Obr. 5. 10: Průběh konduktivity a teploty na Zeleném potoce*
- Obr. 5. 11: Průběh konduktivity a teploty na potoce od Vysoké*
- Obr. 5.12: Průběh konduktivity a teploty na levé větvi potoka od Vysoké*
- Obr. 5.13: Vyznačení potenciálních krasových přítoků na výřezu z geologické mapy*
- Obr. 5.14: Průběh konduktivity a teploty na Čerlince, staničení 2400 – 3800 m*
- Obr. 5.15: Průběh konduktivity a teploty na Čerlince, staničení 0- 2400 m*
- Obr. 5.16: Průběh konduktivity a teploty na Benkovském potoce*
- Obr. 5.17: Rozsah termometrovaných toků, umístění piezometrů a místo odběru vzorku vody Mlýnského potoka*

SEZNAM TABULEK V TEXTU

- Tab. 2.1: Seznam dílčích povodí 4. řádu ve sledované části Javoříčko-Mladečského krasu*
- Tab. 3.1: Výběr z výsledků stopovacích zkoušek, provedených Panošem (1962)*
- Tab. 4.1: přehled analyzovaných komponent ze vzorků piezometrů a povrchových toků*
- Tab. 4.2: Vytvoření souhrnných intervalů*
- Tab. 5.1: Měření teploty, konduktivity a relativní výšky hladiny vody v piezometru vůči vodnímu toku*
- Tab. 5.2: Složky vstupující do výpočtu a vypočtené koncentrace pro hypotetický zdroj (HZ)*
- Tab. 5.3: Objekty, jejichž složky v intervalu hypotetického zdroje k ponorným tokům (vstup) a Řimickým vyvěračkám, Čerlince 2 a Čerlince 4 (výstup); převzato podle Kroupové (2007)*
- Tab. 5.3: Chemismus cílových objektů*
- Tab. 5.4: Chemismus teoretické směsi vzniklé směsí Řimických vyvěraček (Ř), vod kvartéru (Q) a Moravy (M) (poměry 99:1:1 a 99:1:20)*
- Tab. 5.5: Směšovací poměry při prvním podlimitním výskytu (HCO_3^-)*
- Tab. 5.6: Chemismus teoretické směsi vzniklé smíšením vod Řimických vyvěraček (R), vod kvartéru (Q) a vod řeky Moravy (M) (poměry 60:40:1 až 52:48:20)*
- Tab. 5.7: Směsi vzniklé lineární optimalizací. Ř – Řimické vyvěračky, QA –kvartér typu A, QB –kvartér typu B*
- Tab. 5.8: Směsi vzniklé lineární optimalizací. Ř – Řimické vyvěračky*

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Seznam dokumentačních bodů podélného profilování teploty a konduktivity v údolí Albeřického potoka***
- Příloha 2: Seznam dokumentačních bodů podélného profilování teploty a konduktivity v Dyleňském krasu***
- Příloha 3: Seznam dokumentačních bodů podélného profilování teploty a konduktivity v Javoříčsko - Mladečském krasu***
- Příloha 4: Chemismus objektů v Javoříčsko-Mladečském krasu***
- Příloha 5: Chemismus hypotetického zdroje dopočteného k ponorným tokům***
- Příloha 6: Topografická a geologická situace údolí Albeřického potoka***
- Příloha 7: Topografická a geologická situace Dyleňského krasu***
- Příloha 8: Topografická a geologická situace Javoříčsko-Mladečského krasu***
- Příloha 9: Fotodokumentace vybraných objektů***

PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěl poděkovat svému školiteli Jiřímu Bruthansovi za jeho inspirativní přístup (nejen) k problematice krasové hydrogeologie, stejně jako velice odborné a trpělivé vedení práce, pohotovou a konstruktivní zpětnou vazbu a občasné burcování k činnosti, bez něhož by se tato práce nikdy nedostala k obhajobě.

Za pomoc v terénu velmi děkuji Jaroslavu Řihoškovi a Martinovi Slavíkovi, kteří neváhali vyrazit do promrzlé krajiny a celý den neohroženě termometrovat.

Neocenitelným při zpracování dat mi byl Jindřich Cincibuch, jehož aplikace GeoHydro výrazně usnadnila a urychlila řešení některých otázek a problémů této diplomové práce.

Sepsání této práce by nebylo možné ani bez zázemí, které poskytuje Geologická knihovna na Albertově 6 a které vytváří její vždy milé a ochotné knihovnice.

Nakonec (ale rozhodně v neposlední řadě!) bych chtěl poděkovat své přítelkyni Lucii Klečkové, která po celou dobu představovala ohromnou (nejen) morální podporu po celou dobu vytváření této práce a díky níž byla v jisté míře tato práce dokončena a odevzdána.

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

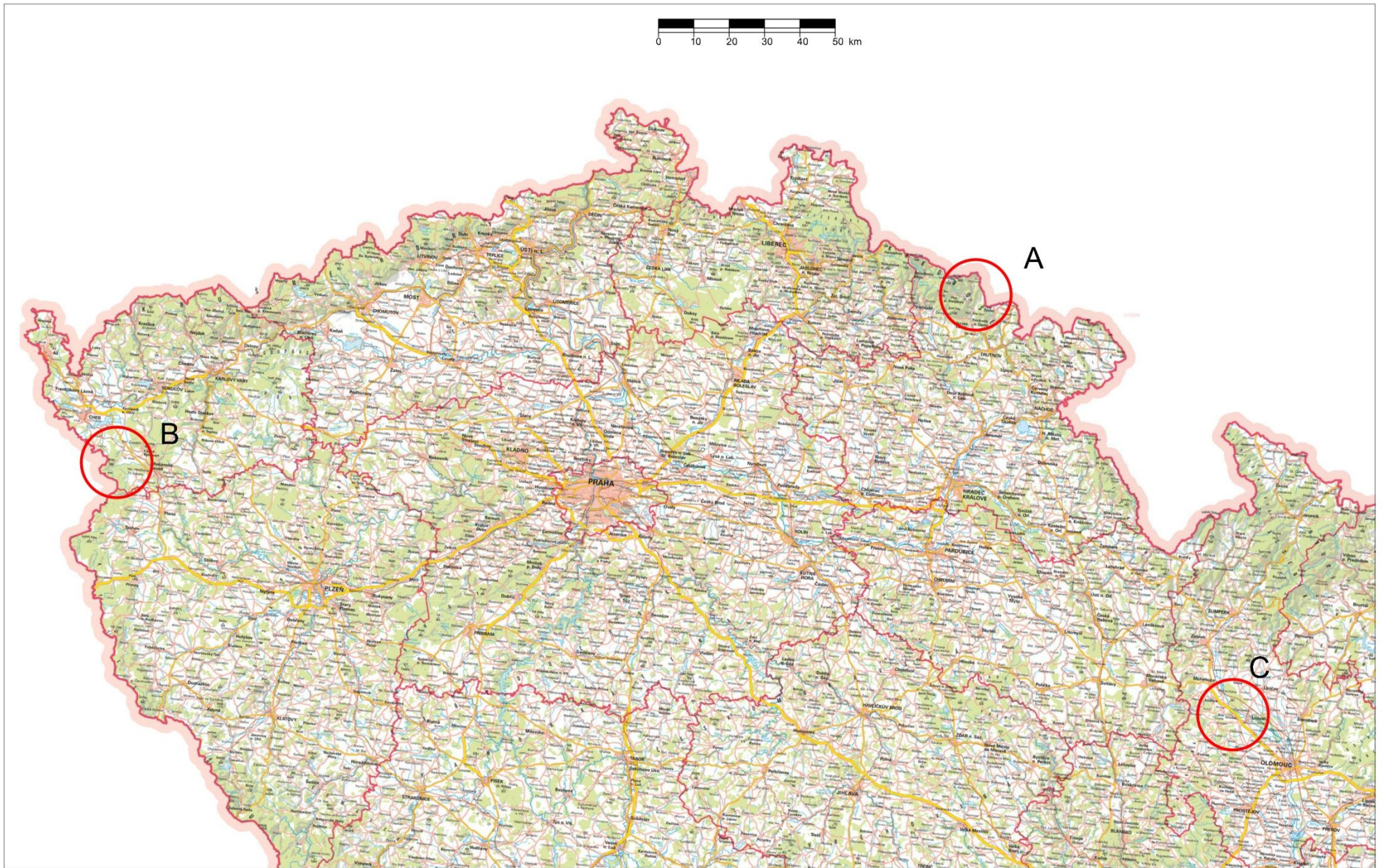
Krasová území jsou obecně velmi heterogenní a komplikovaná prostředí. Převládá zde puklinovo-krasová propustnost: zatímco neporušené karbonátové horniny mají nízkou primární porozitu a jsou tedy pro vodu málo propustné, je většina proudění soustředěna do krasových kanálů, které však zaujímají minimální objem prostředí. Vývoj těchto kanálů není přitom striktně vázán na regionálně-strukturní prvky (zlomy) a ani litologie (jmenovitě obsah CaCO_3) nemusí být klíčová pro hydraulické vlastnosti prostředí (Ford a Williams 2007).

Možnosti průzkumu proudění v takto složitém prostředí jsou proto omezené; údaje z vrtů vzhledem k heterogenitě krasu poskytují omezenou vypovídací hodnotu, použití geofyziky je limitováno nedostatečnou rozlišovací schopností dostupných metod (Field 2002).

Vedle stopovacích zkoušek lze v krasu získat cenné poznatky sledováním pramenů. Další efektivní a přitom finančně i časově (zejména oproti stopovacím zkouškám) nenáročnou metodou je podélné profilování teploty a konduktivity. Tato metoda umožňuje lokalizovat skryté přítoky podzemní vody do povrchových toků a pomocí měření průtoků pak určit velikost přítoků.

Tato práce se zaměřuje na aktuální hydrogeologické otázky ve třech různých krasových územích České republiky, kterými jsou údolí Albeřického potoka v Krkonoších, Dyleňský kras v Českém lese a Javoříčko-Mladečský kras na Olomoucku. Ačkoliv se realie jednotlivých oblastí vzájemně liší, motivace průzkumu, spočívající v objasnění složitého krasového proudění, tvoří jednotný úkol. Podélné profilování teploty a konduktivity poskytuje univerzální prostředek, který umožňuje tento úkol řešit bez ohledu na rozdíly jednotlivých prostředí.

Cílem práce je upřesnění hydrogeologické charakteristiky jednotlivých území, a to prostřednictvím lokalizace pramenů na vybraných úsecích povrchových vodních toků, kde byl výskyt těchto pramenů předpokládán. Zároveň s tím bylo dílčím cílem i zpřesnění původu vod v jímacím území (dále JÚ) Čerlinka, které leží na hranici Javoříčko-Mladečského krasu a je nejvýznamnějším vodním zdrojem krasového původu v České republice.



Obr. 1.1: Schématické zakreslení studovaných oblastí na mapě České republiky v měřítku 1:1 500 000
A - Údolí Alberčického potoka, B - Dyleňský kras, C - Javoříčko - Mladečský kras

2. CHARAKTERISTIKA STUDOVANÝCH OBLASTÍ

2.1 Lokalizace a klimatické a hydrologické charakteristiky

2.1.1 ÚDOLÍ ALBEŘICKÉHO POTOKA

Údolí Albeřického potoka leží na území obce Horní Maršov (části Horní a Dolní Albeřice), okres Trutnov, Královehradecký kraj, a je součástí Krkonošského národního parku.

Údolí se nachází v severním výběžku geomorfologického celku Rýchory, mezi státní hranicí s Polskem a geomorfologickým celkem Růžovská rozsocha, na východním okraji Krkonoš (ČZÚK 2019). Nadmořská výška zkoumaného území je v rozsahu 789 m n. m. (nad severním okrajem Bischofova lomu v Horních Albeřicích) až 621 m n. m. (soutok Albeřického a Lysičenského potoka).

Dle Quitta (1971) se zkoumaná oblast nachází v chladném klimatickém regionu (klasifikován jako CH4), s počtem 0-20 letních dní (s teplotou 25°C a vyšší) a 60-70 ledovými (tj. s teplotou, která nevystoupí nad 0°C) dní ročně. Dle dlouhodobých měření mezi léty 1981-2010 je průměrná roční teplota ve zkoumaném území 6-7 °C a průměrné srážky dosahují 1000-1200 mm (ČHMÚ, 2019).

Území náleží k povodí Albeřického potoka (hydrologické pořadí 1-01-02-0110-0-00) s evidovanou délkou 3 km a povodím velikosti 7,5 km², odvodňované do povodí Labe (Labe po Orlici, 1-01) (HEIS VÚV, 2019).

2.1.2 DYLEŇSKÝ KRAS

Dyleňský kras leží v málo obydlené oblasti jižně až západně od obce Stará Voda - části Vysoká, Mariánské Lázně, okres Cheb, Karlovarský kraj. Zkoumané území zahrnovalo údolí Kosího potoka a jeho přítoků v katastru obce Stará Voda a údolí Štibořského potoka a jeho přítoků po soutok se Žandovským potokem (včetně), v katastru obce Dolní Žandov.

Geomorfologicky se jedná o celek Dyleňské hornatiny; topografický rozsah zkoumaného území odpovídá 700 m n. m. u pramenné oblasti Kosího potoka až 609 m. n. m. pod soutokem Kosího potoka bezejmenného levostranného přítoku od osady Vysoká (ČÚZK, 2019).

Klima oblasti je kategorizováno jako MT3 – mírně teplá oblast (Quitt 1971), s počtem letních dní od 20 do 40 ročně, zatímco počet ledových dní kolísá mezi 40 až 50 ročně. Průměrná roční teplota dosahuje 6-7 °C, průměrný úhrn srážek se pohybuje mezi 800 a 1000 mm (dlouhodobé průměry 1981-2010), (ČHMÚ, 2019).

Hydrologicky leží území na rozvodnici povodí druhého řádu; severní část, zahrnující Štibořský a Žandovský potok spadá do povodí Štibořského potoka (hydrogeologické pořadí 1-13-01-0700-0-00), odvodňovaného do celku povodí Ohře a Labe od Ohře po Bílinu, zatímco Kosí potok s veškerými přítoky náleží povodí Kosího potoka (hydrogeologické pořadí 1-10-01-0530-0-00), spadajícího do povodí Úslavy a Berounky po Úslavu (HEIS VÚV, 2019).

2.1.3 JAVOŘÍČSKO – MLADEČSKÝ KRAS

Území Mladečského krasu se rozprostírá mezi Konicí a Litovlí v Olomouckém a Prostějovském okrese. Hlavní oblast, jíž je v této práci věnována pozornost, leží na jeho východním okraji

v okolí obce Mladeč, okres Olomouc, a lze jí vymezit linií mezi obcemi Řimice – Mladeč – Tři Dvory u Červenky – Děřichov – Benkov; v dílčích kapitolách byla zpracována data i z objektů v širším okolí severně (Lukavice) a západně (Javoříčko) od Mladče.

Geomorfologicky oblast zasahuje do celků Hornomoravského úvalu (části Středomoravské nivy a Červenské roviny), Zábřežské vrchoviny (jejího východního okraje – Ludmírovské vrchoviny) a do jižní části Mohelnické brázdy. Topograficky leží jednotlivé objekty ve výškách od 365 m n. m. (soutok Špraňka a Javoříčky) do 227 m n. m. (soutok Třetí vody a Benkovského potoka), (ČÚZK 2019).

Podle klasifikace Quitta (1971) odpovídá klima v regionu kategorii T2 – jedná se o teplou oblast, s počtem 50-60 letních a 30 – 40 ledových dnů v roce. Průměrná teplota a srážky se pohybují mezi 8-9 °C a 550 – 700 mm ročně (ČHMÚ, 2019).

Hydrologicky se jedná o komplikovanou oblast, rozdělenou na velké množství povodí 4. řádu. Terénní měření probíhala v následujících povodích (HEIS VÚV, 2019), tab. 2.1:

Tab. 2.1: Seznam dílčích povodí 4. řádu ve sledované části Javoříčko-Mladečského krasu

Název povodí	Hydrogeologické pořadí
Benkovský potok	4-10-03-0160-0-00
	4-10-03-0181-0-00
Třídvorka	4-10-03-0060-0-00
Morava	4-10-03-0052-0-00
Mlýnský potok	4-10-03-0100-0-00
	4-10-03-0080-0-00

2.2 Geologie

2.2.1 ÚDOLÍ ALBEŘICKÉHO POTOKA

Údolí Albeřického potoka leží v regionálně-geologickém celku lugikum v regionu krkonošsko-jizerského krystalinika. Údolí je vyvinuto především v chlorit-muskovitických albitických svorech, v nichž se vyskytují pruhy až čočky dalších hornin, protažených v severojižním směru. Tyto pruhy jsou tvořeny chlorit-muskovit-albitickými kvarcitickými svory, grafit-sericitickými fylity, porfyroidy, čočkami zelených břidlic a krystalických vápenců (až krystalických dolomitických vápenců); stratigraficky jsou všechny popsány horniny řazeny k devonu (Česká geologická služba, 2019a). Jiné zdroje však uvádí různé stáří karbonátových těles, sahající až do spodního kambria viz dále). Samotná Albeřická jeskyně je vyvinuta v jedné z nejsevernějších (v rámci údolí Albeřického potoka) čoček krystalických (dolomitických) vápenců.

Na stáří a vývoj karbonátových těles není nazíráno jednotně. Zatímco Chaloupský (1989) je řadí na bázi nejsvrchnějšího členu ponikelské skupiny a přisuzuje jim svrchnoordovické až silurské stáří, Hladil (1998) na základě výskytu oolitických dolomitů a fosilií receptaculida předpokládá střednodevonské až svrchnodevonské stáří. Chlupáč (2002) upozorňuje, že se může jednat o fosilii spodnokambrického archeocyata. V pozdějším článku Hladil et al. (2003) rozděluje protolity krystalických vápenců do dvou skupin. První skupinou jsou kambrické vápence popisované u Dolních Albeřic a datované na základě nálezů archeocyata *Erismacoscinus*

a trilobitů *Bonnia* a *Kingaspis*. Druhou skupinou jsou dolomity náležící svrchnímu siluru až spodnímu devonu, v jejichž podloží se byly autory popsány graptolitické břidlice stupně wenlock až ludlow. Obdobnou geologickou situaci u Poniklé popisuje i Chlupáč (2002). Krystalické vápence uvádí jako nadloží grafitických fylitů, jejichž protolitem byly silurské graptolitické břidlice.

Celé území bylo později metamorfováno a reorganizováno do příkrovového celku (Kodym a Svoboda, 1948). Na rozdíl od starší literatury je však vznik příkrovové stavby přisuzován nikoli kaledonskému, jak předpokládali Kodym a Svoboda, ale variskému vrásnění (souhrnně Chlupáč 2002).

2.2.2 DYLEŇSKÝ KRAS

Dyleňský kras leží v západní části českého masivu na rozhraní mezi regionálně-geologickými jednotkami saxothuringika (chebsko-dyleňské krystalinikum) a moldanubika (jednotvárná jednotka), které jsou od sebe odděleny pokračováním hlubinného litoměřického zlomu (Mísař et al., 1983). Část termometrovaných toků (Štibořský a Žandovský potok) protékají v dvojslídých svorech saxothuringika, zatímco Kosí potok a jeho přítoky, na nichž byla provedena dominantní část měření v rámci této lokality, leží v biotitických až sillimanit-biotitických pararulách, náležících moldanubiku; v těchto horninách jsou vyvinuty i erlány a krystalické vápence, které spolu tvoří pruh protažený jihozápadně – severovýchodním směrem v délce 1,75 km a protínající Luční a Zelený potok.

Ačkoliv Cháb (2008) uvádí, že v jednotvárné jednotce jsou četné výskyty mramoru (často dolomitického), jeho výskyt v lokalitě Českého lesa je podle Mísaře et al. (1983) ojedinělý. Podobně vzácné jsou i zmínky o těchto útvarech v literatuře; Bouše (2001) uvádí, že čočky mramoru vytváří několik paralelních řad o mocnosti do 50 m, neuvádí však zdroj této informace. Fiala a Vejnar (in Vrána-Štědrá, 1997) dělí chebsko-dyleňské krystalinikum na 6 litologicky odlišných „sekvencí“; zkoumanou oblast lze přiřadit k sekvenci č. 4, ležící na rozhraní saxothuringika a moldanubika, charakteristickou pestrou geologií s čočkovitými vložkami mramorů, vápenatých silikátů, kvarcitů a metabazitů. Předpokládají paleozoické stáří tohoto celku, s dominantní metamorfózou na rozhraní tournai-visé.

Další zdroje se omezují na obecnější popis větších celků regionálního významu (např. Mísař et al. 1983, Chlupáč 2002, Cháb 2008). Regionálně-geologická problematikou se hlouběji nezabývají ani starší práce věnované Dyleňskému krasu.

2.2.3 JAVOŘÍČSKO – MLADEČSKÝ KRAS

Javoříčko-mladečský kras leží na východním okraji Českého masivu. Je vázán především na devonské karbonáty drahanské vrchoviny, vystupujících mezi kulmskými sedimenty v pásmu konicko-mladečského devonu (Chlupáč a Svoboda 1963). Jádrem zkoumané oblasti jsou vápencový vrch Třesín, údolí Moravy tvořené fluvialními sedimenty, které překrývají starší neogénní uloženiny a paleozoické horniny, a horniny moravskoslezského paleozoika východně od Moravy, kryté pliocénními písky a pleistocénními sprašemi (Česká geologická služba, 2019b).

V podloží konicko-mladečského devonu leží proterozoické kladecké fylity, náležící patrně k celku brunovistulika (Chlupáč a Štorch, 1992). Na fylitech jsou uložena bazální klastika spodního devonu, dále spodnodevonské stínavské vrstvy a chabičovské vrstvy charakteru

jílových a vápnatých břidlic z přelomu spodního a středního devonu. Vyšším spodním devon je rovněž datován počátek převážně bazického vulkanismu, který trval do spodního karbonu. Celý sled sedimentů a vulkanitů dosahuje mocnosti kolem 400 m (Chlupáč a Svoboda 1963).

Dále sedimentace pokračovala sledem devonu ve vývoji Moravského krasu; na lažánecké a macošské souvrství nasedají vápence vilémovské, které jsou nejvýznamnější karbonátovou jednotkou. Jejich mocnost může dosahovat až několika set metrů (Dvořák 1965), zatímco obsah CaCO_3 přesahuje 90% (Michna 1989). V okolí JÚ Čerlinka vápence vystupují na povrch nejbližší na vrchu Třesíně, kde tvoří masivní až hrubě lavicovité výskyty (Starobová 1979). Pokračování těchto vápenců bylo zastíženo vrty v nivě Moravy, někdy velmi mělce pod povrchem (např. vrt HV1001A zastíhl vápence v hloubce 4 m pod terénem) (Starobová 1978; Starobová 1981).

Kulmské horniny v nadloží vápenců jsou tvořeny sledem klastických sedimentů protivanovského (mocnost až 2500 m) a myslejovického (mocnost až 3000 m) souvrství (Mísař et al., 1983).

Během variské orogeneze bylo území tektonicky porušeno; nadložní kulmské břidlice se místy (severně od vojtěchovské poruchy) zavrásnily do vápenců vývoje Moravského krasu, které dosáhly úklonů až $70 - 80^\circ$ a mohou být zaklesnuty do hloubky stovek metrů pod povrch (Starobová 1978, 1979).

Na území JÚ Čerlinka jsou paleozoické horniny kryty vrstvou mladších, platformních sedimentů. Jedná se především o neogénní (pliocénní) písčité jíly, slídnaté písky a křemenné štěrky. Ty mohou dosahovat v širším okolí JÚ Čerlinka mocnosti až 50 m a tvořit izolátor mezi podložními vápenci a nadložními kvarténními štěrkopísky, které tvoří průměrně 9 m mocnou vrstvu a jsou kryty 1 až 4 m mocnou vrstvou povodňových hlín. Právě v prostoru JÚ Čerlinka je mocnost nadložního izolátoru snížena a vápence jsou v přímém kontaktu s kvarténními štěrky.

2.3 Hydrogeologie

2.3.1 ÚDOLÍ ALBEŘICKÉHO POTOKA

Území s bohatým srážkovým úhrnem 1000-1200 mm ročně (ČHMÚ, 2019) se vyznačuje vysokým základním odtokem 7-10 l/s/km². Horniny v oblasti spadají do IV. (na 10-30% území do III.) třídy transmisivity, tj. 1-10 m²/den, respektive 10-100 m²/den, při střední variabilitě (c), odpovídající dosti heterogennímu prostředí. Oproti tomu karbonátová tělesa jsou řazena do II. – IV. třídy transmisivity (tj. 1 – 1000 m²/den) a variabilita zde není uváděna. Protože jde o puklinově-krasové prostředí, lze očekávat extrémní heterogenitu v rámci mnoha řádů. Krásný (2012) uvádí jako příklad vrty v krystalických vápencích v Dolních a Horních Lysečinách, kde dva z vrtů dosahovaly vydatnosti 7,0 a 3,7 l/s, zatímco sousední vrty byly téměř bez vody.

Klíčovou otázkou v oblasti je odvodnění Albeřické jeskyně, jejíž nejhlubší partie dosahují přibližně do úrovně 733 m n. m. (Tásler 2015). Odvodnění bylo dříve realizováno patrně Albeřickým potokem, kterému je přisuzována hlavní role i při vzniku Albeřické jeskyně (Hýsek a Řehák 1971). Současný stav je předmětem výzkumů. Tásler (2015) popisuje ponory na Albeřickém potoce v délce asi 80 m v místě, kde v těsné blízkosti Albeřické jeskyně protíná potok karbonátový pruh, ve výšce přibližně 770 m n. m. Odvodnění těchto těles však není známo; ve stejném článku Tásler předpokládá podzemní bifurkaci a odvodnění jedné části karbonátů jižním směrem po spádu údolí, druhé části pak severním směrem do Polska.

2.3.2 DYLEŇSKÝ KRAS

Horniny Dyleňského krasu vykazují základní odtok 3-5 l/s/km² a jsou řazeny do III. až IV. třídy transmisivity, tj. $T = 1-100 \text{ m}^2/\text{den}$ a třídy variability (c) – značně heterogenní prostředí (Krásný et al. 2012). Karbonátové horniny přitom nejsou uváděny zvlášť, patrně pro nevelký plošný rozsah, a proto zanedbatelný regionální význam.

Z hydrogeologického hlediska má pro tuto práci největší význam karbonátový pruh, ležící na jihovýchodním úbočí hory Dyleň. V místě křížení tohoto pruhu se Zeleným potokem leží krasový ponor Kmotrovo propadání (682 m n. m.; Bouše 2001), pod nímž leží řada pramenů (Průchová 2006); hledání souvislosti těchto pramenů s místa jeho drenáže bylo předmětem četných stopovacích zkoušek (Bouše 2001, Průchová 2006, Bartoš 2015, Marek et al. in Bartoš 2015), zatím neúspěšných. Další hydrogeologicky aktivní objekty zatím nebyly v oblasti popsány.

2.3.3 JAVOŘIČSKO – MLADEČSKÝ KRAS

Horniny Javoříčko-Mladečského krasu mají ze všech území, popsaných v této práci, nejnižší základní odtok (2-3 l/s/km²) a nejvyšší transmisivitu – $T = 100-1000 \text{ m}^2/\text{den}$, což odpovídá II. třídě transmisivity, na 10-30 % je transmisivita rovna III. třídě, tj. $10-100 \text{ m}^2/\text{den}$. Prostřední je značně heterogenní – třída variability (d). Karbonátové celky dosahují velmi širokého rozpětí transmisivity ve třídách I. – IV, což odpovídá 1 až $>1000 \text{ m}^2/\text{den}$ (Krásný et al., 2012); transmisivita vypočtená z vrtů v karbonátech sahá přes $5000 \text{ m}^2/\text{den}$ (Michna 1989), zatímco transmisivita kulmských hornin je výrazně nižší; Bruthans (2006) uvádí hodnoty transmisivity 0,86 – $6,9 \text{ m}^2/\text{den}$.

V oblasti se vyskytuje celá řada hydrogeologicky významných objektů. Zde je jejich krátký přehled:

Vrty v jímacím území Čerlinka zahrnují jímací objekty HV 1005 neboli Čerlinka 2 a HV1003 neboli Čerlinku 4, vyhloubené v rámci podrobného geologického průzkumu k vybudování definitivních jímacích studní v jímacím území Čerlinka (tehdy JÚ u Litovle) v roce 1980 (Starobová 1981). Vrt Čerlinka 2 (HV1005) byl vyhlouben do 138 m pod terénem; vápence byly zastíženy od hloubky 19 m. Vydatnost vrtu byla stanovena na 20,0 l/s, specifická vydatnost 7,5 l/s/m.

Vrt Čerlinka 4 (HV1003) o hloubce 152 m zastihl vápence od 13,7 m pod terénem. Vydatnost vrtu byla stanovena na 21,27 l/s (jedná se o vrt s největší vydatností v JÚ Čerlinka), specifická vydatnost dosahuje až 40 l/s/m.

Oba vrty leží na významné přítokové cestě; po svém zhotovení na počátku 80. let a poté po poklesu čerpání na konce let devadesátých oba vrty vykazovaly přetoky.

Řimické vyvěračky jsou skupina pramenů pod vrchem Třesín při kraji nivy Moravy. Z původně šesti pramenů popsaných Starobovou (1978) lokalizoval později Bruthans (2006) čtyři z nich (zbylé se již nepodařilo najít). Do hlavního a vedlejšího pramene Řimických vyvěraček pronikly při stopovací zkoušce ponorné vody Rachavy a Javoříčky (Panoš 1962); zároveň pramen č. 23 reagoval na čerpání v JÚ Čerlinka úplnou ztrátou přetoku. Prameny jsou tak zřejmě propojeny jak s toky v infiltrační oblasti, tak s vývěry v oblasti drenážní.

V západní (infiltrační) zóně se vyskytuje řada ponorných toků. Patří mezi ně především Rachava, jejíž vody označené fluoresceinem se objevily ve vývěru Řimických vyvěraček

a v jezírkách Mladečských jeskyní, a toků Javoříčky a Špraňku, jejichž vody se objevily v Zázračné studánce v JÚ Čerlinka (Panoš 1962). Mezi další ponorné toky v oblasti patří kromě uvedených toků i bezejmenný tok pod Kovářovem, bezejmenný tok u Ponikve a bezejmenný tok z Březiny (Starobová 1978).

Kvartérní kolektor je v oblasti uvažován jako zdroj indukovaných zásob již Starobovou (1978). Pro účely této práce je reprezentován šesti vrty, rozdělenými Kroupovou (2007) na základě podobného chemismu a původu podzemní vody do dvou skupin. První skupinou je kvartér typu A, neboli kvartér Mohelnické brázdy, reprezentovaný vrty VB9512, VB9513 a VB9514, které jsou otevřené v úseku 34 až 108 m pod terénem a umístěnými západně od obce Lukavice.

Druhou skupinou vrtů je kvartér typ B, neboli kvartér Hornomoravského úvalu a Mohelnické brázdy. Vrty jsou umístěny následujícím způsobem: vrt VB031 leží u obce Moravičany, mezi železniční tratí a tokem Moravy; vrt VB044 leží na severovýchodním okraji obce Střelice u Benkovského potoka; vrt VB049 leží na jihovýchodním okraji obce Litovel. Vrty se vyznačují mělkým otevřeným úsekem v rozsahu 5-17 m pod terénem.

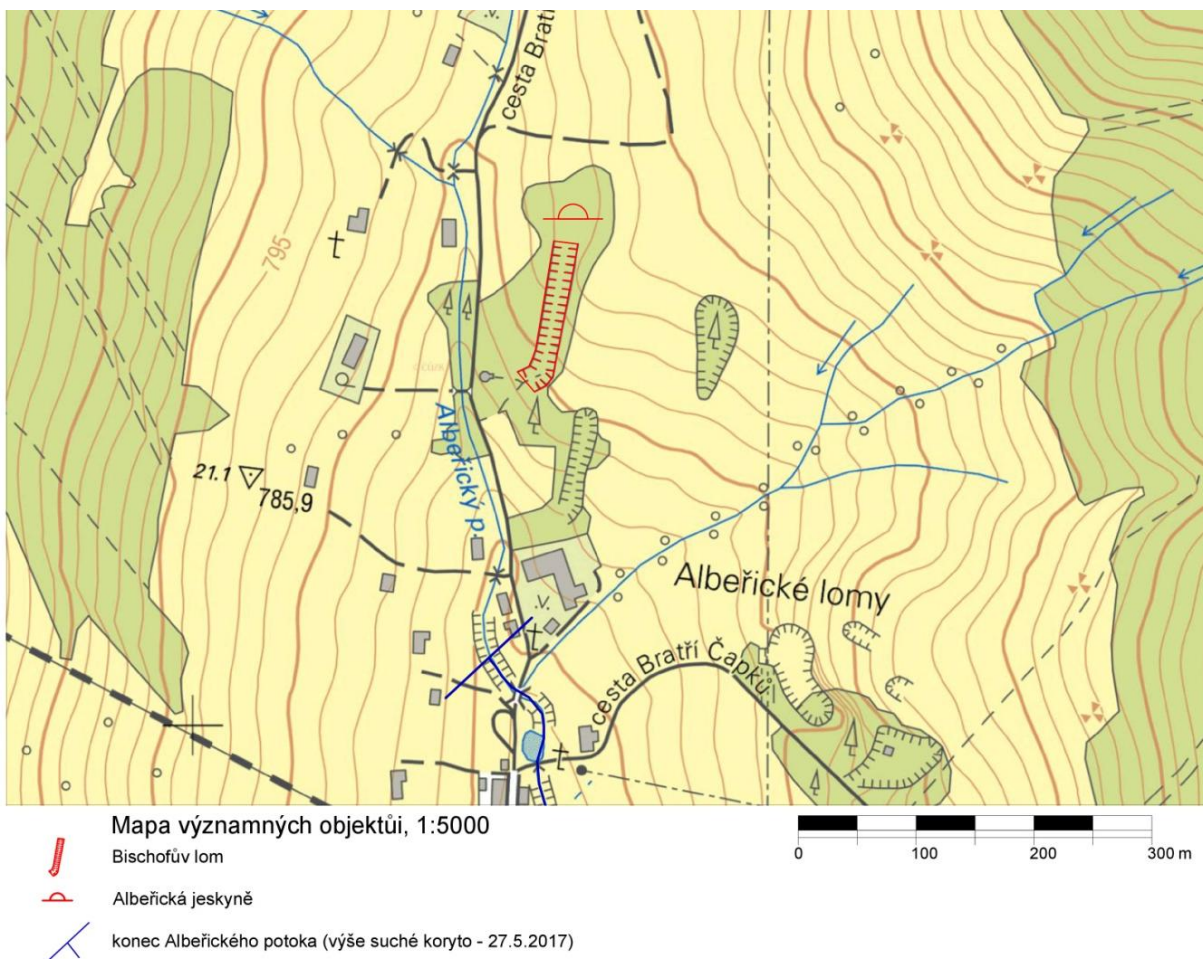
Mezi ostatní hydrologicky a hydrogeologicky (potenciálně) významné objekty patří povrchové toky a vývěry, na nichž byly v rámci projektu Rebilance zásob podzemních vod odebrány vzorky na chemickou analýzu a stanovení izotopových hodnot $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$. Patří mezi ně řeky Morava a Oskava, potoky Cholinka, Mírovka, Špraněk a Šumice a vývěry Hvozd, Andělíčka a Nad Průchodnicemi.

3. PŘEHLED PŘEDCHOZÍCH VÝZKUMŮ

3.1 ÚDOLÍ ALBEŘICKÉHO POTOKA

Ačkoli první zmínka o Albeřické jeskyni pochází již z roku 1887, systematický výzkum na této lokalitě začal až v roce 1966 (Řehák, Hýsek 1973). Podrobněji byla jeskyně představena Hýskem a Řehákem (1971). Ve svém článku lokalizovali jeskyni do 30 m mocné čočky vápenců konkordantně uložené v okolních chloriticko-sericitických fylitech. Výškově jeskyni popisují v rozpětí 10-15 m nad hladinou potoka (zřejmě se jedná o chybu – jeskyně leží pod úrovní potoka), který ji měl vyhloubit v mladším pleistocénu až holocénu. Popis hydrologického režimu v článku chybí, nicméně je zde zmíněn počátek měření úrovně hladiny v jeskyni. Místo řezu pro srovnání hloubky vůči potoku ani absolutní výška v metrech n. m. není udávána.

Pozdější článek Řeháka a Hýska (1973) zčásti rekapituluje informace z článku předchozího, a přidává některé nové poznatky, například informaci o existenci paleovývěru 150 m od jižního okraje lomu, respektive 250 m od vchodu do jeskyně; bohužel nepřináší podrobnější údaje o povaze, vzhledu, současném stavu ani funkci paleovývěru a neuvádí ani jeho přesnou lokalizaci. Dále článek aktualizuje údaje o výškovém rozsahu jeskynních prostor (4-25 m pod úrovní Albeřického potoka, opět bez udání linie řezu a absolutních výšek v m n. m.) a hladině vody na dně jeskyně (15-25 m pod úrovní Albeřického potoka). Z měření tvrdosti vody a pH autoři usoudili, že jeskyně je dotována především povrchovými vodami ze západní části hraničního svahu a že proudění podzemní vody v jeskyni je orientováno ze severu na jih.



Obr. 3.1: Umístění Bischofova lomu a Albeřické jeskyně na severním konci Horních Albeřic

Poprvé se otázkou hydrologického režimu v jeskyni zabývá Tásler (2015). Kromě údajů o prozatím maximální a minimální výšce hladiny v jeskyni (12, respektive 21 m pod hladinou potoka, tedy okolo 758, respektive 749 m n. m.) a předpokladu, že jeskyně může být odvodňována do Polska (který však nebyl detailněji diskutován) nepřináší k danému tématu více podrobností. Naopak, poukazuje na to, že hydrologie a hydrogeologie Albeřické jeskyně zatím vůbec nebyla řešena a předesílá, že jeho článek by měl být úvodem do dané problematiky.

Poslední zmínku o Albeřické jeskyni najdeme v článku Táslera (2017), kde je popsána situace otevření tzv. Opileckého dómu 16. 2. 2017, tj. 17 m dlouhé prostory s krápníkovou výzdobou, která je běžně zaplavená (naposledy měly být tyto prostory přístupné při nízkém stavu vody 21. 11. 1972). Výška hladiny vzhledem k úrovni Albeřického potoka v tomto článku však není uvedena.

Výběr dosud publikovaných prací ukazuje, že otázka odvodnění Albeřické jeskyně zatím nebyla téměř vůbec řešena. Kromě zmiňovaného paleovývěru (jehož poloha ani další popisné informace nebyly blíže specifikovány) nebyl doposud v literatuře uveden žádný pramen, uvažovaný jako drenáž Albeřické jeskyně. Kromě nesystematického zaznamenávání změn výšky hladiny v jeskyni a měření tvrdosti vody a pH nebylo publikován žádný pokus o určení odtoku z jeskyně nebo její průtočnosti.

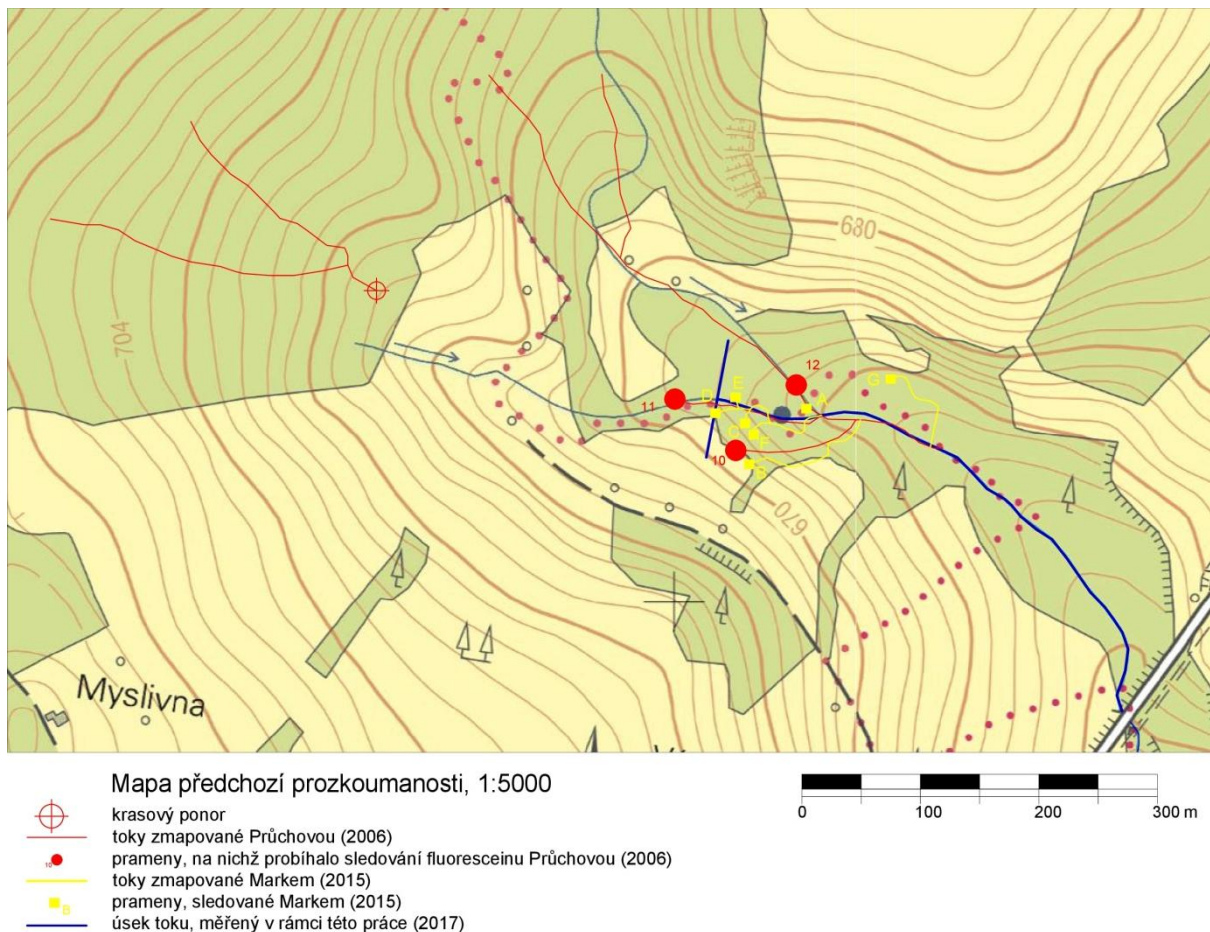
Z hlediska hydrogeologie i morfologie připadá v úvahu odvodnění jeskyně do Albeřického potoka nebo jeho levostranných přítoků. Pro ověření tohoto předpokladu bylo rozhodnuto provést termometrii Albeřického potoka od pramene po jeho soutok se Suchým potokem. Ten mimo jiné odvodňuje povrchový vápencový lom, ležící minimálně o 34 m níže, než je dno Albeřické jeskyně představující proto drenážní bázi pro případné proudění hypotetickým karbonátovým pruhem. Výsledky tohoto měření pak mohou posloužit jako podklad pro výběr sledovaných objektů pro plánovanou čerpací zkoušku, případně pro budoucí stopovací zkoušky.

3.2 DYLEŇSKÝ KRAS

Dyleňský kras byl, patrně pro svoji odlehlost a do roku 1989 (jako součást pohraničního pásma) i nepřístupnost, oblastí do nedávné doby zcela neprobádanou. První zmínku o ponoru v oblasti Dyleň podal Bouše (2001), v níž krátce uvedl oblast a popsal drobné prolongační práce na ponoru. První obsáhlejší souhrnnou práci, popisující oblast Dyleňského krasu, byla bakalářská práce Průchové (2006). V ní se kromě fyzicko-geografické charakteristiky území a souhrnu krasových jevů rovněž zabývá i krasovým prouděním vod, mizících v krasovém ponoru známém jako Kmotrovo propadání. Metodou použitou pro detekci případného vývěru byla stopovací zkouška za použití 0,75 g fluoresceinu. Pro zachycení stopovací látky byly použity lapače fluoresceinu, které jsou v práci Průchové (2006) popsány jako kovové trubičky o průměru 2 cm a délce 5 cm, naplněné aktivním uhlím. Prokázání fluoresceinu mělo být provedeno promytí aktivního uhlí z lapačů roztokem K_2SO_4 a HCl a vymyté látky zachyceny filtračním papírem.

Lapače byly kontrolovány ihned po injektáži, poté v průběhu 5 hodin a další den v průběhu 7 hodin (přesné časy – intervaly nebyly popsány). Následně byly lapače ponechány na svých místech a vyzvednuty po sedmi týdnech.

Během stopovací zkoušky byly sledovány 3 objekty v blízkosti ponoru (ve vzdálenosti do 300m). Jejich přesné umístění bylo převzato dle situačního nákresu Průchové (souřadnice v textu práce byly uvedeny chybně)(Obr. 3.2).



Obr.3.2: Přehled sledovaných pramenů v rámci stopovacích zkoušek Průchové (2006) a Marka (2015)

Takto provedená stopovací zkouška dopadla neprůkazně. To může být způsobeno buď nevhodně navrženou zkouškou (nedostatečné množství fluoresceinu, nevhodná konstrukce lapačů, nedostatečná citlivost analýzy zachycených látek v lapači, nevhodný časový interval sledování lapačů) nebo odvodněním ponoru mimo sledované objekty.

Pokus o nalezení vývěru Kmotrova propadání byl opakován Markem (Bartoš, 2015). Dne 8. 5. 2010 vpravil do ponoru 100 g fluoresceinu; poté byla sledována místa potenciálních vývěrů (v textu nespecifikovány) po dobu 4,5 hodin (nebylo uvedeno, zda pouze vizuálně, nebo zda byly použity i technické prostředky). Po 3,5 hodinách byl vizuálně zkontrolován Luční potok (nejbližší západní levostranný přítok Kosího potoka). Fluorescein nebyl zaznamenán na žádném ze sledovaných objektů.

Zatím nejnovější pokus prokázat souvislost ponoru s níže položenými prameny popisuje Marek (Marek et al. in Bartoš 2015)(Obr. 3.2). Článek dokumentuje tři stopovací zkoušky, využívající oproti minulým pokusům jako stopovací látku kuchyňskou sůl (NaCl); množství sledovaných objektů bylo zvýšeno na 7, všechny se ale nacházely v povodí Zeleného potoka, do několika set metrů od ponoru. Zkoušky proběhly ve dnech 8. -13. 5. 2012 s použitím 6 kg soli a průběžným odběrem vzorků na chemickou analýzu obsahu chloridů a konduktometrii, 6. 8. 2013 s 12 kg soli a krátkodobým měřením konduktivity (pouze prvních 5 hodin po injektáži) a 6. 8. 2013. Na základě předběžných výsledků z 1. a 2. zkoušky byly vybrány 2 nejperspektivnější prameny, které byly sledovány po dobu 5 hodin 40 minut po injektáži 40 kg soli do ponoru. Závěrem se článek zabývá dodatečným (leden 2014) chemickým rozbohem vzorků, odebraných během první ze série stopovacích zkoušek v květnu 2012. Přes všechny provedené zkoušky a chemické analýzy však otázka lokalizace vývěru vod z Kmotrova propadání zůstává nezodpovězena.

Vzhledem k výsledkům všech předchozích průzkumů bylo rozhodnuto provést termometrický a konduktometrický průzkum širšího okolí ponoru (potoky Kosí, Luční, Žandovský, Štibořský a jejich přítoky) a pokusit se lokalizovat další potenciální a dosud neuvažovaná místa drenáže ponorných vod. Ty by pak bylo možné zahrnout mezi sledované objekty při některé z budoucích stopovacích zkoušek.

3.3 JAVOŘÍČSKO – MLADEČSKÝ KRAS

Klíčovou roli pro dokumentaci krasového proudění v oblasti Javoříčko-Mladečského krasu měla práce Panoše (1962). Na základě dvou stopovacích zkoušek prokázal spojitost ponorných toků s četnými vývěry v oblasti (stopovač se objevil v celkem devíti objektech při zkoušce s 6 kg fluoresceinu), mimo jiné i s Řimickými vyvěračkami a vrty v JÚ Čerlinka (Tab. 3.1).

Tab. 3.1: Výběr z výsledků stopovacích zkoušek provedených Panošem (1962)


Literární zdroj	Injektáž stopovače	Objekt objevení	Čas objevení [hodiny po injektáži]	Vzdálenost [km]	Max. rychlost proudění [km/den]	Nadmořská výška vývěru [m n.m.]	Poznámka
Panoš (1959)	3kg fluoresceinu na Rachavě pod Měrotínem (255 m n. m.)	Hlavní pramen Řimických vyvěraček	52-220, max v 100	1,4	0,6	241	
		Vedlejší pramen (č.2) Řimických vyvěraček	144-172	1,4	0,3	241	
		Jezírka v Mladečských jeskyních	140-160	1,6	0,3	239	
Panoš (1959)	6kg fluoresceinu pod soutokem Javoříčky a Špraňku (352 m n. m.) (vysoký vodní stav)	Hlavní pramen Řimických vyvěraček	235-400	8	0,8	241	vysoká koncentrace stopovače
		Vedlejší pramen (č.2) Řimických vyvěraček	235-400	8	0,8	241	vysoká koncentrace stopovače
		JÚ Čerlinka u Litovle Zázračná studánka	280	12	1,0	235	vysoká koncentrace stopovače

Výsledky Panoše později potvrdil Novák (1961) při podobně koncipované zkoušce, během níž injektoval radioizotopy na soutok Špraňku a Javoříčky. Ty se poté objevily ve vrtech HV10, HV11 a HV12 v JÚ Čerlinka. Tyto stopovací zkoušky poukázaly mimo jiné na proudění krasových vod pod řekou Moravou, což poukazuje na širší výskyt vápenců, než bylo dříve předpokládáno.

Velký význam pro tuto práci mají Řimické vyvěračky; základní údaje o této skupině 6 pramenů přinesla Starobová (1978). Později se prameny zabýval Bruthans (2006). Na základě pozorování mezi léty 2000 – 2004 stanovuje jejich celkovou průměrnou vydatnost 10 l/s, pomocí opakované termometrie dokládá částečnou infiltraci vody z pramenů do náplavu Moravy, kde tyto vody dotují Podskalský (Hraniční) potok. Na hydraulické propojené Řimických vyvěraček s JÚ Čerlinka poukázala Starobová (1978).



Mapa zájmových objektů 1:50 000

 Řimické vyvěračky
hranice ochranného pásma vodního zdroje 1. řádu v JÚ Čerlinka

Obr. 3.3: Lokalizace JÚ Čerlinka a Řimických vyvěraček

Další průzkumy v oblasti se týkaly především JÚ Čerlinka, zásobující Olomouc pitnou vodou již od roku 1976 (Michna 1989). Starobová (1978) v tomto území popisuje vápence, jejichž bázi nezastihly ani vrty 300 m hluboké; místy tyto vápence dosahují pouze 3 – 5 m pod povrch terénu, tvořeným nivou Moravy (Panoš 1990). Rozsah vápenců zejména směrem na SV zůstává neobjasněný; Starobová (1978) předpokládá jejich další pokračování na SV dále za bušínskou poruchu. Později tento údaj aktualizuje a na základě přítoků teplé, málo mineralizované vody předpokládá ukončení pruhu karbonátů blízko SV okraje JÚ Čerlinka. V těžce práci popisuje místy až 50 m mocnou vrstvu jílu, písků a štěrků pravděpodobně pliocénního stáří, tvořící izolátor mezi vápenci a kvarténními štěrky, vyvinutý zejména na severovýchodě území. Jinde však vápence leží pouhé 4 m pod terénem, přímo pod kvarténním kolektorem (Starobová 1981). Na nerovný povrch vápenců poukazuje Michna (1989) – popisuje vrty v blízkosti Moravy vzdálené 200 m; HJ1108 m nezastihl vápence ani v hloubce 80 m, vrt HJ1107 na vápence narazil již ve 13 m pod terénem; Michna zde rovněž předpokládá možný výskyt úseků Moravy, kde teče přímo po povrchu vápenců.

Nejintenzivnější čerpání v JÚ Čerlinka probíhalo během 80. let, s maximem 254 l/s v roce 1986 a 1988. Během devadesátých let se čerpané množství postupně snižovalo, až v roce 2003 kleslo na 60 l/s. To mělo vliv mimo jiné i na vrty HV1003 (Čerlinka 4) a HV1003 (Čerlinka 2), které (vyjma suchých let) přetékaají (Bruthans et al., 2016).

Jako zdroje vody uvádějí autoři, kteří se oblastí zabývali, především karbonátové horniny (Starobová 1979, 1981, 1983; Hálek a Starobová 1986; Michna 1989). Panoš (1990) navíc rozšiřuje oblast možných krasových zdrojů o vápencový pruh u Sovince, vzdálený 21 km

severovýchodně od jímacího území. Starobová (1979, 1983) předpokládá dotaci karbonátového pruhu vodou jak přímou infiltrací ze srážek, tak i vodou z ponorných toků a přetoky z hornin kulmu, které mají vyšší piezometrickou výšku než vápence (a které nízkou vydatnost kompenzují velkou plochou, na níž se rozkládají). V dalších pracích byl řešen především podíl kvartérního kolektoru a Moravy; Starobová (1979) varuje před vzájemným míšením a možnou kontaminací z kvartéru, zejména „v místech písčitého vývoje“; později (1983) na základě roční provozní čerpací zkoušky vyvozuje, že podíl kvartérní vody na čerpaném množství je malý, zejména kvůli vyšší piezometrické výšce ve vápencích a odlišnému chemismu těchto vod, který se neprojevuje na celkovém chemismu vod jímaných; totéž platí i o vodách Moravy, která má ze všech objektů nejnižší mineralizaci. Mimo jiné také předpokládá přítok méně mineralizovaných (zřejmě kulmských) a teplejších (tj. hlubších) vod od SV, které ředí a oteplují vody v této části JÚ, které proto vykazují vyšší teploty a nižší mineralizaci než vody v JZ části území.

Dále čerpací zkouška poukázala na velké vzájemné hydraulické ovlivnění všech kolektorů i řeky Moravy, jehož míra klesá směrem od JZ k SV. Kvartérní zvedeň reaguje na snižování hladiny v devonu (který jí za normálních stavů dotuje) a celé území reaguje na vodní stav v Moravě (při čerpání 270 l/s bylo dosaženo dočasně ustálené hladiny pouze při zvýšených stavech Moravy). Směr přítoku vody se u jednotlivých vrtů liší; přestože obecně je nejsilnější přítok z JZ, vrt Čerlinka 2 (HV1005) je dotovaný vyrovnaným přítokem z JZ i SV.

Starobová a Hálek (1986) pak hodnotí přírodní zásoby z krasu na 145 l/s (94 l/s vsakem v mezipovodích a 51 l/s infiltrací ze srážek); Hálek rozšiřuje odhad na celkem 255 l/s (140 l/s z krasu, 73 l/s z povrchových toků, 37 l/s z nevymezené struktury a 5 l/s z kvartéru – tj. téměř 30% vody z povrchových toků). Na základě modelu pak stanoví přírodních zdroje na 196 l/s. Maximální dlouhodobě jímatelné množství je stanoveno na 200 l/s.

Později se oblastí zabýval Michna (1989); ve své práci upozorňuje, že Hálkův odhad 30% podílu povrchové vody na celkové vydatnosti neodpovídá reálnému chemismu jímané vody. Bruthans (2006) pak považuje odhad Starobové a Hála (1986) za zjednodušený a nevěrohodný, odtok z karbonátů stanovuje v rozmezí 110-180 l/s, zatímco podíl kvartérní vody určuje (na základě obsahu síranů) na 10-15% celkového čerpaného množství z let 1989-1992 a 5-10% z let 2002-2004; zároveň však zpochybňuje takto vysokou vydatnost kvartéru a předpokládá přítoky vod mělkého oběhu (tj. vodami ponorů), které však oproti jímané vodě obsahují nízké koncentrace Ca.

Celkový chemismus vod v JÚ Čerlinka odpovídá Ca-HCO₃ vodám střední tvrdosti, s obsahem Na, Mg a iontů silných kyselin; vody z kulmu se vyznačují nižší mineralizací, nižším obsahem Ca a vyššími obsahy Mg, Fe, Mn. Krasové vody ovlivněné kvartérem vykazují vyšší obsahy Fe, Mn a Cl (Starobová 1979). Obecně se kvartérní voda vyznačuje zvýšenými obsahy Mg, Cl, dusičnanů a síranů. Majzlík (1985) uvádí chemismus vrtů v nivě Moravy velmi obdobný chemismu řeky, avšak se zvýšeným obsahem železa a sníženým obsahem dusičnanů a organické hmoty, svědčící o její oxidaci. Naopak velmi vysokou mineralizaci vykazují vody zachycené vrtem HV101/1, s koncentrací síranů až 400 mg/l, dusičnanů okolo 40 mg/l, Cl 40-50 mg/l, Ca 230-280 mg/l, Mg 15-22 mg/l a Na 16-20 mg/l. Vody mohou pocházet z neogénních sedimentů (Michna 1989).

Bruthans (2006) poukazuje na postupný (od 80. let) mírný nárůst obsahu Na, K, Ca, Mg, Cl, dusičnanů a síranů ve vrtech JÚ Čerlinka, s maximem koncentrací shodným s maximem čerpaného množství; v letech 2002-2004 se koncentrace opět (spolu s čerpaným množstvím) snížila.

Bilanční studii podzemních vod v nedávné době přinesl Šeda et al. (2013). Studie mimo jiné přinesla model, podle něž dochází k drenáži přetoků z devonského kolektoru do toku

Benkovského potoka. Otázkou přírodních zásob se zabýval i projekt Rebilance zásob podzemních vod (Bruthans et al., 2016). V současné chvíli nebylo v této otázce dosaženo shody; různé modely a posudky se liší ve výsledcích, které se zas liší od povolení k odběru, stanoveného Vodoprávním úřadem (srov. Buriánek 2015; Bruthans et al., 2016).

Přes značnou prozkoumanost území se do dnešního dne nepodařilo přesně určit, jakými zdroji jsou napájeny jímací objekty v JÚ Čerlinka. Nejnovější data z analýz $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$, provedené v rámci projektu Rebilance zásob podzemních vod, navíc ukazují, že voda z JÚ je izotopicky výrazně lehčí, než vody toků v povodí hydrogeologického rajonu (HGR) 6640, v němž JÚ leží; to vzbuzuje další otázky po původu jímané vody.

Tato diplomová práce se proto zabývá otázkou charakteru proudění a původu vod v JÚ Čerlinka jak prostřednictvím hledání dalších, dosud neznámých vývěřů krasové vody v oblasti (dokumentovaného i potenciálního) překryvu karbonátových hornin a kvartérního kolektoru, tak i zpracováním dosud nepublikovaných dat s cílem najít takové objekty, jejichž vody by vzájemným míšením mohly vykazovat obdobné složení, jaké mají vody Čerlinky 4 a Čerlinky 2.

4. METODIKA A PROVEDENÉ PRÁCE

4.1 Terénní práce

4.1.1 TERMOMETRIE

Základní metodou použitou při výzkumu bylo podélné profilování teploty a konduktivity (dále termometrie). Tato metoda využívá kontrastu mezi teplotou a vodivostí termometrovaného toku a skrytých přítoků, které umožňuje se značnou přesností lokalizovat a případně určit jejich průtok.

Termometrie probíhala ve všech třech oblastech v zimním období (v jedné z oblastí bylo provedeno měření i v teplé části roku, a poté bylo v zimě opakováno), které je pro uplatnění metody nejvhodnější. Měřené body ležely v nepravidelných rozestupech, způsobených především zamrznutím nebo úplným vyschnutím termometrovaného toku; vzácně nebylo měření možné provést kvůli nepřístupnosti terénu. Dokumentované body byly zaměřeny pomocí GPS souřadnic a zaneseny do mapy. Měřené hodnoty teploty a konduktivity byly vyneseny do grafu vůči staničení (v km) vodního toku. Začátek staničení je uveden u každého termometrovaného toku zvlášť; obecně se nachází na místě soutoku s tokem vyššího řádu. V případě, že tento soutok ležel mimo mapované území, byl výchozí bod staničení určen uvnitř nebo poblíž zkoumané oblasti. Staničení (kilometrů toků) vždy vzrůstá proti proudu profilovaného toku; popis jednotlivých objektů a jejich pravo- a levostranných přítoků naopak probíhá směrem po proudu.

Pro podélné profilování konduktivity a teploty a pro měření průtoků metodou ředění stopovče byly použity přístroje značky WTW (výrobce Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG, WTW; sídlo Dr.-Karl-Slevogt-Straße 1, 82362 Weilheim, Německo), model Cond 3310. Tento přístroj umožňuje měření konduktivity v rozsahu 0 – 1000 mS/cm s odchylkou $\pm 0,5\%$ a teploty v rozsahu -5 – 105 °C (s odchylkou 0,1 °C). Přístroj rovněž disponuje pamětí pro 5000 záznamů, tj. při 5 vteřinovém intervalu umožňuje měření konduktivity pro výpočet průtoku po dobu až 6 hodin 55 minut (WTW, 2019).

Doplněním metody bylo změření průtoku na začátku a na konci měřeného úseku potoka, aby tak bylo možno získat alespoň přibližné hodnoty průtoku dílčích přítoků. Byla využita metoda ředění stopovače, viz např. Kopáč (2007). Metoda spočívá na principu měření konduktivity protékající vody, do níž je injektován roztok přesně určeného množství kuchyňské soli (NaCl) rozpuštěné v libovolném množství vody. Injektáž probíhá rovnoměrně v takovém místě toku, aby bylo zajištěno co možná nejlepší promísení s vodou měřeného objektu a zároveň aby nedocházelo k zachycení solného roztoku za překážky, jakými mohou být větve nebo kaskádky z napadaného materiálu aj. Ve vhodné vzdálenosti, předpokládající dostatečné promísení vody v toku a injektovaného roztoku (běžně 15-100 m, dle konkrétní situace), je umístěn konduktometr, měřící a zaznamenávající konduktivitu toku v 5 vteřinových intervalech. Měření je ukončeno po dosažení původní konduktivity, která byla na toku zjištěna před začátkem experimentu.

Měření je opakováno minimálně 3x, přitom je možné upravit množství soli injektované v roztoku (toto množství však pokaždé musí být přesně známo). Vyhodnocení průtoku spočívá ve výpočtu míry ředění rozpuštěné soli, která prošla přes sondu konduktometru. Míra ředění je přímo úměrná průtoku. Vztah mezi konduktivitou a množstvím rozpuštěné soli je před začátkem měření kalibrován pomocí roztoku NaCl smíšeném v různých poměrech s vodou toku.

Výpočet je opakován pro každé ze tří měření, finální výsledek je pak průměrem všech provedených měření.

V závěrečné části terénních prací dostal autor tohoto textu možnost při výzkumu využít snímání přítoků podzemní vody termokamerou. Poskytnutý přístroj je vyráběn firmou FLIR Systems, Inc., se sídlem na 27700 SW Parkway Avenue, Wilsonville, OR 97070, U. S. A. Použitý model FLIR C3 dle specifikace výrobce zaznamenává záření o frekvenci 7,5 – 14 μm , rozsah registrovaných teplot leží mezi -10 až +150 $^{\circ}\text{C}$ a přesnost měření dosahuje odchylky 2 $^{\circ}\text{C}$. (FLIR Systems, Inc., 2019) Termosnímky byly zhotoveny při termometrování Albeřického potoka a měly zviditelnit skryté přítoky ústící přímo do koryta. Proto neměla relativně nižší přesnost měření oproti přístroji WTW při této aplikaci význam.

Terénní měření termometrie a konduktivity v jednotlivých oblastech pomáhali autorovi této práce provádět jeho školitel Jiří Bruthans (Dyleňský kras, Javoříčko – Mladečský kras), Jaroslav Řihošek (Dyleňský kras) a Martin Slavík (Javoříčko – Mladečský kras); zpracování dat bylo provedeno již samostatně autorem tohoto textu.

4.1.2 PIEZOMETRY

K určení směru přetékání mezi řekou a říčními náplavy a pro odběry vody na stanovení chemismu byly instalovány piezometry. Směr přetékání byl určen porovnáním úrovně hladiny povrchového toku s úrovní hladiny podzemní vody v piezometru, umístěném na břehu v těsné blízkosti koryta. Piezometry byly využity pouze v Javoříčko-Mladečském krasu v nivě Moravy v místech hypotetického pokračování karbonátového pruhu k SV (Obr. 8 v příloze 9).

Piezometry byly vytvořené z PVC trubky o průměru 40 mm a délce min. 1 m, zahloubené přibližně 80 cm pod úroveň okolního terénu a na spodním konci uzavřené ucpávkou. Štěrbínová perforace byla provedena v úseku 6 – 16 cm nad úrovní dna a zajištěna proti zanesení jemnými částicemi 4 – 6 vrstvami dámských silonových punčoch, převlečených přes perforovaný úsek. Okolo střední části piezometru bylo na vnější straně provedeno těsnění jílem z okolí, čímž byla spodní část piezometru nacházející se v kontaktu s podzemní vodou odtěsněna od horní části, která je zaplavovaná říční vodou.

Měření úrovně podzemní vody v piezometrech bylo prováděno pomocí hladinoměru vůči hornímu okraji piezometru; porovnání hladiny ve vodním toku vůči hladině podzemní vody v piezometru bylo prováděno:

- a) vykopáním přívodního kanálku od povrchového toku k piezometru a porovnáním hladiny uvnitř a vně piezometru
- b) přímým měřením (vně/uvnitř piezometru) při vyšších vodních stavech, kdy byl prostor okolo piezometru zatopen vodním tokem
- c) pomocí zednické vodováhy přenesením vodorovné roviny od povrchového toku k piezometru.

4.1.3 ODBĚR VZORKŮ

Břehové piezometry popsané výše byly rovněž použity k odebrání vzorků podzemní vody v nejmělkčí zóně kvartérního kolektoru. Zároveň s odběrem vzorku z piezometru byly odebrány vzorky z vodního toku u daného piezometru pro srovnání, zda se voda řeky a podzemní voda v piezometru vzájemně liší.

Odebírání vzorků probíhalo do plastových PET lahví přímým nabíráním z vodního toku, z piezometru pak pomocí vakuové pumpičky; vnitřní průměr trubky piezometru (35 mm) neumožňoval použití kalovky či ponorného čerpadla. Odběr pomocí vakuové pumpy (podtlak okolo 10-30kPa při odběru) mohl vést k snížení obsahu Ca^{2+} a HCO_3^- ve vzorkované vodě z důvodu odplynění CO_2 z roztoku. To je nutné ve výsledcích uvažovat.

Vzorky byly odebrány do PET lahví o objemu 500 ml. Lahve byly propláchnuty vzorkovanou vodou, odběr proběhl z průtočné části toku dále od břehu; při odběru z piezometrů byl nejprve odčerpán 1 litr vody a vzorkován byl až následující druhý odběr.

4.2 Laboratorní práce

Vzorky byly předány Laboratoři geologických ústavů na PŘF UK na chemický rozbor vybraných iontů (Tab. 4.1).

Tab. 4.1: přehled analyzovaných komponent ze vzorků piezometrů a povrchových toků

Anionty							Kationty							
HCO_3^-	F^-	Cl^-	Br^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	PO_4^{3-}	Li^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Mn	Fe	Si

Kationty byly stanoveny pomocí emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (**ICP-OES** - *inductively coupled plasma optical emission spectrometry*), anionty pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie (**HPLC** - *high-performance liquid chromatography*).

4.3 Zpracování dat chemismu

Mimo nově získaných měření byla v předkládané diplomové práci zpracována i dosud nepublikovaná data chemizmu, která byla následně srovnána s daty staršími, již dříve zveřejněnými. Práce s těmito daty obnášela několik různých přístupů.

4.3.1 HLEDÁNÍ HYPOTETICKÉHO ZDROJE

První přístup byl založen na konceptu vzájemného mísení reálných objektů a hypotetické složky. Cílem bylo najít dvousložkovou směs, jejíž první složku tvořily objekty, jejichž podíl na výsledném chemismu jímaných vod byl v minulosti prokázán; druhá, dopočtená složka pak měla poukázat na objekty, u nichž tato spojitost dokázána nebyla. Chemismus hypotetické složky byl vypočten jako doplněk k reálnému objektu, a to tak, aby směsí reálné a hypotetické složky vznikl opět reálný objekt na výstupu.

Tento přístup lze vyjádřit rovnicí

$$aR + bH = (a+b)V \quad (2)$$

kde R = reálný objekt se známým chemismem

H = hypotetický zdroj, jehož chemismus je předmětem výpočtu

V = výsledný (reálný) chemismus objektu na výstupu

a = poměrové zastoupení zdroje se známým chemismem

b = poměrové zastoupení hypotetického zdroje

Chemické složení hypotetického zdroje bylo vypočteno pro různé poměry míšení se skutečnými objekty o známém chemismu (R). Hodnoty chemismu hypotetického zdroje byly poté porovnávány s chemismem skutečných objektů, s cílem najít objekty s maximální shodou.

Pro zjednodušení porovnávání byly vytvořeny tzv. souhrnné intervaly chemismu. Tyto intervaly v sobě zahrnovaly celé rozpětí chemismu pro všechna uvažovaná ředění a pro všechny objekty na výstupu zároveň. Postup lze shrnout následujícími kroky (Tab.4.2):

- Nejprve jsou vypočteny hodnoty koncentrací komponent x_1 , x_2 a x_3 pro ředění $aR + bH$ až $eR + fH$ pro výstup na objektu 1 (V1);
- Obdobný výpočet pro další objekty na výstupu – zde situace pro 3 objekty (V1 – V3)
- Byl vytvořen souhrnný interval rozpětí chemismů pro ředění bH a výstup V1 až ředění iH a výstup V3 a všechny mezilehlé kombinace; každá chemická komponenta je uvažována zvlášť

Tab. 4.2: Vytvoření souhrnných intervalů

aR	+ bH	=	(a+b)V1
...			
hR	+ iH	=	(h+i)V1
.....			
aR	+ bH	=	(a+b)V3
...			
hR	+ iH	=	(h+i)V3
↓			
	x_1	x_2	x_3
bH (V1)	$bx_1 (V1)$	$bx_2(V1)$	$bx_3(V1)$
....			
fH(V1)	$fx_1 (V1)$	$fx_2(V1)$	$fx_3(V1)$
.....			
bH (V3)	$bx_1 (V3)$	$bx_2(V3)$	$bx_3(V3)$
....			
fH (V3)	$fx_1 (V3)$	$fx_2(V3)$	$fx_3(V3)$
↓			
int<bH(V1); fH(V3)>	< $bx_1 (V1)$; $fx_1 (V3)$ >	< $bx_2 (V1)$; $fx_2 (V3)$ >	< $bx_3 (V1)$; $fx_3 (V3)$ >

Takové zjednodušení mělo za cíl vytvoření „nejhrubšího síta“, které mělo oddělit objekty, které odpovídaly alespoň jednomu ředění a pro alespoň jeden objekt na výstupu. V případě shody

některého ze skutečných objektů s takto široce daným hypotetickým zdrojem pak probíhala individuální analýza takového objektu, s cílem určit jakému míšení a objektu na výstupu odpovídá nalezený reálný objekt.

4.3.2 PRAVDĚPODOBNÉ ZDROJE

Druhý přístup uvažuje míšení objektů, zvolených zejména vzhledem ke své poloze, vydatnosti a vzhledem k závěrům, plynoucím z předchozích úvah (viz kapitola 3 – předchozí výzkumy).

Dva objekty, u nichž je předpokládán dominantní vliv na celkový chemismus, jsou směřovány postupně od poměru 1:99 do poměru 99:1; ke každému z 99 stupňů tohoto míšení je navíc přidáno od 1 do 20 dílů vedlejšího objektu, jehož přítomnost je pravděpodobná, neuvažuje se však jako klíčová pro výsledné chemické složení.

Chemismus takto vytvořené směsi je pak porovnán s chemismem reálných objektů na výstupu. Výsledkem je poměrové zastoupení jednotlivých reálných zdrojů pro hypotetický objekt, který se svým složením nejvíce blíží objektu reálnému.

4.3.3 SMĚŠOVACÍ POMĚRY NA ZÁKLADĚ LINEÁRNÍ OPTIMALIZACE

Závěrečným postupem pro zpracování dat chemismu bylo využití aplikace na principu lineární optimalizace, s cílem nalézt kombinace zdrojů tak, aby se výsledná směs svým chemickým složením maximálně blížila zadanému objektu. Autorem optimalizační aplikace je na základě specifikací autora této práce pan Jindřich Cincibuch.

Pro pochopení principu výpočtu je nezbytné definovat pojmy, s nimiž bude nadále v textu zacházeno.

ZDROJ (označení z) je objekt, který vstupuje do směsi a podílí se na jejím výsledném chemickém složení. Množství zdrojů odpovídá množství objektů, jež jsou směřovány.

KOMPONENTA (označení k) je chemická látka, číselně vyjádřená jako koncentrace, a je specifická pro každý zdroj. Počet komponent závisí na množství látek, pro něž byla analyticky stanovena jejich koncentrace ve zdroji (případně na množství stanovených látek, které jsou uvažovány pro vystižení chemismu zdroje).

TARGET (označení t) je objekt, jehož chemismu má lineárně optimalizovaná kombinace zdrojů dosáhnout tak, aby výsledný chemismus této kombinace dosahoval vůči targetu minimální odchylky.

Nově vytvořená aplikace pod názvem GeoHydro pracuje s množinou zdrojů $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ a množinou komponent $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$. Pro každý zdroj ($\forall z \in Z$) a pro každou komponentu ($\forall k \in K$) je definován člen h_{kz} , určující hodnotu (tj. koncentraci) komponenty k ve zdroji z .

První proměnnou ve výpočtu je příspěvek zdroje x_z , jehož zastoupení ve výsledné směsi leží v intervalu 0 – 100% ($\forall z \in Z \mid 0 \leq x_z \leq 1$). Druhou proměnnou je rozdíl (odchylka – kladná a záporná) mezi výslednou směsí dílčích zdrojů a targetem, definovaná pro každou jeho komponentu ($\forall k \in K \mid \varepsilon_k^+ \geq 0, \varepsilon_k^- \geq 0$).

Součet podílů zdrojů se rovná 100% :

$$\sum_{z \in Z} x_z = 1$$

Součin podílu zdroje x_z a zastoupení (koncentrace) komponenty v tomto zdroji h_{kz} se rovná hodnotě targetu a kladné a záporné odchylce (jedna z těchto odchylek se přitom vždy rovná nule):

$$\forall k \in K: \sum_{z \in Z} x_z * h_{kz} = t_k + \varepsilon_k^+ - \varepsilon_k^-, \varepsilon_k^+ \vee \varepsilon_k^- = 0$$

Účelovou funkcí je pak minimalizace odchylek $\varepsilon_k^+ - \varepsilon_k^-$ pro všechny komponenty, které jsou vybrány k optimalizaci:

$$\sum_{k \in K} \varepsilon_k^+ - \varepsilon_k^-$$

Výsledkem optimalizace je kombinace s nejmenší souhrnnou chybou; chyba je přitom normalizovaná pro každou chemickou komponentu a nejnižší souhrnná chyba se vždy vztahuje k zvolenému targetu a zvolené konfiguraci (tj. výběru) chemických komponent. Zároveň je vypočtena celková chyba vůči všem chemickým komponentám.

Aplikace GeoHydro byla publikována na platformě github.com a je zde volně dostupná (Cincibuch, 2019). Úvod do principů lineární optimalizace podává například Matoušek (2006).

5. VÝSLEDKY A DISKUSE

5.1 Podélné profilování teploty a konduktivity

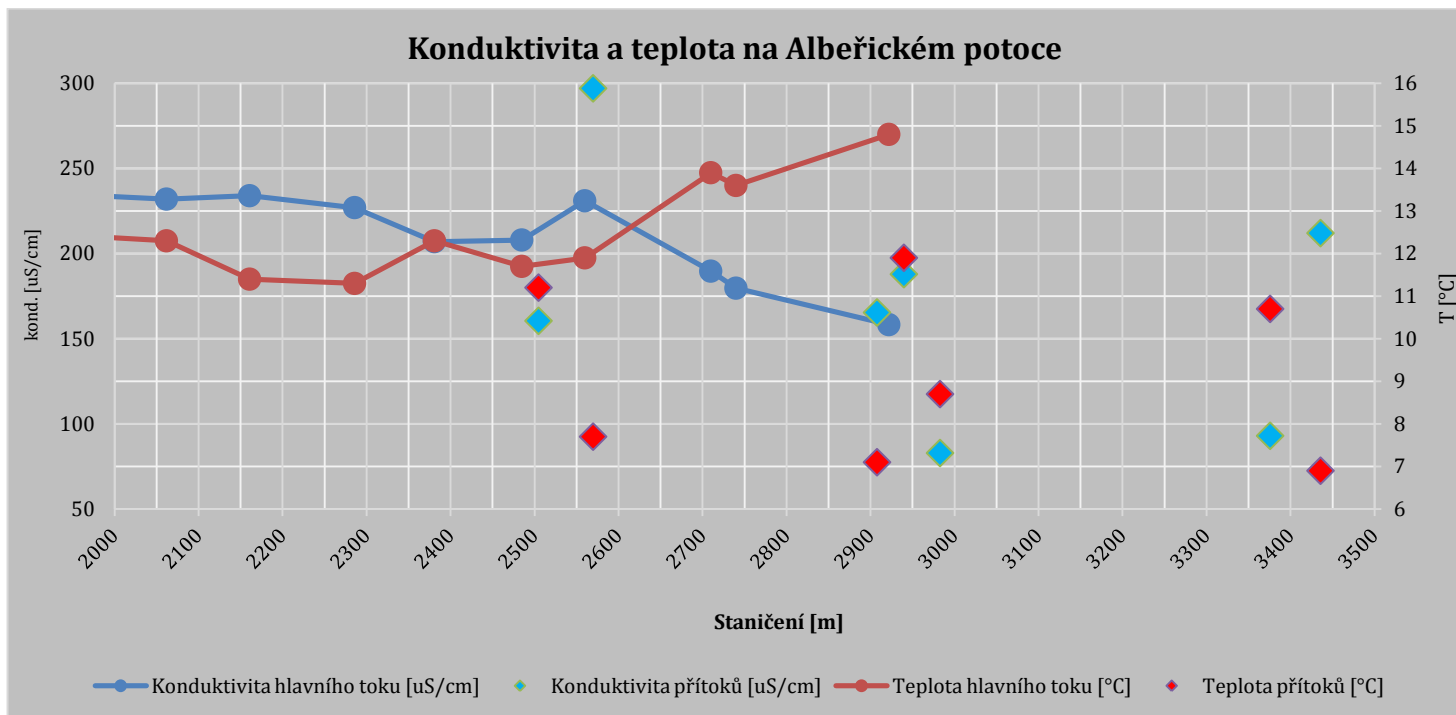
5.1.1 ALBEŘICKÝ POTOK

Na Albeřickém potoce a jeho přítocích bylo podélné profilování teploty a konduktivity (dále termometrie) provedeno opakovaně ve dnech 27. 5. 2017 a 06. 01. 2019. Zimní měření přitom mělo za cíl ověřit a potvrdit výsledky profilování z května 2017, které vzhledem k principu metody neproběhlo za zcela optimálních podmínek. Oproti obvyklému postupu při zimní termometrii, kdy jsou ve studeném, případně zcela zamrzlém toku hledány teplejší přítoky podzemní vody, byly v tomto případě naopak hledány studenější přítoky do teplejšího toku. Vzhledem k období pozdního jara, kdy bylo měření prováděno, nebyly povrchové toky maximálně prohřáté a kontrast mezi hlavním tokem a případným (skrytým) přítokem nebyl tak výrazný jako v zimních měsících. Dalším zdrojem nepřesností byla i větší citlivost na vnější vlivy typu nerovnoměrného slunečního osvětlení během dne. Cílem měření bylo najít dosud neznámé odvodnění krasových vod z Albeřické jeskyně a karbonátových pruhů do koryta Albeřického potoka.

5.1.1.1 Termometrie 27. 5. 2017

Při první termometrii byla teplota vzduchu 18,5°C (v 10:45), podle údajů z meteorostanice v Peci pod Sněžkou dosahovaly maximální denní teploty 20 °C, týdenní průměr se rovnal teplotě 11°C.

Albeřický potok byl termometrován po celé své délce, od objevení v suchém korytě u turistického infocentra Vápenka (u č.p. 13, Horní Albeřice) na severním konci Horních Albeřic (staničení 2983) po soutok s Lysečinským potokem (staničení 0; Obr 5.1).



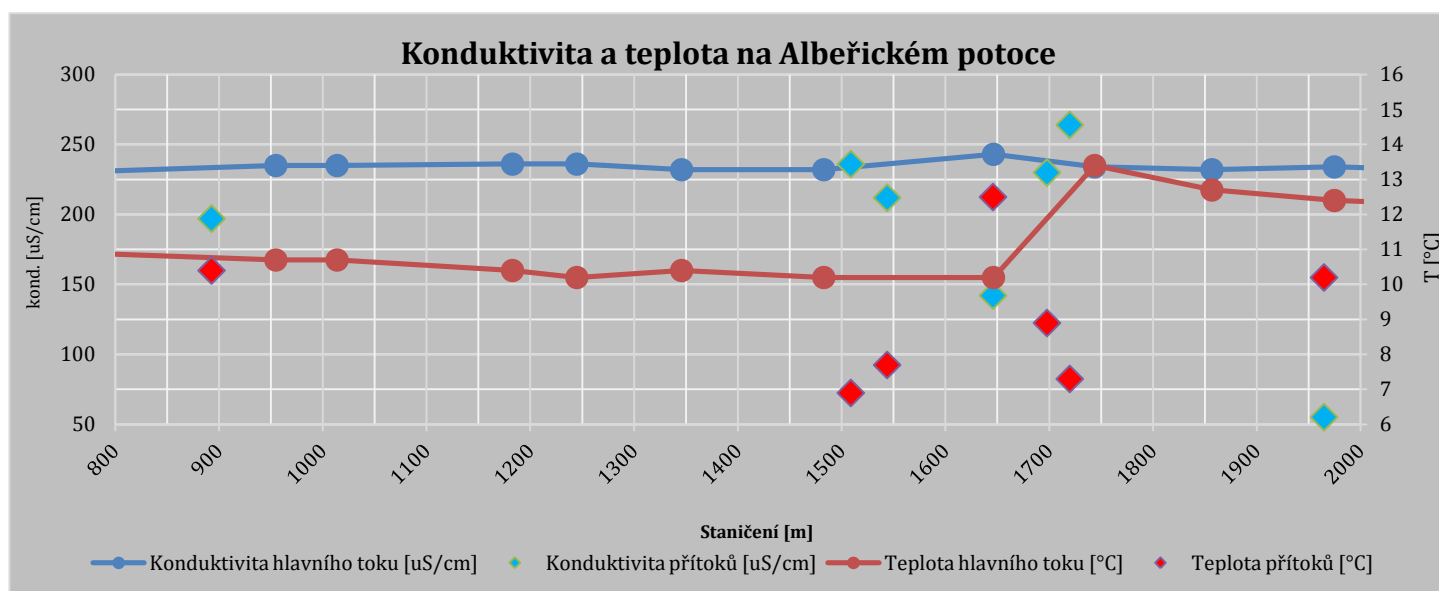
Obr. 5.1: Průběh konduktivity a teploty na Albeřickém potoce, staničení 2000 – 3500 m (27. 5. 2017)

Prvním bodem v grafu je měření jezírka v Albeřické jeskyni, o teplotě 6,9°C a konduktivitě 212 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ačkoli jeho spojitost s Albeřickým potokem zatím není prokázána, může v omezené míře (měření proběhlo 25. 4. 2017, tedy měsíc před termometrováním samotného potoka) sloužit jako referenční hodnota teploty a konduktivity.

Prvním evidentním přítokem do koryta Albeřického potoka byl drobný pravostranný potok, jímaný do betonové nádrže u č.p.16, Horní Albeřice, a přitékající do suchého koryta Albeřického potoka. Dosahoval konduktivity 93 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a teploty 10,7 °C, v korytě Albeřického potoka se ale ztrácel. Faktickým počátkem Albeřického potoka (ve staničení 2983 m) pak byl pravostranný přítok bezejmenného potoka do doposud suchého koryta, s konduktivitou 83 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a teplotou 8,7 °C. Krátce na to do koryta vtékal levostranný přítok bezejmenného potoka, pramenícího nad budovou č.p. 16, Horní Albeřice (pension Vápenka). Tento spojený tok dosahoval změřeného průtoku 3,4 l/s (průměr všech měření). Měření proběhlo 27. 5. 2017, téhož dne jako termometrie, v čase 19 – 20 h a s použitím metody ředění stopovače; byly provedeny tři nálevy, každý s množstvím 100 g soli.

Dále tok ústí do průtočné nádrže, s konduktivitou 158 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a teplotou vody na odtoku 14,8°C (což je nejvyšší změřená hodnota teploty na celé délce potoka). V blízkosti nádrže se nacházel drobný upravený pramínek u pensionu Stará celnice, o teplotě 7,1 °C a konduktivitě 165 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Dále došlo k mírnému poklesu teploty potoka na 13,9°C a vzrůstu konduktivity na 190 $\mu\text{S}/\text{cm}$; ve staničení 2570 (na pozemku u č.p. 8, Horní Albeřice) do potoka vtékal levostranný přítok (Obr. 1 v příloze 9) o odhadované vydatnosti 1 l/s, teplotě 7,7°C a konduktivitě 297 $\mu\text{S}/\text{cm}$, která byla nejvyšší změřenou hodnotou konduktivity ze všech dokumentovaných bodů. Následoval pokles teploty a vzrůst konduktivity Albeřického potoka na hodnoty 11,9°C a 231 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ve staničení 2505 m přibíral Albeřický potok bezejmenný levostranný přítok o teplotě 11,2°C a konduktivitě 161 $\mu\text{S}/\text{cm}$ s odhadovanou vydatností 3 l/s. Přeš mírné ochlazení a pokles konduktivity na 11,7 °C a 208 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se potok po necelých 200 m, ve staničení 2381 m, ohříval na 12,3 °C při téměř nezměněné konduktivitě 207 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O 95 metrů níže teplota potoka bez viditelného přítoku klesla na 11,3°C, zatímco konduktivita stoupla na 227 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Další měřené body dokumentovaly pozvolný nárůst teploty i konduktivity až na 12,4 °C a 234 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve staničení 1975 m.



Obr. 5.2: Průběh konduktivity a teploty na Albeřickém potoce, staničení 800 – 2000 m (27. 5. 2017)

Následující úsek Albeřického potoka (Obr. 5.2) je význačný výrazným skokem v teplotě v místě několika blízko sebe ležících levostranných přítoků a následným ustáleným průběhem teploty až

do soutoku s Lysečinským potokem. Před těmito velkými přítoky se na úrovni staničení 1965 m nalézal drobný pravostranný pramen o teplotě 10,2 °C a konduktivitě 55 µS/cm, vytékající poměrně vysoko ve svahu (nad silnicí mezi Horními a Dolními Albeřicemi) a bez patrného vlivu na hlavní tok, který postupně dosáhl ve staničení 1744 m teploty 13,4 °C a konduktivity 234 µS/cm. První levostranný přítok ve staničení 1720 m, s odhadovanou vydatností 1,5 l/s, dosahoval teploty 7,3 °C a konduktivity 264 µS/cm. Následující, větší přítok bezejmenného potoka (dále VINOŘSKÝ) s odhadovaným průtokem 10 l/s (Obr. 2 v příloze 9), teplotou 8,9 °C a konduktivitou 230 µS/cm se vléval do Albeřického potoka ve staničení 1698 m. (Oba popsané levostranné přítoky se nacházely u opuštěného bývalého pensionu VINOŘ, č.p. 41 v Dolních Albeřicích). Tím byl způsoben drobný vzrůst konduktivity potoka na 243 µS/cm a především výrazné snížení teploty na 10,2 °C.

Dále Albeřický potok přibíral ve staničení 1646 m bezejmenný levostranný tok u pensionu LIBERTA o teplotě 12,5 °C a konduktivitě 142 µS/cm, s odhadovaným průtokem do 10 l/s. Níže po proudu, ve staničení 1544 m se nacházel pravostranný pramen svedený do jímky na pozemku č.p. 10, Dolní Albeřice, s teplotou 7,7°C a konduktivitou 212 µS/cm.

O několik desítek metrů dále se do potoka vlévala voda z přetoku údajné studánky zásobující několik okolních domů, vybudované v opěrné zdi koryta a zabezpečené ocelovými dvířky. Studánka se nacházela ve staničení 1509 m a s teplotou 6,9 °C se jednalo o nejstudenější dokumentovaný bod; konduktivita dosahovala hodnoty 236 µS/cm. Odhadovaný průtok nepřevyšoval 1 l/s.

Další vývoj teploty Albeřického potoka měl postupně narůstající charakter; od 10,2 °C pod soutokem s vodou ze studánky se zvýšila až na 11,2 °C před soutokem s Lysečinským potokem. Jediným zaznamenaným přítokem v této oblasti byl Suchý potok, drénující vápencový lom v Suchém dole. Tento levostranný přítok ve staničení 893 m dosahoval teploty 10,4°C, konduktivity 197 µS/cm a průtoku přibližně 10 l/s.

Pod soutokem se Suchým potokem byl na Albeřickém potoce dne 28. 5. 2019 změřen průtok. Ve třech nálevech bylo postupně použito 250, 500 a 750 g soli. Průměrný průtok určený metodou ředění stopovače byl 104,2 l/s.

Přítomnost potenciálního zdroje podzemní vody z vápenců naznačovalo snížení teploty a zvýšení konduktivity toku. Na Albeřickém potoce bylo po provedeném měření možné vymezit tři takovéto oblasti:

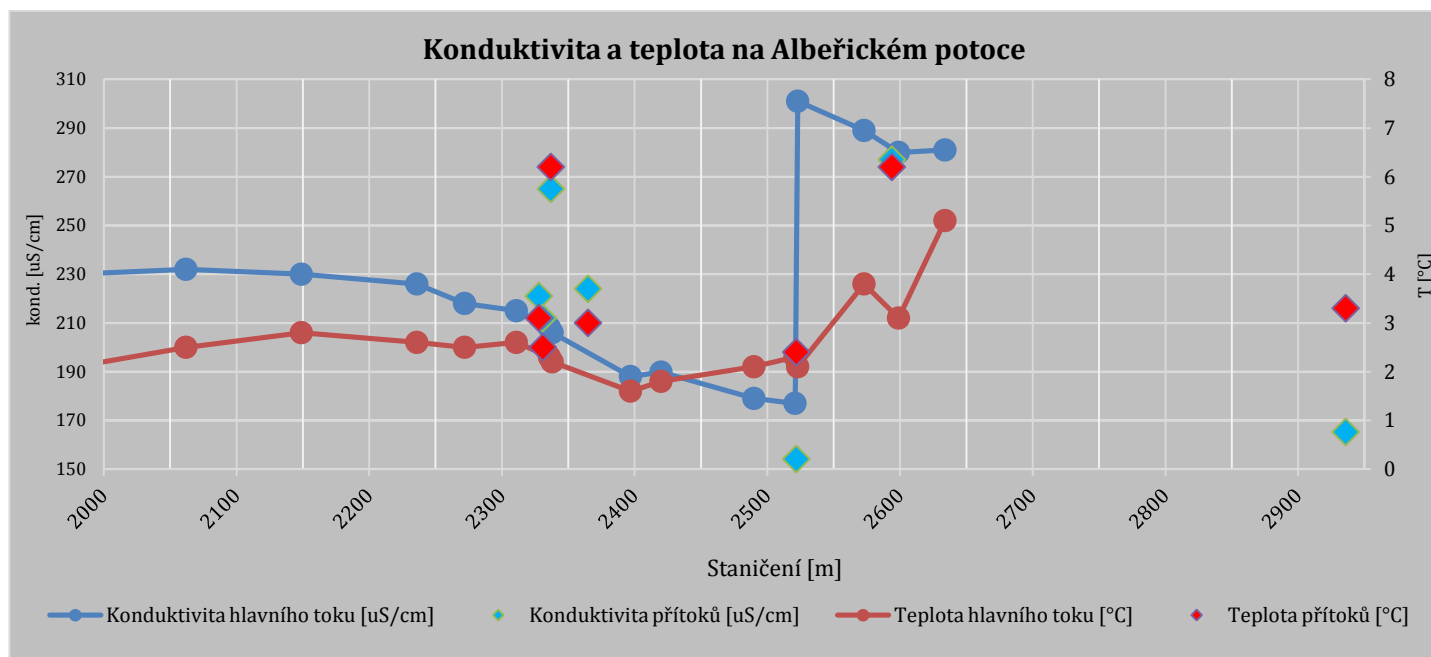
- mezi staničením 2710 m a 2560 m, (pravděpodobně) vlivem přítoku ve staničení 2570 m; teplota a konduktivita přítoku se rovnala 7,7°C a 293 µS/cm, teplota a konduktivita potoka se změnila z 13,9°C a 190 µS/cm na 11,9°C a 227 µS/cm;
- mezi staničením 2381 a 2286 m, kde docházelo ke změně konduktivity a teploty z 12,3°C a 207 µS/cm na 11,3 °C a 227 µS/cm, bez viditelného soustředěného přítoku;
- v rozpětí staničení 1744 a 1647 m, kde došlo k poklesu teploty potoka z 13,4°C na 10,2°C a méně významnému vzrůstu konduktivity z 234 na 243 µS/cm vlivem silných levostranných přítoků o teplotě 7,3 a 8,9 °C a konduktivitě 264, resp. 230 µS/cm

Tyto vytipované úseky byly předmětem zvýšené pozornosti při opětovném podélném profilování Albeřického potoka v zimě 2019.

5.1.1.2 Termometrie 6. 1. 2019

Zimní podélné profilování proběhlo na Albeřickém potoce 6. 1. 2019 a mělo za cíl ověřit a rozšířit poznatky získané při průzkumu v květnu 2017. Mapování proběhlo ve vhodných podmínkách; v den měření dosahovala teplota rozpětí -3 až -5 °C, průměrná týdenní teplota odpovídala -3°C. Měřený úsek toku sahal od vyschlého koryta na úrovni přítoku u č.p. 8, Horní Albeřice ve staničení 2594 m (přítok popsán ve staničení 2570 m při letní termometrii) po soutok s Lysečinským potokem (staničení 0 m) (Obr. 5.3). Staničení jarní a zimní termometrie se vlivem nepřesností při zaměření i následném zpracování dat může mírně lišit (od prvních metrů na začátku staničení až do 24 m v závěru staničení), u každého význačného objektu nebo úseku budou v dalším textu uvedena staničení obě.

Nejzazším měřeným bodem byl pramínek u restaurace Stará celnice, s teplotou 3,3°C a oproti jarnímu měření nezměněnou konduktivitou 165 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Koryto Albeřického potoka i požární nádrž byly v těchto místech vyschlé; první voda se objevovala severně od č.p. 8, Horní Albeřice, ve staničení 2634 m s teplotou 5,1°C a konduktivitou 281 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Potok se následně ochlazoval na 3,1 °C ve staničení 2599 m, avšak po přibrání levostranného přítoku ve staničení 2594 m o teplotě 6,2°C a konduktivitě 277 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a odhadovaném průtoku 1 až 1,5 l/s (přítok na zahradě u č.p. 8 v Dolních Albeřicích, v jarní termometrii popsán ve staničení 2570 m) se teplota zvedala na 3,8 °C ve staničení 2573 m. Následuje další zvedání konduktivity a pokles teploty na 301 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 2,4 °C nad bezejmenným levostranným přítokem na 2522. m (dokumentovaným během letní termometrie ve staničení 2505 m), který při teplotě 2,4°C a konduktivitě 154 $\mu\text{S}/\text{cm}$ strhává především hodnoty konduktivity až k 177 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pod soutokem, zatímco teplotu zvedá jen mírně na 2,3 °C (konduktivita byla jen o 7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nižší).

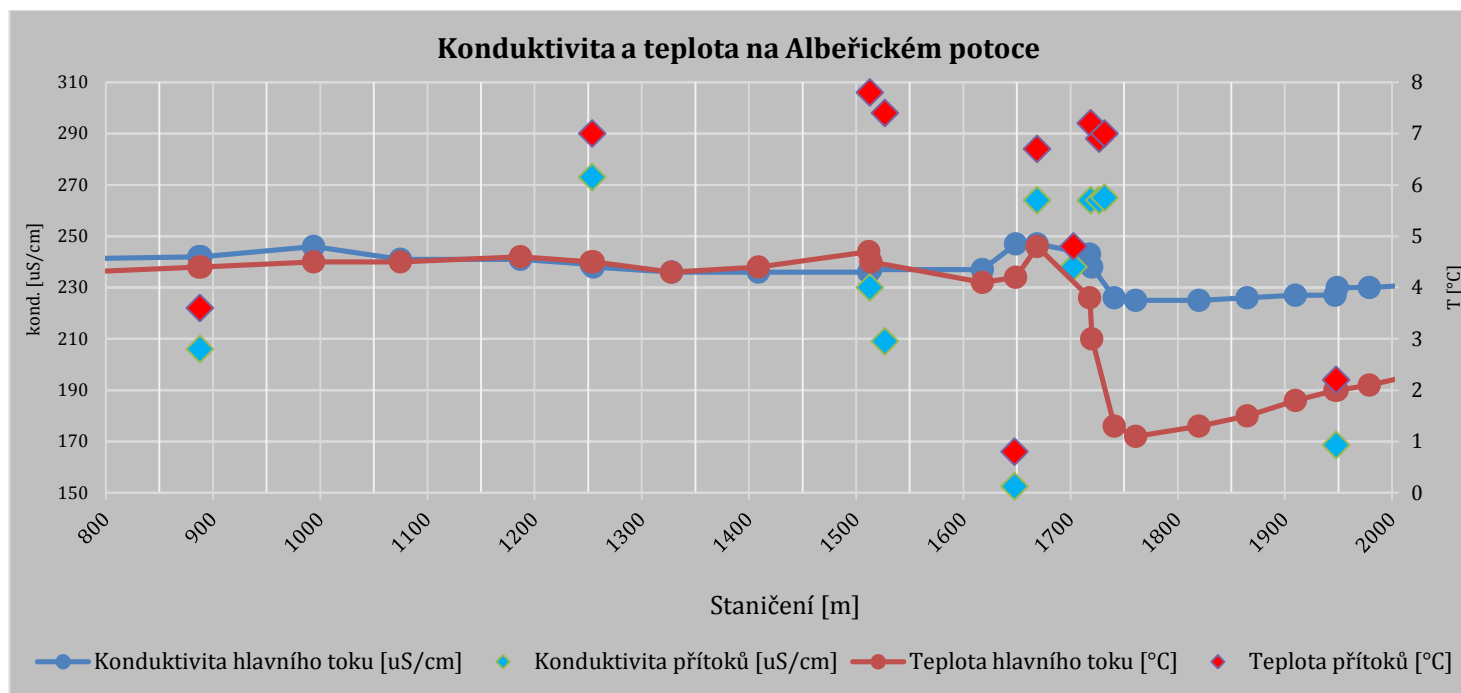


Obr. 5.3: Průběh konduktivity a teploty na Albeřickém potoce, staničení 2000 – 2950 m (6. 1. 2019)

Na dalším krátkém úseku docházelo opět ke snižování teploty až ke staničení 2397 -2311 m, kde byl během jarní termometrie v 2017 zaznamenán pokles teploty potoka bez viditelného přítoku, který by jej mohl způsobovat. Podařilo se zde podchytit celkem 4 přítoky; první z nich, rozptýlený podél levého břehu v délce přibližně 3 m ve staničení 2365 m, ohřívající koryto na 3°C (z předcházejících 1,6 °C) a zvyšující konduktivitu na 224 $\mu\text{S}/\text{cm}$ byl následován drobným levostranným pramínkem vyvedeným do trubky nad potok ve staničení 2337 m, s teplotou 6,5 °C a konduktivitou 265 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Poslední dva přítoky, vzhledem k vzájemné blízkosti

(staničení 2331 a 2328 m) spíše jeden rozptýlený, pronikaly do toku z pravého břehu, po míšení s potokem dosahovaly teploty 2,5 resp. 3,1 °C a konduktivity 212, resp. 221 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Další vývoj měřených parametrů se vyznačoval mírným nárůstem konduktivity a teploty; lokálním píkem tohoto růstu byl bod ve staničení 2149 m, s teplotou 2,8 °C a konduktivitou 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ležel na pozemku s rodinným domem, vybaveným domovní ČOV; odtok přečištěných vod z této ČOV mohl způsobit mírné zvýšení teploty a konduktivity toku.

Další úsek toku byl opět charakteristický výrazným skokem v měřených parametrech vlivem několika levostranných přítoků, které ovlivnily Albeřický potok po celé zbývající délce až na soutok s Lysečským potokem (Obr. 5.4).



Obr. 5.4: Konduktivita a teplota na Albeřickém potoce, staničení 800 – 2000 m (6. 1. 2019)

Snižování teploty potoka dále rovnoměrně pokračovalo, stejně jako mírný pokles konduktivity; drobný pravostranný pramen ve staničení 1948 m tok ovlivnil jen mírným snížením konduktivity z 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na 227 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Níže po proudu dosáhl potok minima teploty v celém měřeném úseku: 1,1 $^{\circ}\text{C}$ (při 225 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve staničení 1761 m. Po mírném oteplení na 1,3 $^{\circ}\text{C}$ ve staničení 1741 m se výrazně projeví dva blízko sebe ležící rozptýlené levostranné přítoky přímo do koryta; stalo se tak v místě mírné pravotočivé zatáčky, kde je koryto upraveno drobnými splávkami a z levé strany i opěrnou zídou, u jejíž paty docházelo k výronům teplé vody. Přítok jednotného původu byl zde zřejmě rozdělen do dvou větví: první ve staničení 1732 m dosahovala teploty 7 $^{\circ}\text{C}$ a konduktivity 265 $\mu\text{S}/\text{cm}$, druhá pak o 5 m níže, ve staničení 1727 m před druhým splávkem nabývala obdobné parametry - teplotu 6,9 $^{\circ}\text{C}$ a konduktivitu 264 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Obr. 3 a 4 v příloze 9). Teplota potoka se po přijetí tohoto přítoku zvýšila na 3 $^{\circ}\text{C}$, konduktivita na 238 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Níže, pod kaskádou s rozptýlenými přítoky, pak v levém břehu ve staničení 1719 m čněla trubka, dodávající odhadovaný průtok 1,5 l/s o teplotě 7,2 $^{\circ}\text{C}$ a konduktivitě 264 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Jedná se o stejný objekt, který byl během jarní termometrie dokumentován ve staničení 1720 m. Pod soutokem s tímto objektem teplota potoka dále vystoupila na 3,8 $^{\circ}\text{C}$, stejně tak i konduktivita, mírně zvýšená na 243 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Následoval výrazný levostranný přítok pramenící ve svahu nad bývalým pensionem Vnoř (Vnořský potok), vtékající do potoka ve staničení 1703 m (1698 m dle staničení jarní termometrie), doval potok odhadovaným průtokem 7 l/s o teplotě 4,8 $^{\circ}\text{C}$ a konduktivitě 238 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Teplota potoka pod soutokem s tímto objektem vzrostla na 4,8 $^{\circ}\text{C}$, konduktivita dosáhla hodnoty až 247 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Posledním ze série

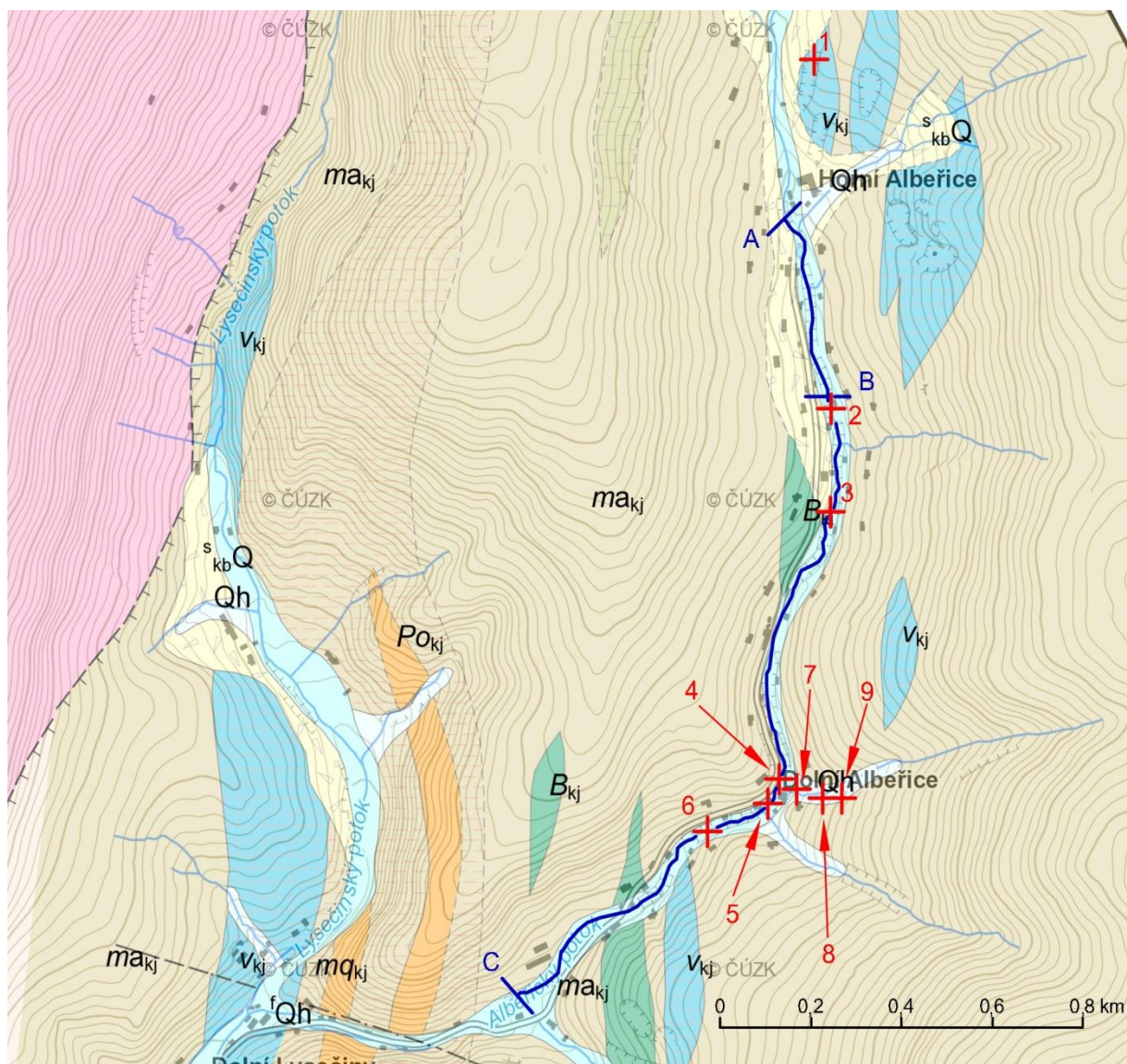
teplých levostranných přítoků byl drobnější výtok z trubky ve staničení 1669 m s teplotou 6,7°C a konduktivitou 264 µS/cm.

Po soutoku s popsanou skupinou levostranných přítoků průběh teploty i konduktivity na Albeřickém potoce již nevykazoval obdobné výrazné odchylky; projevil se levostranný přítok bezejmenného potoka nad penzionem Liberta, který ve staničení 1648 m dotoval Albeřický potok odhadovanými 5 l/s o teplotě 0,8 °C a konduktivitě 153 µS/cm. To se odrazilo snížením teploty i konduktivity z 4,2°C a 247 µS/cm na 4,1 °C a 237 µS/cm. Ve staničení 1527 se našel poslední pravostranný přítok Albeřického potoka, vyvěrající ve svahu nad silnicí u č.p. 10, Dolní Alběřice, s teplotou 7,4 °C a konduktivitou 209 µS/cm a průtokem 0,5 l/s. Hlavní tok se mezitím ohřál na 4,5 °C v na 1512. m. Níže do něj ústil další přítok, popsaný ve staničení 1513 m (1509 m dle jarní termometrie) jako studánka, zásobující několik blízkých domů a o teplotě 7,8°C, konduktivitě 230 µS/cm a vydatnosti kolem 0,75 l/s. Teplota a konduktivita pod soutokem dosahovala 4,7°C a 236 µS/cm.

Závěrečný úsek Albeřického potoka až k jeho soutoku se vyznačoval pozvolným poklesem teploty, s výjimkou mírného nárůstu na 4,5 °C v okolí levostranného přítoku z trubky ve staničení 1254 m, s teplotou 7°C, konduktivitou 273 µS/cm a průtokem 0,5 l/s, který měl ovšem malý vliv na potok ve své bezprostřední blízkosti (teplota před i po soutoku zůstala na 4,5 °C, konduktivita se jen mírně změnila z 238 na 239 µS/cm), následovaný dalším mírným zvýšením na 4,6 °C a 241 µS/cm ve staničení 1187 m, bez identifikovaného přítoku. Odsud až po soutok s Lysečinským potokem teplota v potoce jen klesala; ve staničení 888 m Albeřický potok přijímal poslední změřený přítok, kterým byl Suchý potok s teplotou 3,6°C a konduktivitou 206 µS/cm a odhadovaným průtokem 5-7 l/s. Teplota i konduktivita hlavního toku zůstaly nad i pod přítokem neměnné a dosahovaly 4,4°C a 242 µS/cm. Závěrečným bodem měření byl první bod staničení Albeřického potoka, umístěný těsně nad jeho soutokem s Lysečinským potokem. Teplota i konduktivita zde poklesly na 3,6 °C, resp. 236 µS/cm.

Dodatečně je vhodné detailně popsat průběh přítoku ve staničení 1703 m (Vinořský potok), změřeného v rámci termometrie 6. 1. 2019. Přibližně 173 m od soutoku s Albeřickým potokem, v blízkosti vedení vysokého napětí, se nacházel mohutný upravený vývěr, který byl (oproti mapovým podkladům) faktickým počátkem Vinořského potoka. Okolí bylo zarostlé vegetací, samotný vývěr byl oplocen zbytky drátěného plotu a celková úprava připomínala staré ochranné pásmo vodního zdroje (které zde dle databáze HEIS VÚV není). Vývěr dosahoval teploty 7,2 °C a konduktivity 280 µS/cm. Níže po proudu, ve vzdálenosti 142 m od soutoku, se do hlavního koryta napojoval málo vydatný pravostranný přítok, který již několik metrů proti proudu vysychal a byl zavátý sněhem. O 10 m níže se v levém břehu našel přítok s obtížně určitelným průtokem (dle hrubého odhadu kolem 1,5 l/s); přítok vyvěral pod velkým tlakem z dutiny v rozpukané skále mělce pod povrchem, o průměru do 1 cm, a rozprašoval vodu na vzdálenost přibližně 3 m (Obr. 5 a 6 v příloze 9). Voda z přítoku byla zachycena do outdoorového hrnku, v němž byla změřena teplota 6,6 °C a konduktivita 284 µS/cm.

Dále se teplota potoka snižovala až na hodnotu 4,6 °C nad levobřežním prameništěm 130 metrů nad soutokem s Albeřickým potokem; konduktivita v tomto místě klesla na 223 µS/cm. Nejnižší teploty potok dosáhl o 41 m níže, ve staničení 89 m, s teplotou 4,4°C a konduktivitou 227 µS/cm. Nedaleko (62 m) od ústí Vinořského potoka se pak koryto rozšiřovalo do tůně, při jejímž levém břehu dosahovala voda teploty 6,8 °C a konduktivity 266 µS/cm.



Obr. 5.5: Výřez ze situační mapy potenciálních krasových přítoků na Albeřickém potoce; úplná mapa s legendou je v příloze 6B – 6C této práce

5.1.1.3 Shrnutí výsledků měření

Zimní termometrie nejen prověřila a potvrdila výsledky termometrie jarní, ale navíc je rozšířila o nové poznatky:

- nejbližší okolí prvního z přítoků ve staničení 2594 m (2570 m během letní termometrie) se v zimě stalo faktickým počátkem potoka, který se zde objevoval na dně doposud suchého koryta (bod č. 2 ve výřezu z mapy na obr. 5.5)
- v oblasti změny teploty potoka bez viditelných přítoků (a tudíž v místě potenciálních vývěrů) ve staničení 2397 -2311 m, určené během letní termometrie, lokalizovala zimní termometrie se značnou přesností dva levostranné a dva pravostranné přítoky (bod č. 3 ve výřezu z mapy na obr. 5.5)
- v úseku výrazných přítoků u bývalého hotelu Vnoř byl zaměřen výrazný rozptýlený vývěr (1732 – 1727. m); (bod č. 4 ve výřezu z mapy na obr. 5.5)
- byl zdokumentován Vnořský potok s rozptýleným vývěrem do tůňky nad bývalým hotelem a s výrazným, tlakovým přítokem poblíž svého pramene (body č. 7, respektive 8 ve výřezu z mapy na obr. 5.5)

- byl opakovaně dokumentován přítok z údajné studánky pro č.p. 16, 22 a 23, Dolní Albeřice (bod č. 6 ve výřezu z mapy na obr. 5.5)

Popsané body nejsou úzce vázané na zmapované výskyty vápenců v oblasti, nicméně známé přírodní podmínky nevylučují jejich drenáž v těchto místech. Popsané objekty tedy lze považovat za potenciální vývěry krasových vod, které je však nutné ověřit stopovací zkouškou. Je také třeba mít na paměti, že Albeřické údolí je vyjma svých nejvyšších partií souvisle zastavěno a s velkou pravděpodobností zde může docházet k únikům odpadních vod. Některé přítoky již svým pouhým vzhledem připomínají odvodnění antropogenních objektů; jako příklad lze například uvést levostrannou trubku, s teplotou 7°C a konduktivitou 273 μS/cm. I přes svoje jinak význačné parametry proto nebyla uvedena mezi body potenciálního přítoku krasových vod.

5.1.2 DYLEŇSKÝ KRAS

Termometrie na území Dyleňského krasu a v jeho bezprostředním okolí proběhla dne 26. 1. 2017. Teplota vzduchu v den měření odpovídala -4°C a dlouhodobě (14 dní) se pohybovala pod bodem mrazu, s častými poklesy pod -10 °C, což vytvářelo optimální podmínky pro danou metodu.

Měření se uskutečnilo na několika tocích; jejich názvy a měřené úseky jsou uvedeny v následujícím přehledu (geografická poloha v příloze 7A této práce):

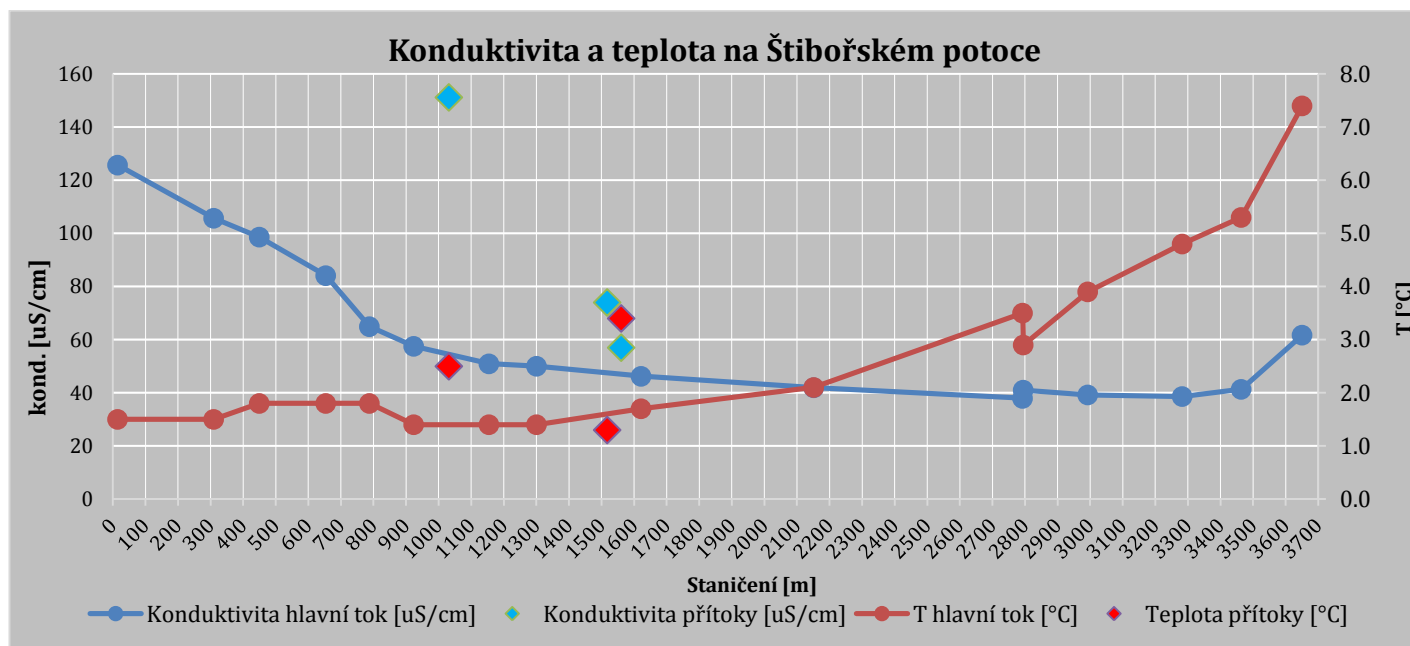
- Štibořský potok od křížení se železniční tratí č. 170 u Horního Žandova až po pramen;
- Žandovský potok od soutoku se Štibořským potokem po pramen;
- Kosí (Kosový) potok od soutoku s bezejmenným potokem tekoucím jihovýchodním směrem od obce Vysoká po pramennou oblast Tři prameny, ve výšce 695-700 m.n.m.;
- Luční potok od soutoku s Kosím potokem po pramen;
- Zelený potok od soutoku s Kosím potokem po pramen;
- bezejmenný potok, tekoucí jihovýchodním směrem od obce Vysoká, od svého soutoku s Kosím potokem po rozdělení na dva dílčí toky;
 - o levá větev bezejmenného potoka od soutoku s pravou větví po pramen;
 - o pravá větev od soutoku s levou větví do křížení se silničkou z obce vysoká k hájovně (cyklostezka 36-EV13)

Terénní měření pomohli autorovi uskutečnit školitel Jiří Bruthans (spodní část Kosího potoka, Zelený potok, potok od Vysoké) a Jaroslav Řihošek (střední a vyšší část Kosího potoka, Luční potok).

5.1.2.1 Štibořský potok

Štibořský potok pramení jižně od vrcholu Střední vrch (738 m n. m.), přibližně 2,3 km severoseverovýchodně od Dyleně (940 m n.m.). Zalesněným údolím směřuje severovýchodním směrem k okraji obce Horní Žandov, kde se do něj vlévá Žandovský potok. Dále protéká obcemi Horní a Dolní Žandov a dále teče severozápadním směrem až po soutok s Liptovským potokem u obce Tuřany. Vzhledem k jeho velké vzdálenosti od zájmové lokality byl počátek staničení umístěn na jižní okraj obce Horní Žandov, do místa křížení potoka s železniční tratí č.170 mezi Chebem a Lázněmi Kynžvart. Měření proběhlo na úseku od staničení 0 m po pramen potoka, ležícího ve staničení 3651 m (Obr. 5.6).

Graf průběhu teploty a konduktivity Štibořského potoka úzce koresponduje s charakterem území, jímž protéká. Potok počínal upraveným pramenem o odhadované vydatnosti 0,5 l/s, teplotě 7,4 °C a konduktivitě 62 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Po počátečním poklesu na 5,3 °C ve staničení 3464 m teplota nadále klesala kvazilineárně do staničení 2152 m; v rámci tohoto úseku ležela ve staničení 2795 m tůňka s teplotou vody 2,9 °C; o dva metry dále, ve staničení 2793 m, se teplota vody zvedala na 3,5 °C a poté nadále snižovala až na hodnotu 1,4 °C ve staničení 1301 m (poblíž osady Poustka), kde se teplota na několik set metrů ustálila; ve staničení 788 m teplota již dosáhla 1,8 °C a držela se na této hodnotě minimálně do staničení 450 m; v dalším bodě měření, jímž byl soutok se zaledněným Žandovským potokem, poklesla na 1,5 °C, a tuto teplotu si držela do ukončení měření ve staničení 15 m (u křížení potoka se železničním mostem). Odhadovaný průtok v tomto místě dosahoval 25 l/s.



Obr. 5.6: Průběh konduktivity a teploty na Štibořském potoce

Konduktivita Štibořského potoka vykazuje po prvotním poklesu z 62 na 39 $\mu\text{S}/\text{cm}$ celkově vzrůstající tendenci, která je úměrná obydlenosti území, jímž protéká. Zatímco ve staničení 2793 m, necelý kilometr od pramene, byla rovna 38 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ve staničení 1155 m dosáhla hodnoty 51 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a počínaje staničením 924 m (mezi osadami Poustka a Hubertus) počínala relativně prudce narůstat až na hodnotu 126 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve staničení 15 m. Vzhledem k úzké vazbě tohoto nárůstu konduktivity na lidská sídla, lze zvyšování konduktivity přisuzovat zejména přítoku znečištěných vod.

Na potoce byly podchyceny celkem 4 přítoky: dva levostranné bezejmenné potoky ve staničení 1561 m a 1518 m, pravostranný přítok z louky ve staničení 1032 m a Žandovský potok ve staničení 310 m (koryto bylo v místě soutoku zamrzlé – není vyznačen v grafu).

Přítoky ve staničení 1561 (dále L1) a 1518 (dále L2) ležely v blízkosti budovy (hájovny?) na konci cesty z osady Poustka. Dosahovaly teploty a konduktivity 3,4 °C a 57 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respektive 1,3 °C a 74 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a odhadovaného průtoku 3 l/s (každý zvlášť). Oba toky pramenily ve svahu bezejmenné kóty 764 m n.m., pod cestou mezi Brtnou a Liščí farmou ve výšce 645-665 m n.m a byly lemovány řadou pramenišť. Tok L1 byl změřen poblíž svého pramene (nebo prameniště – počátek toku ležel v hustém, neprostupném porostu mladých smrčků), s naměřenými hodnotami 3,4 °C, 49 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 0,5 l/s; níže po proudu leželo další prameniště o teplotě 6,8 °C, konduktivitě 57 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a odhadovaném průtoku 1,5 l/s. Měření přítoku L2 bylo ukončeno u jeho

pravostranného přítoku, zakončeného studánkou vybavenou betonovými skružemi, s vydatností okolo 0,5 l/s, teplotou 7,7 °C a konduktivitou 75 µS/cm, ve výšce 625 m n. m.; dohledání a změření pramene nebylo provedeno kvůli podmáčenému a nepřístupnému terénu.

Pravostranný přítok na louce ve staničení 1032 m měl povahu drobné stružky o průtoku okolo 0,5 l/s, teplotě 2,5 °C a konduktivitě 151 µS/cm. Posledním přítokem byl Žandovský potok, který byl v místě soutoku se Štibořským potokem zamrzlý; jeho popisu je věnována zvláštní kapitola.

Provedená měření ukazují, že na měřeném úseku Štibořského potoka se nevyskytují žádné výrazné pozitivní výkyvy v teplotě a konduktivitě svědčící o přítomnosti soustředěných vývěrů podzemní vody. Teplotní skok mezi staničením 2795 a 2793 m spíše svědčí o ochlazení a zadržení vody v málo průtočném místě, případně o přítoku povrchové, studené vody.

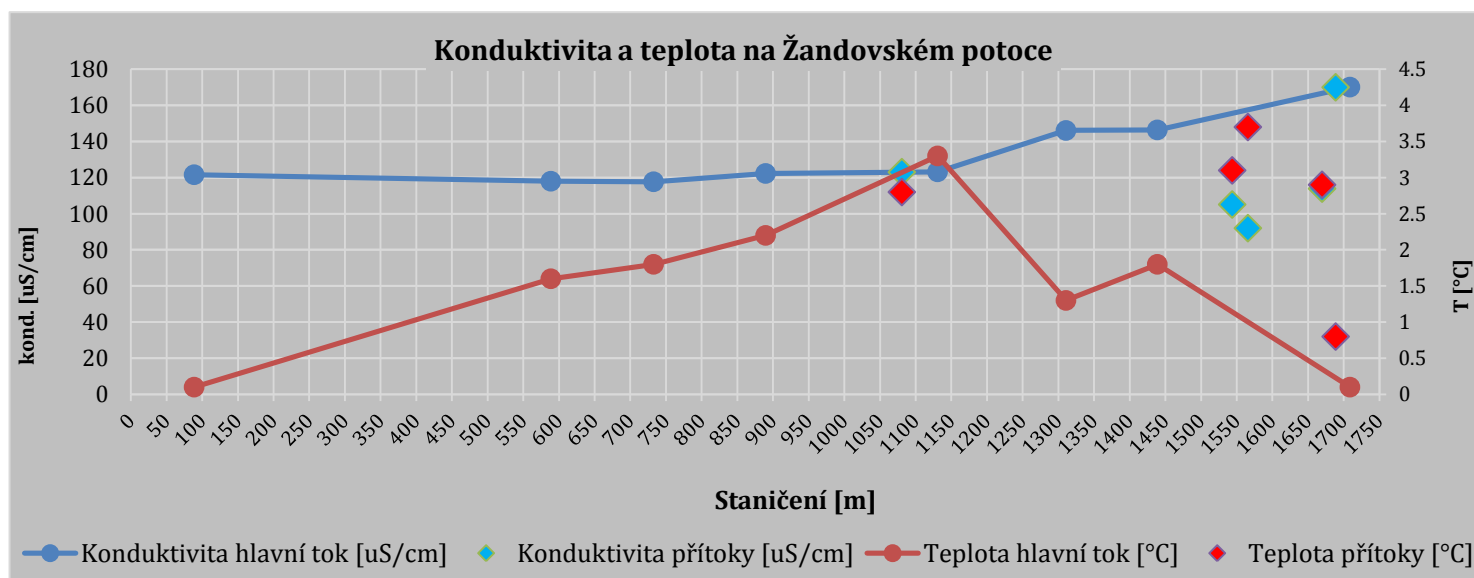
Boční levostranné přítoky L1 a L2 Štibořského potoka vykazují obvyklou teplotu (klesající úměrně vzdálenosti od pramene) a oproti oblasti pramenů kolem Kmotrova propadání nízkou konduktivitou. Mezi známým ponorem a prameny těchto toků navíc probíhá Štibořský potok s korytem v nižší nadmořské výšce, než jsou pramenné zóny těchto toků. Pravostranný boční přítok ve staničení 1032 m má rovněž oproti krasovým vodám nižší konduktivitu (který je pravděpodobně zvýšená protečením přes louku, na níž se v teplém období pase dobytek).

Závěrečné zvýšení teploty na 1,8 °C na úseku dlouhém minimálně 340 m poukazuje spíše na rozptýlený, rovnoměrný, avšak nepřilíš intenzivní zdroj – například působení slunečního záření (potok se v těchto místech dostává z lesa do otevřenější krajiny). Oproti tomu přírony podzemních vod mají spíše povahu bodového impulsu, s následným poklesem teploty směrem k výchozí hodnotě.

5.1.2.2 Žandovský potok

Žandovský potok pramení v závěru údolí mezi vrcholy Chebský vršek (679 m n.m.) a Stráž (738 m n.m.), severně od obce Vysoká. Koryto dále směřuje k severu, kde se na konci zalesněného území spojuje se Štibořským potokem.

Žandovský potok byl profilován v celé své délce, od pramenné oblasti ve staničení 1709 m po soutok se staničením 0 m. (Obr. 5.7)



Obr. 5.7: Průběh konduktivity a teploty na Žandovském potoce

Počátek Žandovského potoka ležel v pramenné oblasti, kde se v podmáčeném terénu postupně formoval budoucí hlavní tok. Většina podchycených přítoků ležela poblíž tohoto pramenného úseku a měla jen malou vydatnost. Patří mezi ně levostranný pramen ve staničení 1689 m s odhadovanou vydatností 0,3 l/s, konduktivitou 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a teplotou 0,87 °C, dále pravostranný pramen ve staničení 1670 m s vydatností přibližně 0,15 l/s, konduktivitou 114 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a teplotou 2,9 °C a nakonec přítok od upravené studánky pod silnicí mezi obcí Vysoká a Dolním Žandovem, který ústí do hlavního toku ve staničení 1566 m, s teplotou 3,7 °C, konduktivitou 92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a vydatností přibližně 0,3 l/s. Samotná studánka, upravená a vybavená přetokem, se nacházela přibližně 120 m výše proti proudu; voda na odtoku měla teplotu 8,1 °C a konduktivitu 104 $\mu\text{S}/\text{cm}$, vydatnost se pohybovala kolem 0,5 l/s. Přes tuto nevelkou vydatnost bylo mezi studánkou a soutokem s Žandovským potokem vyhloubené koryto, místy dosahující hloubky až 1,5 metru pod okolní terén, svědčící o periodických intenzivních průtocích.

Níže, pod přítokem od studánky se nacházelo pravostranné bažinaté prameniště s teplotou vody 3,1 °C, konduktivitou 105 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a odhadovaným průtokem 0,1 l/s. Teplota hlavního toku mezitím stoupla na 1,8 °C (1439. m) a průtok dosahoval přibližně 2,5 l/s; o 130 m dále se však potok ochladil na 1,3 °C a klesl i pozorovaný průtok (odhadem na 1 l/s). Při dalším měření ve staničení 1131 m konduktivita potoka klesla na 123 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (konduktivita kontinuálně klesala už od zformování toku), zatímco průtok zde stoupl na odhadovaných 2,5 l/s a s ním i teplota, dosahující až 3,3 °C; v okolí tohoto staničení nebyly nalezeny žádné povrchové přítoky (vyjma drobného pravostranného pramene ve staničení 1081 m s konduktivitou 123 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a teplotou 2,8 °C), pravděpodobně zde tedy dochází k přítokům podzemní vody. Jedná se o nejvyšší změřenou teplotu na toku, která směrem po proudu nadále klesala až po úplné zamrznutí koryta poblíž soutoku se Štibořským potokem; konduktivita byla naproti tomu víceméně stálá.

Z provedeného měření lze mimo pramennou oblast vyčlenit jediné místo možného významnějšího přítoku podzemních vod, a to mezi staničením 1311 a 1131 m, ve výšce 617 až 606 m n. m. Toto území leží přibližně v severovýchodním prodloužení vápencového pruhu (na kterém je vyvinut krasový ponor), který zde ovšem není vymapován; leží navíc ve značné vzdálenosti od ponoru (přibližně 2,7 km). Přes zvýšenou teplotu zde navíc byla změřena relativně nízká konduktivita.

Z podchycených pramenů je významná zejména upravená studánka pod silnicí mezi Vysokou a Dolním Žandovem. Přes nevelký průtok v době měření zřejmě příležitostně dosahuje velkých vydatností (předpoklad na základě hluboce zařízlého koryta směrem k potoku), zároveň se vzhledem k celkové úpravě a vybavení přepadem jedná o objekt s trvalým přítokem. Stejně jako zmiňovaný úsek zvýšené teploty v Žandovském potoce však dosahuje pro krasový pramen nízké konduktivity.

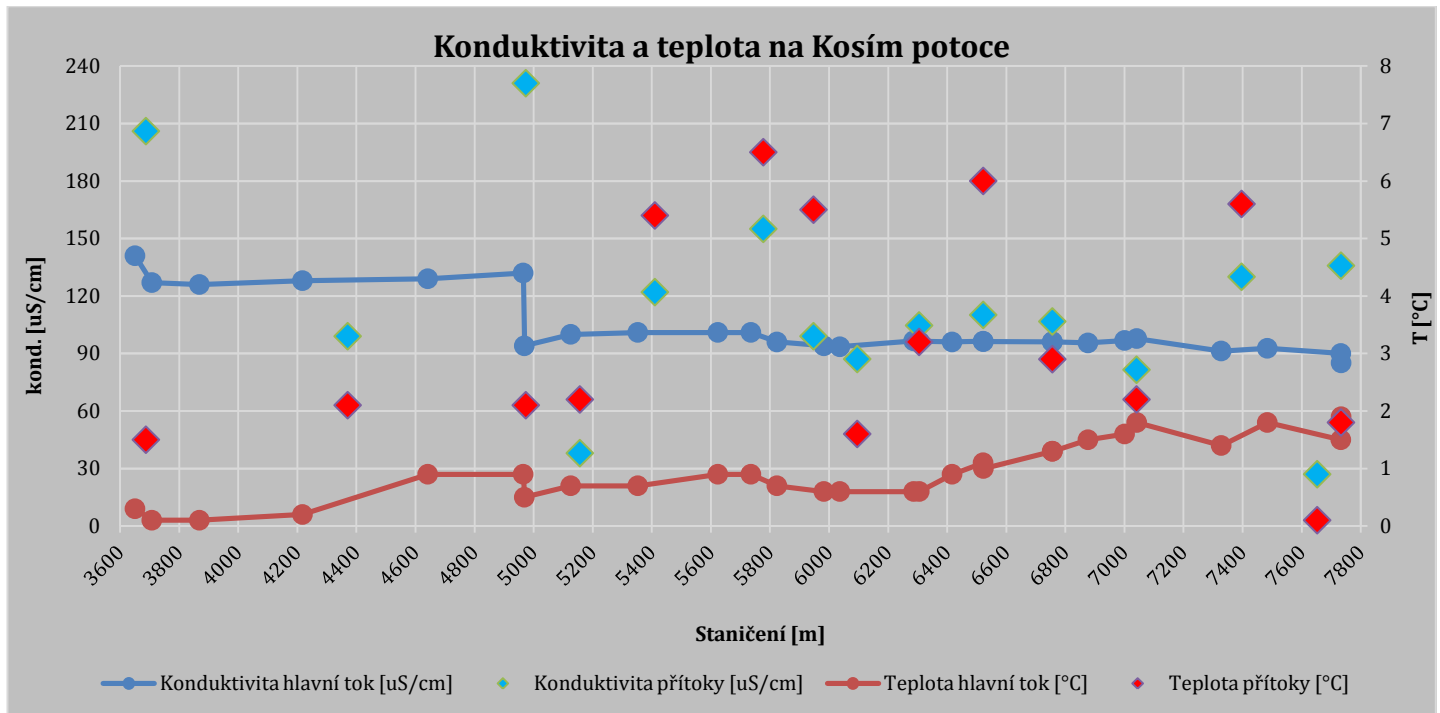
5.1.2.3. Kosí potok

Kosí (též Kosový) potok pramení na jihovýchodním úbočí hory Dyleň (940 m n. m.), ve výšce kolem 720 m n. m. (HEIS VÚV, 2019) respektive 825 m n. m. (ČÚZK, 2019). Protéká přírodním parkem Český les do Mariánských Lázní a dále směrem na jihovýchod k Černošínu, kde se pod obcí Třebel vlévá do Mže. V rámci zkoumaného území do něj ústí několik přítoků, jedním z nichž je i Zelený potok, na němž leží krasový ponor Kmotrovo propadání.

Vzhledem k délce potoka (celkem přes 46 km), řádově přesahující rozsah zájmové oblasti, je pro potřeby této práce zvolen počátek staničení v místě křížení potoka se silnicí mezi obcemi Krásné a Sekerské Chalupy. Měřený úsek dlouhý přes 4 km pak podle tohoto staničení leží mezi 3651. m

(pod soutokem s bezejmenným tokem, směřujícím od obce Vysoká) po staničení 7734 m (v nadmořské výšce okolo 700 m n. m na okraji pramenné oblasti Tři prameny) (Obr. 5.8).

Graf průběhu teploty a konduktivity lze rozdělit na několik úseků. První z nich je možné vyčlenit mezi staničením 7734 a 7042 m. Tento úsek, ležící nedaleko od pramene Kosího potoka ve výšce 696 až 681 m n. m., se vyznačoval především fluktuací teploty hlavního toku, která ovšem nebyla vázána na zdokumentované přítoky (které měly malý vliv i díky nízké vydatnosti – např. mezi staničením 7484 a 7328 m teplota toku klesla z 1,8 °C na 1,6 °C, přestože ve staničení 7397 m do toku ústil levostranný pramen s teplotou 5,6 °C, ale vydatností menší než 0,3 l/s, zatímco hlavní tok zde dosahoval odhadované vydatnosti 6-7 l/s). Ve staničení 7042 m teplota potoka opět (a naposledy) vystoupala na 1,8 °C. Zároveň v tomto bodě dosáhla lokálního maxima i konduktivita hlavního toku, a to s hodnotou 98 μS/cm (oproti počátečním 85 μS/cm).



Obr. 5.8: Průběh konduktivity a teploty na Kosím potoce

Další úsek toku je vymezen staničením 7042 a 6306 m (680-659 m n. m.). Došlo zde ke kvazilineárnímu poklesu teploty z 1,8 °C na 0,6 °C, zatímco průběh konduktivity si držel téměř konstantní hodnotu. Byly zaznamenány celkem tři boční prameny: první dva s malou vydatností (0,3 až 0,5 a 0,1 až 0,3l/s). Třetí, pravostranný pramen se nacházel ve staničení 6522 m (666 m n. m.), dosahoval výraznějšího průtoku 1 l/s, teploty 6°C a konduktivity 110 μS/cm. Teplota hlavního toku (který v těchto místech dosahoval odhadovaného průtoku 8 l/s) stoupla z 1 °C na 1,1 °C.

Třetí úsek v rámci podélného profilování Kosího potoka leží mezi staničením 6306 a 4974 m (659 – 630 m n. m.). Kosí potok postupně přibíral přítoky a prameny ve staničení 6305 m (pravostranný, 0,5-1 l/s, 3,2°C, 105 μS/cm), 6096 m (tento levostranný přítok s teplotou 1,6 °C, konduktivitou 87 μS/cm a odhadovaným průtokem 6 l/s je ústím Lučního potoka a bude rozebrán ve zvláštní kapitole), 5948 m (levostranný 0,2 l/s, 5,5 °C, 99 μS/cm) a 5778 m (pravostranný, 1 l/s, 6,5 °C, 155 μS/cm). Úměrně tomu rostl průtok hlavního toku, z odhadovaných 10 l/s ve staničení 6306 m na 10 až 15 l/s ve staničení 5624 m. Výrazněji se projevoval i vzestup teploty a konduktivity z 0,6 °C a 94 μS/cm v 5983. m na 0,9 °C a 101 μS/cm v 5736. m. Takto zvýšené hodnoty se držely na úseku minimálně 108 m dlouhém; poté teplota opět poklesla na 0,7 °C, zatímco konduktivita zůstala neměnná. Posledním přítokem na daném

úseku byl teplý (5,4°C), ale málo vydatný (odhadem 0,01 l/s) přítok ve staničení 5411 m s konduktivitou 122 µS/cm.

Závěrečný dokumentovaný úsek Kosího potoka začíná jeho soutokem se Zeleným potokem (vydatnost 5 až 10 l/s, teplota 2,1 °C, konduktivita 231 µS/cm) ve staničení 4969 m. Na Zeleném potoce je mimo jiné vyvinut krasový ponor Kmotrovo propadání, proto bude popsán ve zvláštní kapitole. Jeho soutokem s hlavním tokem došlo ke skokovému zvýšení konduktivity na hlavním toku z 94 µS/cm na 132 µS/cm a teploty z 0,5°C na 0,9°C. Poté se hlavní tok opět ochlazoval a mírně snižoval konduktivitu. Posledním dokumentovaným přítokem byl bezejmenný tok, tekoucí od obce Vysoká, ústící do Kosího potoka ve staničení 3688 m. Dosahoval teploty 1,5 °C, konduktivity 206 µS/cm a vydatnosti 5-10 l/s. Hlavní tok reaguje zvýšením teploty i konduktivity z 0,1°C a 127 µS/cm a 0,3 °C a 141 µS/cm.

Provedené měření ukazuje několik míst potenciální drenáže podzemních vod. Prvním z nich je území severovýchodně od oblasti s pomístním názvem Tři prameny (okolí bodu se staničením 7042 m na Kosím potoce). Fakticky se jedná o pramennou oblast; několik set metrů výše je zde podzemní voda jímána pro vodárenské účely (HEIS VÚV, 2019). Přestože část území leží v hypotetickém jihozápadním pokračování vápencového pruhu a nadmořské výšce obdobné nadmořské výšce ponoru vod v Kmotrově propadání (682 m n. m., stejné pro propadání i staničení 7042 m Kosího potoka) není zde pravděpodobné výrazné zastoupení krasových vod kvůli relativně nízké konduktivitě toku, jejíž drobné výkyvy nekorelují s relativně výraznými výkyvy teploty.

Další úsek výrazně zvýšené teploty se nacházel okolo staničení 5824-5624 m, s výrazným pravostranným pramenem o vydatnosti 1 l/s, teplotě 6,5 °C a konduktivitě 155 µS/cm. Konduktivita tohoto přítoku je nižší, než konduktivita krasových vod, nicméně je vyšší než pozadí a může zde tak docházet k mísení vod krasových a nekrasových.

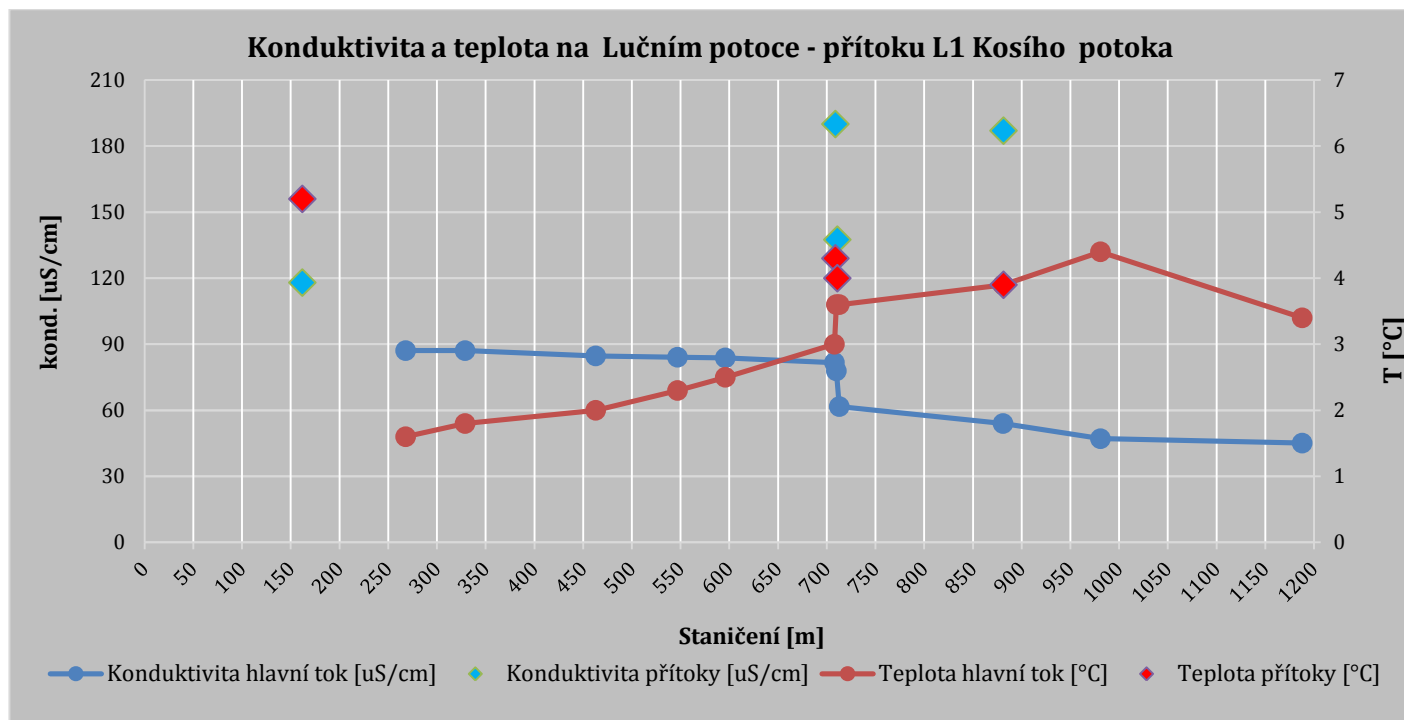
Nejvýraznějšími skoky v měřených parametrech jsou místa soutoku s levostrannými přítoky Zeleného potoka a bezejmenného potoka od Vysoké. Oba toky budou popsány v následujících kapitolách.

5.1.2.4 Luční potok

Luční potok je prvním (větším) pojmenovaným přítokem Kosího potoka. Pramení ve výšce přibližně 703 m n. m., necelý kilometr severozápadně od osady Háj, ve které o 50 výškových metrů níže ústí do Kosího potoka. Měřený úsek zahrnuje úsek od pramene ve staničení 1188 m po staničení 268 m od soutoku (Obr. 5.9).

Luční potok počíná v pramenní jímce, odkud vytéká ve vydatnosti přibližně 2 l/s, s teplotou 3,4°C a konduktivitou 45 µS/cm. Ve staničení 882 m (ve výšce 686 m n. m.) přibíral potok levostranný pramen s vysokou konduktivitou 187 µS/cm, ale nízkou vydatností okolo 0,2 l/s a teplotou 3,9 °C. Ve staničení 981 m dosahovala teplota až 4,4°C bez výrazné změny konduktivity a se zvýšením průtoku na 2-3 l/s. Níže se nacházely dva pravostranné přítoky ve staničení 711 m (odhadem 2 l/s, 4°C, 138 µS/cm) a 709 m (0,2 l/s, 4,3°C, 190 µS/cm, 679 m n. m.). Po soutoku s prvním z nich došlo k výraznějšímu vzestupu konduktivity, ale zároveň k nečekanému poklesu teploty hlavního toku; průtok Lučního potoka se zvýšil na 6 l/s. Posledním přítokem do toku je drobnější přítok ve staničení 162 m s teplotou 5,2 °C, konduktivitou 118 µS/cm a vydatností okolo 0,3 l/s.

Na uvedeném krátkém toku měření poukázalo na dva zajímavé objekty: prvním z nich je levostranný přítok ve staničení 882 m s konduktivitou 187 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Výškově však leží o 3 m výše než krasový ponor Kmotrovo propadání (o 3 m – 685,5 m n. m.), což z hydraulického hlediska neumožňuje proudění krasové vody do tohoto přítoku; podle geologické mapy se přítok navíc nachází o přibližně 120 m severněji, než je zdokumentovaný výskyt vápencového pruhu.



Obr. 5.9: Průběh konduktivity a teploty na Lučním potoce

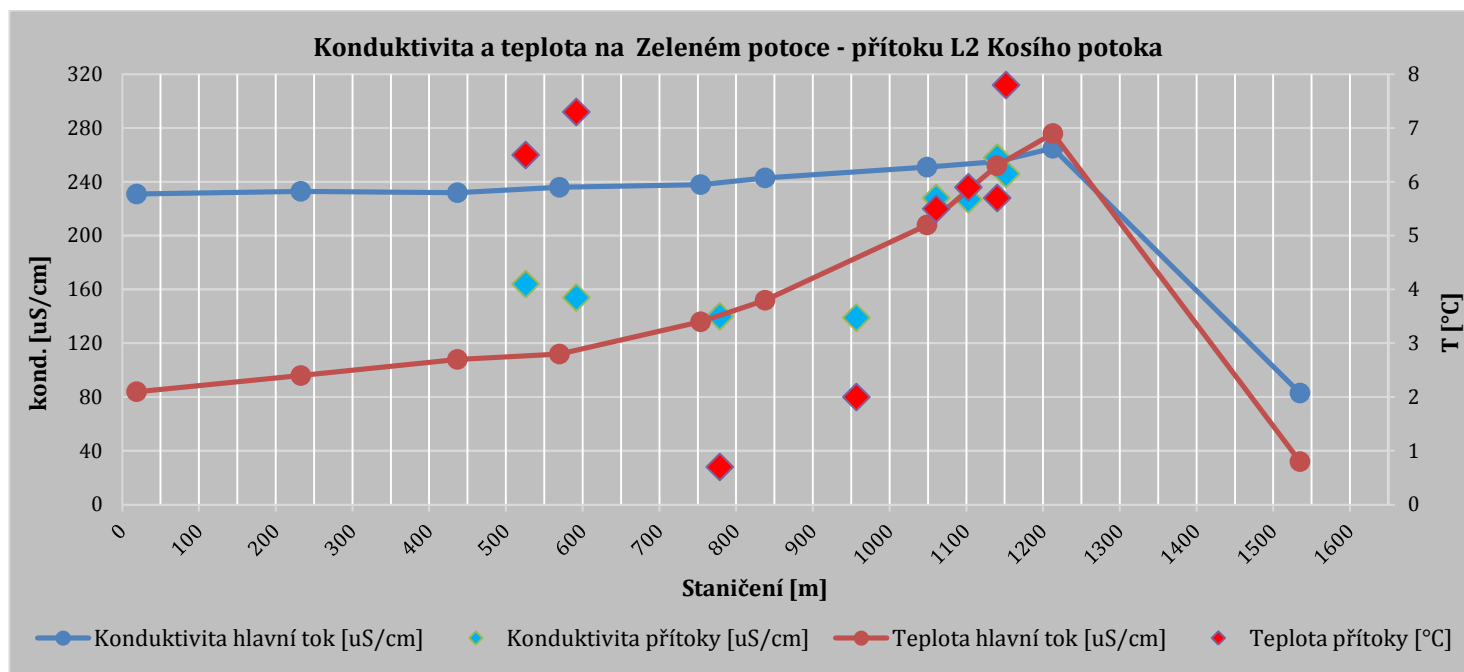
Dalším podobným místem je přítok ve staničení 709 m, který rovněž dosahoval vysoké konduktivity 190 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a leží přímo na vymapovaném pruhu mramorů a erlánů, Nachází se ve výšce 678,5 m n. m., přibližně 920 m od ponoru.

5.1.2.5 Zelený potok

Zelený potok pramení přibližně 1,5 km jihozápadně od obce Vysoká, v nadmořské výšce okolo 685 m (ČÚZK, 2019), respektive 698 m podle Průchové (2006). Potok podtéká silnici mezi obcí Vysoká a osadou Háj a ústí do Kosího potoka ve výšce 630 m n. m. Měřený úsek toku ležel mezi ponorem povrchových vod ve výšce 682 m a staničení 1535 m a jeho ústím do Kosového potoka ve staničení 0 m (Obr. 5.10).

Prvním měřeným bodem je místo ponoru povrchového toku ve staničení 1535 m (682 m n. m.), s průtokem kolem 0,3-0,5 l/s, teplotou 0,8 °C a konduktivitou 83 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tok se opět objevuje ve staničení 1213 m v nadmořské výšce 666 m n. m., s vydatností 2 l/s, konduktivitou 265 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a teplotou 6,9 °C. Následoval necelých 170 m dlouhý úsek, ve kterém byly zaznamenány celkem 3 přítoky s abnormálně vysokou konduktivitou: pravostranný ve staničení 1152 m (663 m n. m., 7,8 °C, 246 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2 l/s), pravostranný ve staničení 1141 m (662 m n. m., 5,7 °C, 258 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2 až 4 l/s) a levostranný 1061 m (658 m n. m., 5,5 °C, 228 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2 l/s ; pramen tohoto přítoku ležel 44 m proti proudu přítoku, ve výšce 660 m n. m. a dosahoval teploty 5,9 °C, konduktivity 227 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a průtoku 0,5 l/s).

Průtok hlavního toku po soutoku s těmito přítoky stoupl na odhadovaných 5 až 10 l/s, konduktivita dosahovala 251 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a teplota 5,2 $^{\circ}\text{C}$. Další prameny již na tok neměly velký vliv zejména díky své nízké vydatnosti (0,1 l/s ve staničení 957 m, 0,05 l/s ve staničení 779 m, 0,1 l/s ve staničení 595 m a 0,01 l/s ve staničení 526 m). Hlavní tok se proto postupně ochlazoval až na 2,1 $^{\circ}\text{C}$ na soutoku s Kosím potokem. Konduktivita klesla na 231 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Obr. 5.10: Průběh konduktivity a teploty na Zeleném potoce

Provedené měření podchytilo krasový ponor (staničení 1535 m, výška 682 m n. m.) i krasový vývěr, ležící o 300 m dále, které je místem nového počátku hlavního toku. Další prameny (mezi staničením 1152 a 1061 m, ve výškovém rozpětí 663 až 658 m n. m.), vzhledem ke své vysoké konduktivitě a blízkosti známého vývěru, jsou zřejmě rovněž krasového původu.

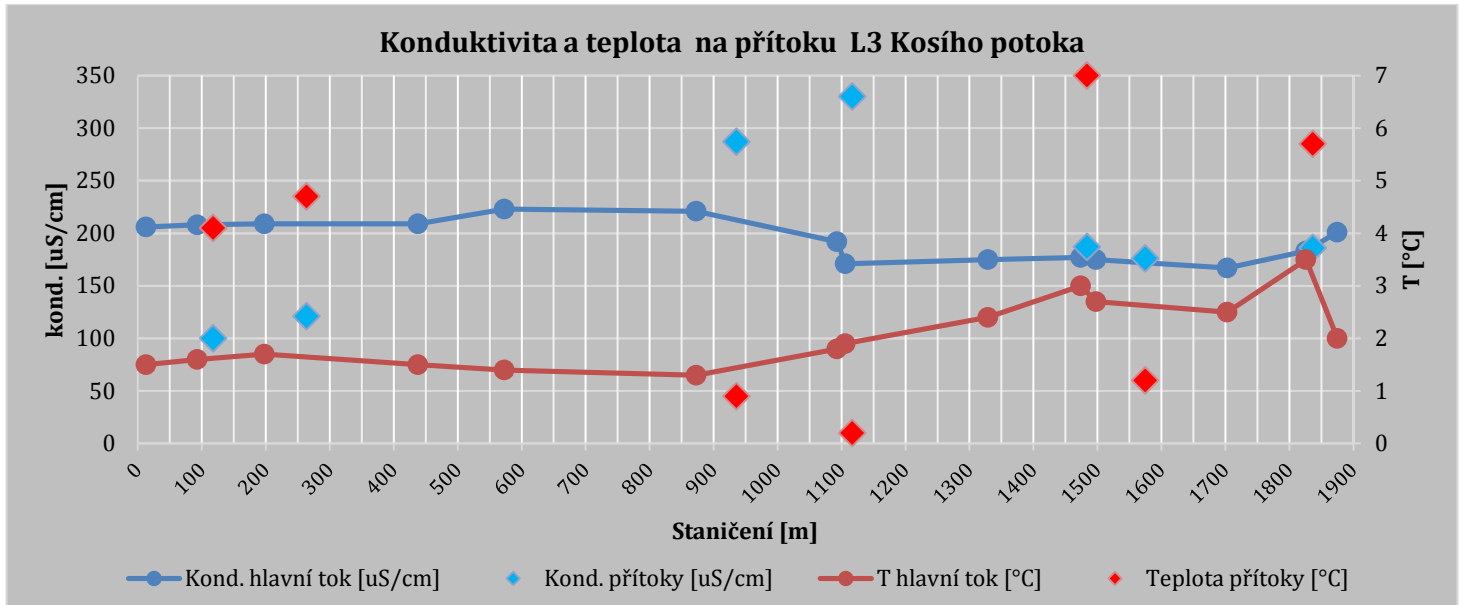
5.1.2.6 Potok od Vysoké

Posledním zdokumentovaným přítokem Kosího potoka je bezejmenný potok (dále L3 – jedná se o třetí levostranný přítok po Lučním a Zeleném potoce), vzniklý spojením dvou menších toků, které oba pramení jižně až jihovýchodně od obce Vysoká. V rámci zjednodušení pro účely této práce je za pokračování hlavního toku považována pravá větev; levá větev, pramenící uvnitř obce Vysoká, je považována za levostranný přítok.

Takto definovaný hlavní tok byl měřen od staničení 1875 m (výška 658 m n. m., 45 m proti proudu od křížení toku s cestou mezi obcí Vysoká a osadou Háj) po soutok s Kosím potokem (staničení 0 m)(Obr. 5.11).

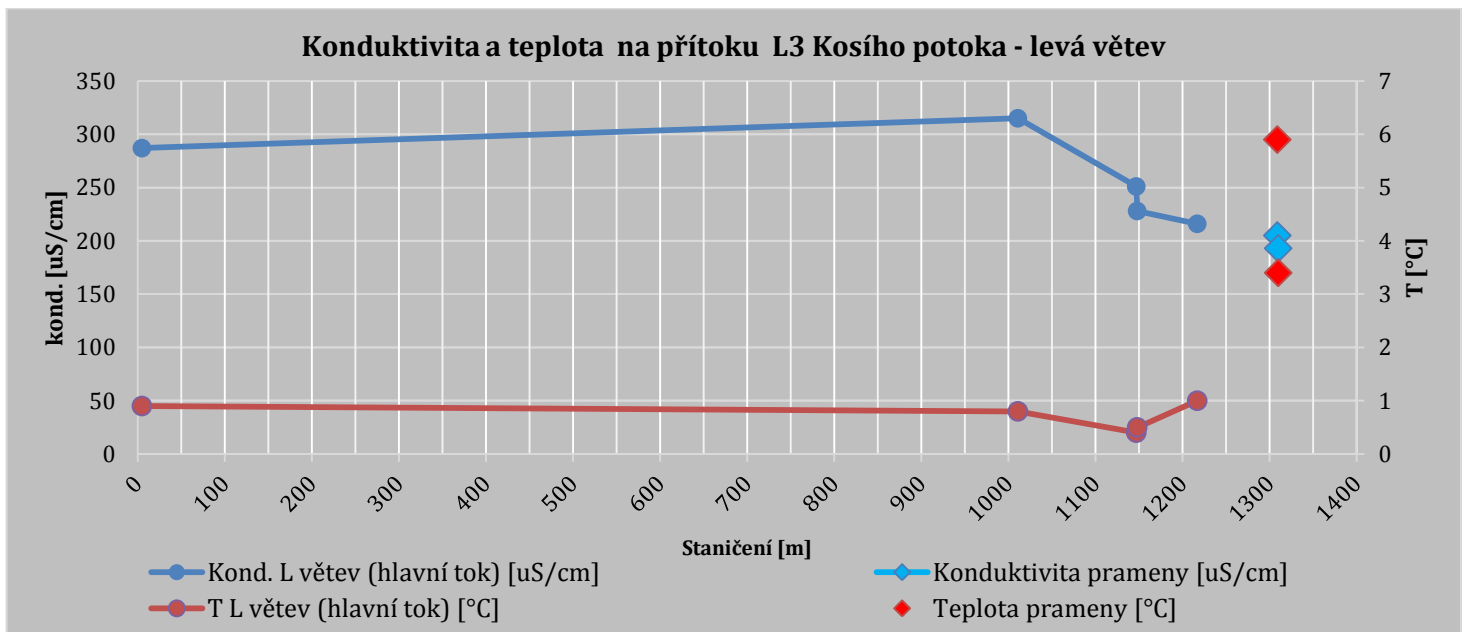
Měření posledního z dokumentovaných přítoků započalo ve staničení 1875 m, v němž potok L3 dosahoval průtoku přibližně 0,2 l/s, teploty 2 $^{\circ}\text{C}$ a konduktivity 201 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ve staničení 1837 m, u cesty mezi Vysokou a osadou Háj, ležel pravostranný pramen s vydatností 1 až 2 l/s, teplotou 5,7 $^{\circ}\text{C}$ a konduktivitou 186 $\mu\text{S}/\text{cm}$, který zvyšoval teplotu hlavního toku na 3,5 $^{\circ}\text{C}$. Mezi staničením 1703 a 1474 m dochází ke zvýšení teploty toku z 2,5 $^{\circ}\text{C}$ na 3 $^{\circ}\text{C}$ při zvýšení průtoku z 1 až 2 l/s na 2-3 l/s. Tomu napomáhají pravostranný přítok ve staničení 1575 m (1,2 $^{\circ}\text{C}$,

176 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 0,2 l/s) a levostranný pramen ve staničení 1484 m (7 $^{\circ}\text{C}$, 187 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 0,3 l/s), jejichž vydatnost není dostatečná na popisované zvýšení průtoku (a proto zde lze předpokládat přítomnost rozptýlených přítoků).



Obr. 5.11: Průběh konduktivity a teploty na přítoku L3 Kosího potoka

Ve staničení 1117 m do toku ústí přítok z vodní nádrže, dosahující konduktivity až 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$, teploty 0,2 $^{\circ}\text{C}$ a průtoku 0,5 l/s, což spolu s vyústěním levostranného přítoku ve staničení 936 m (levá větev od obce Vysoká) s konduktivitou 287 $\mu\text{S}/\text{cm}$, teplotou 0,9 $^{\circ}\text{C}$ a průtokem 2 až 3 l/s způsobilo vzestup konduktivity a vydatnosti v hlavním toku až na 221 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 5 l/s, zatímco teplota klesla na 1,3 $^{\circ}\text{C}$. Během dalších 700 m průtok i teplota přítoku L3 pozvolna vzrostla na 7 l/s a 1,7 $^{\circ}\text{C}$, zatímco konduktivita klesla na 209 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Jediným podchyceným přítokem byl přítok drobný pravostranný pramen s vydatností 0,1 l/s, teplotou 4,7 $^{\circ}\text{C}$ a konduktivitou 121 $\mu\text{S}/\text{cm}$. V závěrečném úseku ve staničení 118 m do hlavního toku ústí další pravostranný pramen s vydatností 0,1 l/s, teplotou 4,1 $^{\circ}\text{C}$ a konduktivitou 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Před soutokem s Kosím potokem dosahuje přítok L3 vydatnosti 5 až 10 l/s, teploty 1,5 $^{\circ}\text{C}$ a konduktivity 206 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



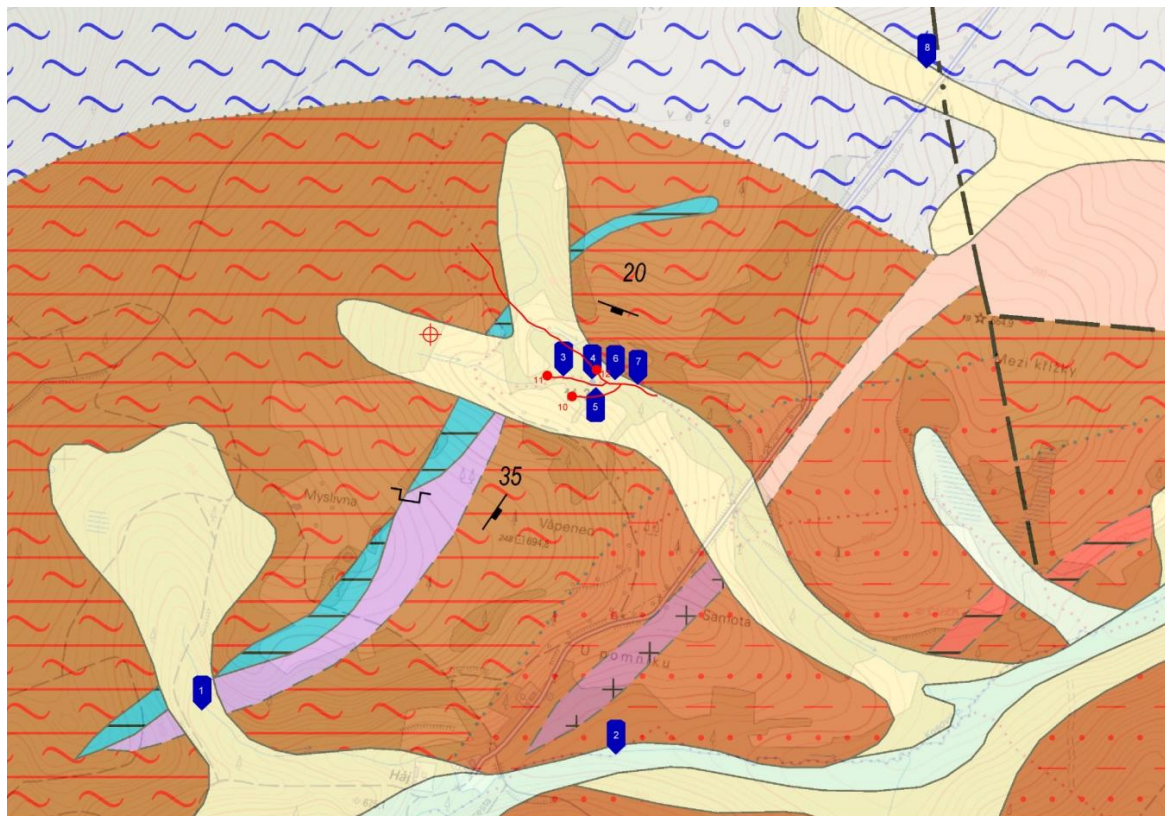
Obr. 5.12: Průběh konduktivity a teploty na levé větvi potoka od Vysoké

Levá větev přítoku L3, popsaná jako levostranný přítok ve staničení 936 m, nebyla měřena po celé své délce. Vody v tomto toku prochází obcí, a proto je zde předpoklad antropogenního znečištění a tudíž zvýšené konduktivity. Přítok byl změřen u svých pramenů (východně od budovy č.p. 65, Vysoká) ve výšce 672 m n. m.; levý pramen dosahoval průtoku 0,3 l/s, teploty 5,7 °C a konduktivity 186 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pravý měl větší vydatnost odhadnutou na 0,5 l/s a nižší teplotu i konduktivitu – 3,4 °C a 193 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Při měření toku na kraji obce Vysoká, poblíž křížení s cestou k osadě Háj ve výšce 656 m n. m., potok dosahoval průtoku 1 až 2 l/s, teploty 0,8 °C a konduktivity 315 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Další měření se uskutečnilo u soutoku s přítokem L3 Kosího potoka, kde průtok přítoku od Vysoké vzrostl na 2-3 l/s, konduktivita klesla na 287 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a teplota se zvýšila na 0,9 °C (Obr. 5.12).

Provedená termometrie poukazuje, že minimálně část vydatnosti toku může být krasového původu. Voda dosahovala zvýšené konduktivity; prameny navíc ležely v nadmořské výšce 672 m n. m. (L větev) a 658 m n. m. (P větev) v prodloužení zmapovaného karbonátového pruhu. Stejně tak však může být (a pravděpodobně je) zvýšená konduktivita způsobena antropogenním znečištěním z obce Vysoká, zatímco karbonátový pruh v těchto místech již nemusí pokračovat. Určení povahy zdroje toku a jeho přítoků je proto v tomto případě nejednoznačné.

5.1.2.7 *Shrnutí výsledků měření*

Přítoky krasových vod lze tedy očekávat v místech přítoků se zvýšenou konduktivitou (odpovídající pramenům v blízkosti ponoru, tedy > 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a s nadmořskou výškou nepřevyšující 682 m n. m. Těmto kritériím odpovídají prameny a přítoky na Zeleném potoce (staničení 1152 – 1061 m) a přítok ve staničení 709 na Lučním potoce, případně i přítok ve staničení 5778 m na Kosím potoce (jehož konduktivita je sice nižší – 155 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nicméně oproti pozadí stejně poměrně vysoká), stejně jako vyšší části potoka od Vysoké (staničení 1875 m a výše).



Obr. 5.13: *Vyznačení potenciálních krasových přítoků na výřezu z geologické mapy; úplná mapa s legendou je přílohou č. 7B a 7C této práce*

5.1.3 JAVOŘÍČSKO - MLADEČSKÝ KRAS

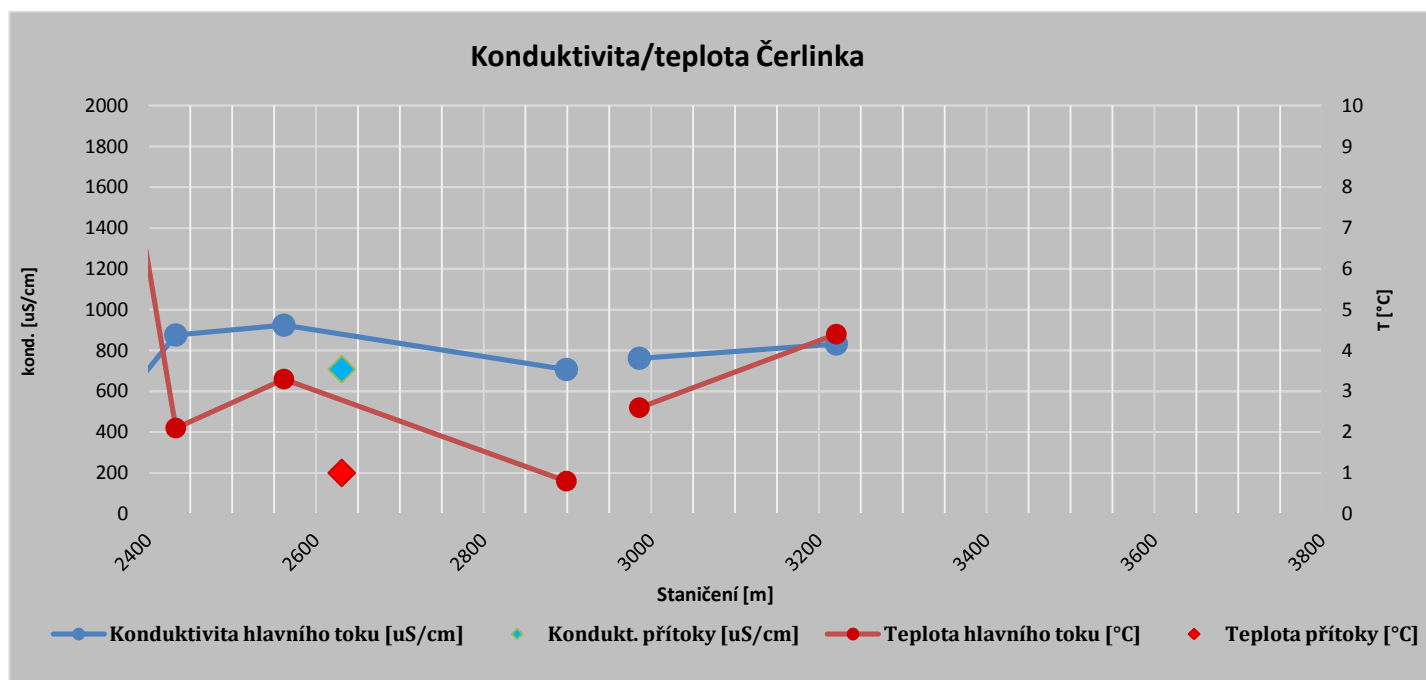
Podélné profilování teploty a konduktivity (dále termometrie) proběhlo v oblasti východního okraje karbonátového pruhu na tocích východně od řeky Moravy dne 17. 1. 2017. Konkrétní úseky zkoumaných toků jsou shrnuty v následujícím přehledu (obr. 5.17):

- potok Čerlinka vč. přítoků, od soutoku s Červenkou až k jeho počátku při hranici JÚ Čerlinka;
- Benkovský potok vč. přítoků, od křížení se silnicí 447 mezi Litovlí a Pňovicemi po křížení se silnicí 4. třídy mezi obcemi Králová a Benkov
- Třetí voda (Třídvorka) mezi jejím oddělením od Oskavy po soutok s Benkovským potokem (u silnice 447)

Termometrie provedená v dané oblasti, proběhla v optimálních podmínkách pro tuto metodu – v den měření (17. 1. 2017) se denní teploty pohybovaly kolem -7°C a po dobu více než týdne před dnem měření teploty nepřesahovaly bod mrazu a často klesaly pod -10°C . Terénní měření pomohli autorovi uskutečnit školitel Jiří Bruthans (tok Čerlinka) a Martin Slavík (Benkovský potok do obce Renoty, Třetí voda).

5.1.3.1 Čerlinka a přítoky

Vodní tok Čerlinka pramení v oblasti JÚ Čerlinka, protéká obcí Červenka a ústí do Třídvorky, okolo 1 km východně od Uničovského předměstí Litovle, poblíž silnice 447 do Pňovic. Nulové staničení leželo na soutoku s Třídvorkou, měřený úsek v sobě zahrnoval staničení 179 m až 3403 m.

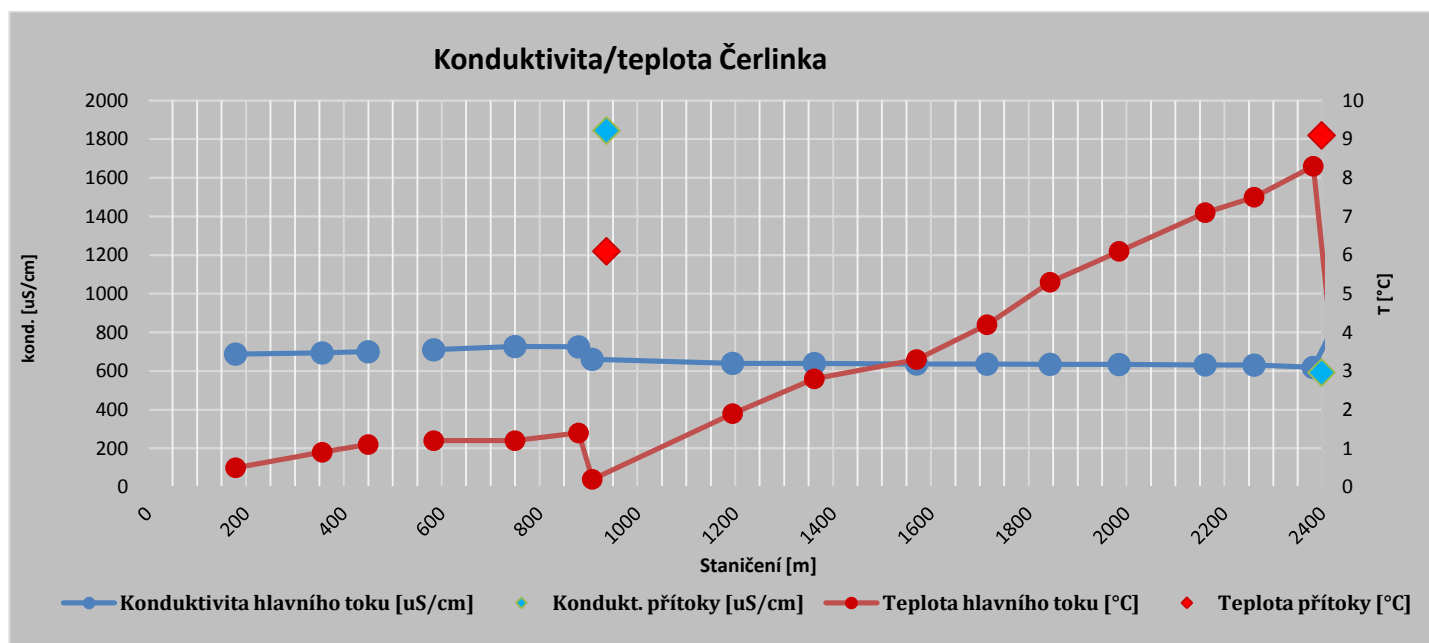


Obr. 5.14: Průběh konduktivity a teploty na Čerlince, staničení 2400 – 3800 m

Od začátku profilovaného rozsahu koryta (na suchém, příp. zamrzlém pravostranném přítoku ve staničení 3753 m) bylo koryto Čerlinky suché nebo zamrzlé. První voda se objevila ve staničení 3221 m a dosahovala teploty $4,4^{\circ}\text{C}$ (jedná se o druhou nejvyšší hodnotu teploty na Čerlince) a konduktivity $832\ \mu\text{S}/\text{cm}$. Takto vzniklý tok se postupně ochlazoval, ve staničení 2930 m zmizel

úplně; další voda se objevila až na 2899. m a dosahovala 0,8°C a 707 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ve staničení 2631 m do Čerlinky přitékal drobný levostranný přítok o teplotě 1°C a konduktivitě 708 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a odhadovaném průtoku 0,05 l/s; další měření hlavního toku dosáhlo teploty 3,3 °C, konduktivity 824 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a průtoku přibližně 0,3 – 1 l/s. Po menším poklesu teploty na 2,1°C a konduktivity na 876 $\mu\text{S}/\text{cm}$ do toku ústila na 2399. m z pravé strany drenáž o teplotě 9,1 °C a konduktivitě 593 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Obr. 5.14)

Po soutoku s vodou z drenáže se teplota vody v hlavním toku výrazně zvýšila (na 8,3°C na 2382. m) za současného poklesu konduktivity na 619 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mezi staničením 2382 m a 908 m teplota téměř lineárně klesala až na hodnotu 0,8 °C, zatímco konduktivita velmi mírně rostla z 619 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na 661 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ve staničení 937 m do koryta ústil drobný levostranný přítok odpadní vody o teplotě 6,1°C a konduktivitě 1845 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Níže, mezi 908. a 880. m toku došlo k výraznějšímu oteplení vody z 0,2 °C na 1,4 °C a vzrůstu konduktivity z 661 na 725 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Od tohoto bodu konduktivita mírně klesala až k hodnotě 688 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve staničení 356 m, stejně jako teplota, která se snížila na 0,5°C. Mezi 510. a 450. m (kde byl následný průtok odhadována 1,5 l/s) bylo koryto zamrzlé. Ve staničení 510 m Čerlinka přibírá pravostranný přítok od továrny, který je zamrzlý po celé své délce, stejně jako mezi staničením 179 m a soutokem s Třídvorkou (staničení 0).



Obr. 5.15: Průběh konduktivity a teploty na Čerlince, staničení 0- 2400 m

Na základě popsaného průběhu teploty a konduktivity lze na toku Čerlinka prokázat jediný výrazný přítok podzemní vody, a to přítok z drenáže ve staničení 2399 m. Kromě velmi vysoké teploty a nízké konduktivity je přítok zajímavý i značnou vydatností, která způsobuje silné ovlivnění hlavního toku (výrazné zvýšení teploty a dlouhý úsek hlavního toku, který je přítokem ovlivněn; průtok hlavního toku pod drenáží je odhadován na 10 l/s.) Dle chemického rozboru dosahuje podobných koncentrací vápníku a hydrogenuhličitanu, jako vody z jímacích vrtů Čerlinky 2 a 4 a Řimických vyvěraček. Jedná se tak s velkou pravděpodobností o vodu přitékající z krasového kolektoru.

Další prokázané přítoky (staničení 2631 a 937 m) nemají na průběh teploty a konduktivity Čerlinky výrazný vliv. Na toku se nicméně vyskytuje několik bodů s výraznou změnou teploty a/nebo konduktivity, které naznačují, že v daných místech lze očekávat skrytý, příp. i rozptýlený přítok. Jedná se o staničení 3221 m, kde se po více než půlkilometru suchého nebo zamrzlého koryta vyskytla voda o teplotě 4,4°C, dále o úsek mezi 2899. a 2562. m, kde došlo k nárůstu

teploty o 2,5°C. Tyto úseky leží uvnitř, resp. poblíž JÚ Čerlinka, kde byly dříve prokázány přírony krasové vody; proto není vyloučeno, že tyto výkyvy jsou způsobené krasovými vodami.

Poslední výraznější skok v teplotě (a méně výrazný v konduktivitě) ležel mezi staničením 908 a 880 m. Poblíž tohoto úseku byl ve staničení 937 m popsán drobný přítok odpadní vody s vysokou teplotou 6,1°C a velmi vysokou konduktivitou 1845 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ale s nízkou vydatností do 0,5 l/s. Zmíněné oteplení níže po proudu může způsobovat obdobný, skrytý nebo rozptýlený přítok znečištěné vody z blízké ČOV, umístěné (stejně jako popsany přítok s vysokou konduktivitou) na levém břehu Čerlinky.

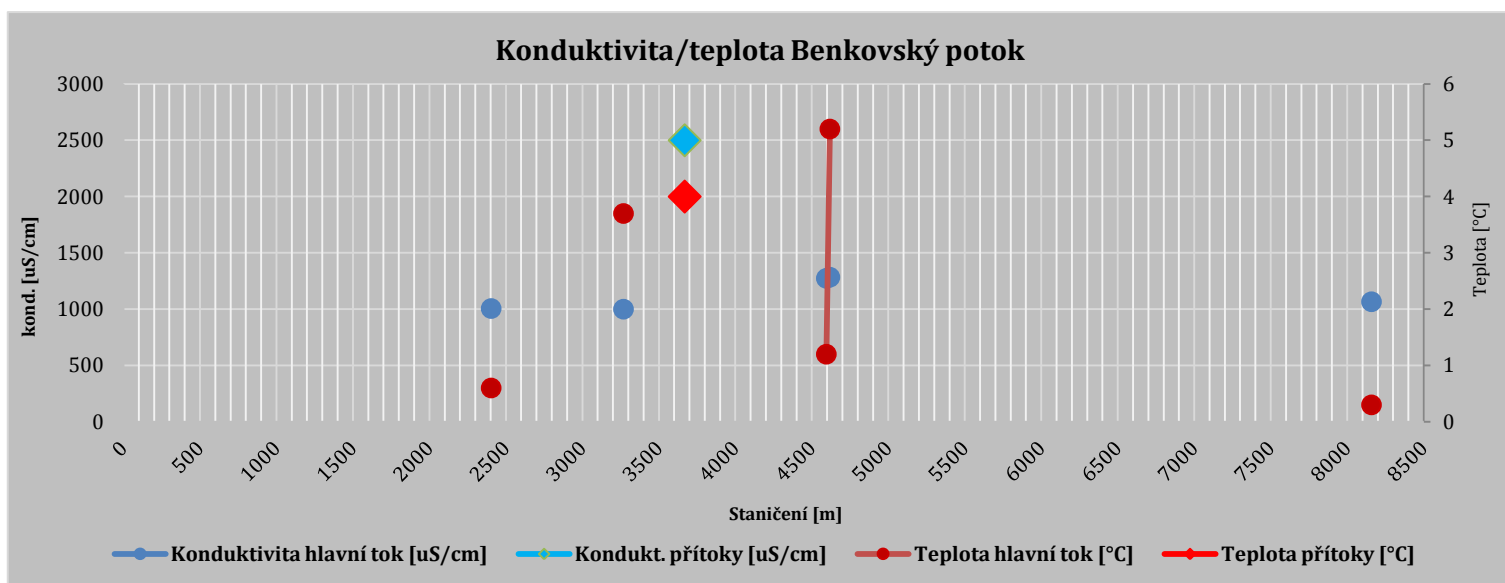
Maximální průtok byl na Čerlince 2 zaznamenán po soutoky s drenáží, a dosahoval až 10 l/s; dále po proudu průtok opět klesal; v místě bezejmenného levostranného přítoku ve staničení 510 m bylo koryto zamrzlé. O 60 m dále se sice opět objevila tekoucí voda, nicméně odhadovaný průtok se pohyboval jen kolem 1,5 l/s.

5.1.3.2 Benkovský potok

Pramen Benkovského potoka leží západně-jihozápadně od Hlivice, poblíž silnice spojující Úsov a Královou. Protéká zemědělskou krajinou mezi obcemi Hlivice, Králová, Benkov, Střelice, Renoty, Tři Dvory a Dětrichov. Východně od obce Tři Dvory a jižně od Dětrichova vstupuje do CHKO Litovelské Pomoraví; zde, poblíž křížení se silnicí č. 447 přibírá Třetí vodu a dále protéká přes CHKO až ke svému ústí do řeky Moravy západně od obce Březce.

Měřený úsek potoka sahal od křížení potoka se silnicí mezi Benkovem a Královou přes obce Renoty a Střelice až k soutoku s Třídworkou (což je zároveň počátečním bodem použitého staničení). Volba měřené části toku vycházela z modelu proudění podzemní vody Šedy et al. (2013), který v tomto úseku naznačoval drenáž podložních hornin do koryta Benkovského potoka.

Celkový charakter měřeného úseku byl poměrně jednotvárný a lze ho popsat jako souvisle zaledněný, případně suchý, místy s krátkými rozmrzlými úseky, způsobenými zpravidla přítoky teplé odpadní vody s vysokou konduktivitou. (Obr. 5.16)



Obr. 5.16: Průběh konduktivity a teploty na Benkovském potoce

Od nejzazšího měřeného úseku se staničením 8449 m bylo koryto Benkovského potoka zamrzlé až k 8160. m, kde byl zaledněný úsek bodově (v místě křížení se silnicí mezi Benkovem a Královou) přerušen rozmrzlou vodou o teplotě 0,3 °C a konduktivitě 1066 µS/cm. Dále zalednění pokračovalo přes pravostranné ústí suchého koryta potoku Písečná na 6944. metru až k nejteplejšímu měřenému bodu na celém toku, a to ve staničení 4619 m s teplotou 5,2°C a konduktivitou 1284 µS/cm. Úsek roztáté vody pokračoval až do 4596. m, kde bylo koryto opět zaledněné. Ve staničení 4528 m zmizel i led a dále pokračovalo suché koryto až ke kostelu v obci Renoty (4089. m).

Další pokračování Benkovského potoka bylo z větší části zaledněné, místy zcela suché. Ve staničení 3693. se napojuje koryto Doubravského potoka (popsán dále); ve staničení 3677 m se objevil led, lokálně přerušovaný levostranným přítokem močůvky o teplotě 4°C a konduktivitě 2500 µS/cm. Zbytek popisovaného úseku lze shrnout jako zaledněný, s bodovými výskyty rozmrzlé vody ve staničení 3270 m, kde se nacházelo vyústění kanalizace a bobří hráz, teplota vody zde dosahovala 3,7 °C a 1000 µS/cm, a ve staničení 2405 m, kde se poblíž mostu na silnici u letiště Dětrichov nacházel nevelký úsek roztáté vody o teplotě 0,3°C a konduktivitě 1006 µS/cm. Další pokračování koryta až ke křížení potoka se silnicí 443 bylo suché, včetně suchého levostranného přítoku na 1116. m toku.

Provedená termometrie ukazuje, že oproti předpokladům se na Benkovském potoce nenachází drenáž podzemních vod a že reálná situace je opačná – voda na většině délky měřeného úseku chybí. Občasné výskyty tekoucí vody jsou prostorově málo rozsáhlé a jsou vázány zpravidla na vyústění odpadních vod; zpravidla představovaly statické tůně bez viditelného pohybu vody, proto byl odhad průtoku v potoce v podstatě nemožný. Nejteplejší bod dokumentovaný na toku (4619. m; 5,2 °C) je následován 24 m dlouhým úsekem roztáté vody. Vzhledem k vysoké konduktivitě 1284 µS/cm se může jednat o vodu z meliorací z okolních polí. Žádný potenciální krasový přítok nebyl na Benkovském potoce pozorován.

5.1.3.3 Doubravský potok

Doubravský potok pramení na severovýchodním okraji obce Červenka (poblíž nádraží), protéká pod železniční tratí a pokračuje podél silnice 449 mezi Litovlí a Střelicemi, kterou po přibližně 1,2 km toku kříží a směřuje k obci Renoty, kde se vlévá do Benkovského potoka (obr. 5.17).

Nulové staničení bylo opět zvoleno v místě soutoku s tokem vyššího řádu, v tomto případě s Benkovským potokem, a obsáhla úsek do staničení 1260 m (poblíž silnice č. 449 - pravá strana při směru na Střelice). Počínaje kachním hnízdištěm, nacházejícím se v tomto staničení, s teplotou vody 4,8 °C a konduktivitou 920 µS/cm, se tok ochlazoval na 2,7 °C při 880 µS/cm a průtoku odhadnutým na 5 l/s na 1195. m a poté v místě levostranného přítoku ve staničení 960 m úplně zamrzal. Další pokračování až po soutok s Benkovským potokem bylo zamrzlé, případně zcela suché.

Vzhledem k průběhu teploty a konduktivity není na Doubravském potoce předpokládána významná drenáž krasové podzemní vody. Nezaledněné úseky potoka jsou pravděpodobně vázány na vody z meliorací, případně na odtoky povrchové (srážkové) vody z blízké silnice.

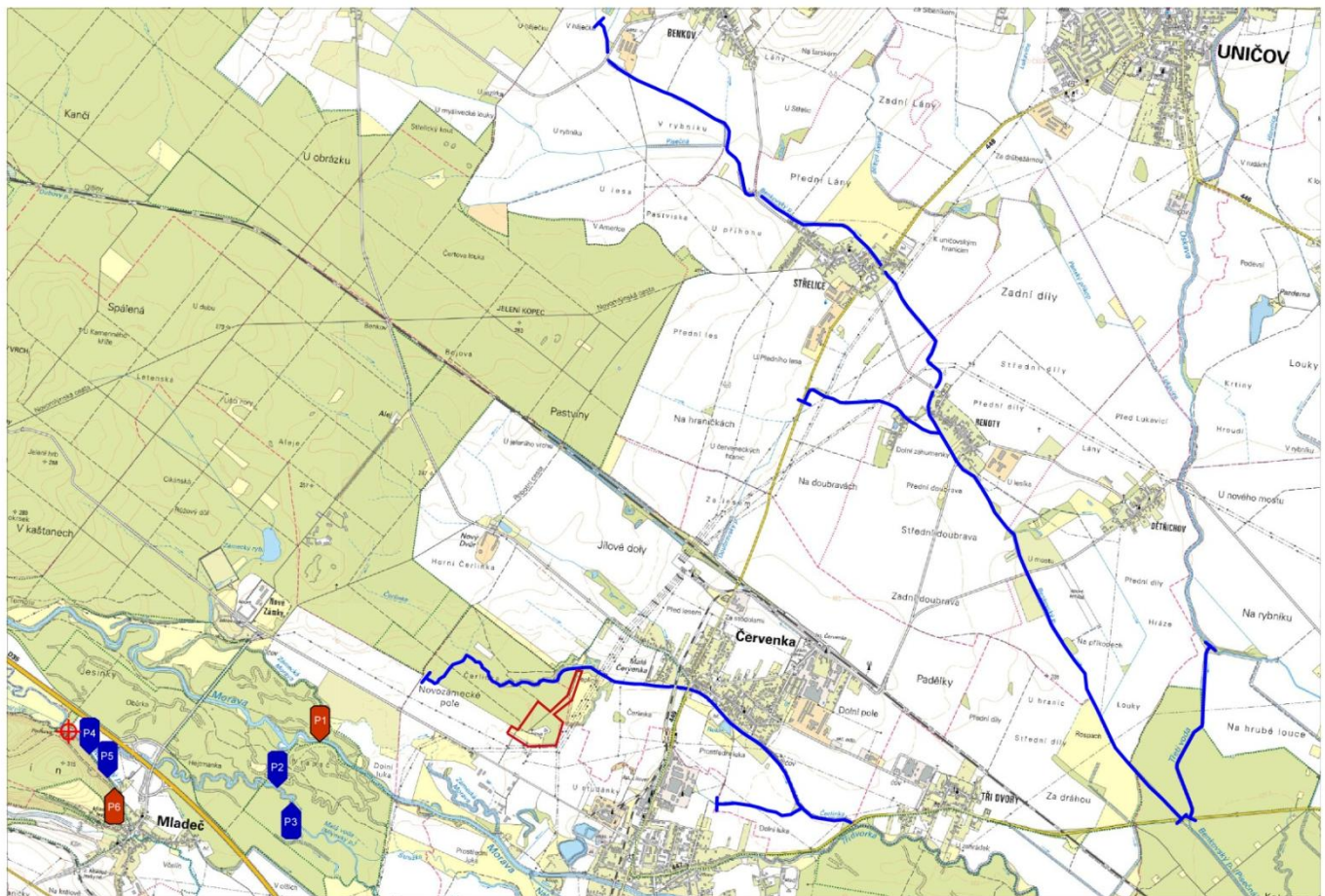
5.1.3.4 Třetí voda

Posledním měřeným tokem v oblasti východně od Mladečského krasu byl tok Třetí voda, oddělující se od řeky Oskavy spojující se s Benkovským potokem. Měření proběhlo po celé délce toku.






Voda dosahovala teploty 0,2°C a konduktivity 292 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na prvních 15 m po oddělení od Oskavy; dále bylo koryto po celé své délce zamrzlé. Drenáž podzemní vody zde proto není předpokládána.

5.1.1.3 Shrnutí výsledků měření

Terénní pochůzka v oblasti Javoříčko-Mladečského krasu poukázala na nečekaně nízké vodní stavy na tocích východně od řeky Moravy; jediným tokem, tekoucím (téměř) po celé své délce byla Čerlinka. Ostatní potoky (Benkovský, Doubravský, Třetí voda, bezejmenný přítok Čerlinky od Litovle) byly po většinu své délky suché nebo zamrzlé, pouze s bodovými výskyty roztáté vody, vázané většinou na přítoky vod odpadních (Příloha 8A).



Mapa provedených prací 1:50 000

-  úseky toků, měřené v rámci této práce
-  piezometr (6x)
-  piezometr, ze kterého byl odebrán vzorek vody na chemickou analýzu (2x)
-  vzorkovaný povrchový tok
-  hranice ochranného pásma vodního zdroje 1.řádu v JÚ Čerlinka



Obr. 5.17: Rozsah termometrovaných toků, umístění piezometrů a místo odběru vzorku vody Mlýnského potoka

5.2 Piezometry

Ke sledování hydraulického vztahu mezi nivními sedimenty a vodním tokem bylo rozmístěno 6 piezometrů, umístěných v místech, kde se pod kvartérními náplavy vyskytují devonské vápence (obr 5.17):

- na hlavním korytě Moravy, přibližně 1 km po proudu od silnice mezi Mladčí a Novými zámky (P1)
- na Malé Vodě – vedlejším korytě Moravy, přibližně 0,9 a 1,1 km po proudu od silnice mezi Mladčí a Novými zámky (P2 a P3)
- na Mlýnském potoce, mezi jeho oddělením od Malé vody a východního okraje NPP Třesín (P4 – P6)

Měření v piezometrech bylo opakováno celkem 3x, při instalaci v červnu 2017, při vysokém vodním stavu v říjnu 2017 a při nízkém vodním stavu v září 2018. Celkem bylo provedeno 14 měření; piezometr P 6 byl v období mezi červnem a říjnem 2017 zničen, měření proběhlo v červenci 2017 a poté v září 2018. Většina (14) naměřených hodnot relativní výšky hladin v piezometrech byla nižší než v toku, v jehož blízkosti byly umístěny. Výjimkou jsou červencová (2017) měření z piezometru P1 umístěného u přírodního koryta Moravy s pozitivní odchylkou +0,07 m oproti vodnímu toku a zářijové měření piezometru P2 u Malé vody (výše po proudu) s pozitivní odchylkou +0,01 m (tab. 5.1).

Tab. 5.1: Měření teploty, konduktivity a relativní výšky hladiny vody v piezometru vůči vodnímu toku [m]

souřadnice		Datum, čas, relativní výška hladiny v piezometru vůči toku, teplota a konduktivita v toku a v piezometru												
BOD	N	E	17.7.2017 14:00				7.10.2018 12:00				5.9.2018 16:00			
P1	49.7135833	17.0388167	0.07	Piez.	290 uS/cm	18.3 °C	-0.07	Piez.	259 uS/cm	10.3 °C	-0.19	Piez.	330 uS/cm	19.5 °C
				Tok	285 uS/cm	-		Tok	252 uS/cm	10.2 °C		Tok	331 uS/cm	19.6 °C
BOD	N	E	18.7.2017 12:00				7.10.2018 12:00				5.9.2018 16:00			
P2	49.7101167	17.0347833	-0.05	Piez.	340 uS/cm	15.9 °C	-0.05	Piez.	352 uS/cm	10.8 °C	0.01	Piez.	366 uS/cm	18 °C
				Tok	294 uS/cm	-		Tok	252 uS/cm	10.1 °C		Tok	354 uS/cm	18.7 °C
BOD	N	E	18.7.2017 12:00				7.10.2018 13:00				5.9.2018 17:00			
P3	49.7091667	17.0365000	-0.13	Piez.	334 uS/cm	16 °C	-0.11	Piez.	282 uS/cm	12 °C	-0.12	Piez.	366 uS/cm	18.3 °C
				Tok	294 uS/cm	-		Tok	251 uS/cm	10.2 °C		Tok	354 uS/cm	18.8 °C
BOD	N	E	18.7.2017 10:00				7.10.2018 15:00				5.9.2018 13:00			
P4	49.7111000	17.0143500	-0.28	Piez.	347 uS/cm	17.3 °C	-	Piez.	-	-	-	Piez.	-	-
				Tok	294 uS/cm	-		Tok	-	-		Tok	-	-
BOD	N	E	18.7.2017 10:00				7.10.2018 14:00				5.9.2018 13:00			
P5	49.7095833	17.0165500	-0.34	Piez.	321 uS/cm	17.8 °C	-0.14	Piez.	297 uS/cm	10.7 °C	-0.11	Piez.	361 uS/cm	18.6 °C
				Tok	294 uS/cm	-		Tok	249 uS/cm	10.6 °C		Tok	347 uS/cm	18.3 °C
BOD	N	E	18.7.2017 10:00				7.10.2018 14:00				5.9.2018 12:00			
P6	49.7089333	17.0174167	-0.33	Piez.	391 uS/cm	17.9 °C	-0.08	Piez.	300 uS/cm	10.6 °C	-0.2	Piez.	240 uS/cm	18.5 °C
				Tok	294 uS/cm	-		Tok	249 uS/cm	10.3 °C		Tok	345 uS/cm	18.3 °C

Měření v piezometrech ukazuje, že v místech umístění piezometrů převládá influkce z vodního toku do břehů (ve 12 ze 14 případů). To svědčí o vyšší hladině toku oproti podzemní vodě v náplavech a vyvrací předpoklad přetékání devonského kolektoru do kvartérních náplavů. Vyšší konduktivita v piezometrech je způsobena pravděpodobně rozkladem organické hmoty ve stagnující vodě uvnitř piezometru.

5.3 Chemické rozbor

Z vybraných piezometrů a z vedlejšího koryta Moravy (Malé Vody) byly dne 7. 10. 2017 odebrány vzorky vody pro chemický rozbor. Odběry byly provedeny na piezometrech P2 na

Malé Vodě a P5 na Mlýnském potoce; u piezometru P2 byl rovněž proveden odběr z toku Malé Vody.

Chemické rozbory byly provedeny na vzorcích vody odebraných z piezometrů P2 (Malá voda), P6 (Mlýnský potok) a z Mlýnského potoka (Tab.5.2).

Tab. 5.2: Porovnání chemismu odebraných vzorků s chemismem Moravy, Řimických vyvěraček (odběr 7. 10. 2017), vrtů v kvartéru u Lukavic (Kroupová 2007) a vrtů Čerlinka 2, 4 (Bruthans et al., 2016). Koncentrace jsou uvedeny v mg/l.

	Li ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	(HCO ₃) ⁻	(NO ₃) ⁻	F ⁻	(SO ₄) ²⁻	Cl ⁻
P2	0,01	9,9	5,7	4,3	40,8	161,7	<0,2	0,12	22,8	15,2
Mlýnský p.	0,01	8,3	4,2	3,4	27,9	85,4	8,4	0,09	25,9	11,8
P5	0,01	9,0	4,4	3,0	34,0	112,9	4,3	0,11	24,5	12,4
Morava	4,04	14,1	5,6	4,2	41,3	117,7	9,8	0,11	31,5	18,6
Řimické v.	3,98	8,4	5,8	1,5	118,3	295,0	31,7	0,09	38,9	19,0
Kvartér - L.		12,0	7,8	1,3	46,9	187,9	0,5	0,17	15,6	7,8
Čerlinka 2	6,48	9,6	7,7	1,3	90,8	281,4	3,9	0,08	24,4	14,9
Čerlinka 4	5,46	10,3	7,0	1,5	94,6	275,9	9,9	0,07	28,8	17,6

Z tabulky je patrné, že zastoupením hlavních iontů (Ca²⁺ a HCO₃⁻) se analyzovaná voda blíží vodě řeky Moravy, případně vodě z vrtů v kvartéru poblíž Lukavic; obsah (HCO₃)⁻ však může být reálně vyšší a jeho zastoupení ve vzorku mohlo být sníženo při odčerpání vzorku pomocí vakuové pumpičky. Oproti (potenciálně) krasovým vodám Čerlinky 2 a 4, Řimickým vyvěračkám (i nekrasové vodě z kvartérního kolektoru podél Moravy) mají analyzované vody velmi nízký obsah Li⁺ a (spolu s vodou z Moravy) zvýšené obsahy K⁺. Voda v piezometrech tedy není (z větší části) tvořena vodou přetékající z devonských hornin.

5.4 Zpracování dat

Výchozí data zpracovávaná v této práci jsou chemické rozbory a stanovení izotopového složení δ¹⁸O a δ²H, provedené v rámci projektu „Rebilance zásob podzemních vod“ laboratořemi České geologické služby. Analýzy byly provedeny celkem na 16 objektech - především tocích v HGR 6640 západně od řeky Moravy. Z těchto objektů se tato práce věnuje především jímacím vrtům Čerlinka 2 a Čerlinka 4, krasovým ponorným tokům Špraňku, Javoříčce a Rachavě, krasovému vývěru Řimických vyvěraček a dále řece Moravě a říčce Desné. Posledně jmenovaná sice neprotéká zájmovou oblastí, nicméně má izotopové složení blízké Řimickým vyvěračkám a užívá se v této práci jako srovnávací tok.

Z provedených analýz byly využity data následujících komponent: Na⁺, Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺, (HCO₃)⁻, (NO₃)⁻, F⁻, (SO₄)²⁻, Cl⁻. Odběry vzorků pro tyto analýzy probíhaly mezi květnem 2014 a březnem 2015, přičemž zpravidla (kromě několika výjimek) byl na každém objektu proveden jeden odběr měsíčně. Přehled chemismů jednotlivých objektů je součástí příloh této práce, viz příloha 4 – tabulka 1.

Nepublikovaná data z ČGS byla porovnávána s daty shrnutými v diplomové práci Kroupové (2007). Jedná se o analýzy uskutečněné především v souvislosti s průzkumy pro JÚ Čerlinka, provedené v rozpětí let 1963 až 2006 na celkem 32 sledovaných objektech v HGR 6640 a okolních HGR, východně i západně od řeky Moravy. Chemické rozbory zahrnovaly následující komponenty: Na⁺, Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺, (HCO₃)⁻, (NO₃)⁻, F⁻, (SO₄)²⁻, Cl⁻, SiO₂, PO₄³⁻, NO₂⁻. Jednotlivá měření

jsou proměnlivá jak z hlediska množství analyzovaných komponent, tak i periodicity; kompletní přehled je v příloze 4 – tabulka 2.

Výchozím bodem pro práci, jež si kladla za cíl nalezení možných (pravděpodobných) zdrojů, dotujících vrty v JÚ Čerlinka byl předpoklad, že vody čerpané v JÚ jsou výsledkem míšení podzemních a/nebo povrchových vod z HGR 6640, případně z blízkých HGR v okolí (především HGR 1621). Při určování možných poměrů míšení nebyly uvažovány procesy, spojené s průchodem vod horninovým prostředím a ovlivňující výsledný chemismus. Takové proměny chemického složení byly zohledněny dodatečně v diskusi k dílčím výsledkům. Při hledání možných míšení bylo využito několik přístupů, předložených v následujícím textu. Vzhledem k tomu, že údaje o chemismu jednotlivých objektů vzorkovaných ČGS představovaly množství dat z období téměř jednoho roku, byly hodnoty zprůměrovány a veškeré další výpočty probíhaly s těmito průměry. Podobně bylo přistoupeno i k datům v práci Kroupové (2007): z dílčích chemických rozborů, kompilovaných v její práci, byly vytvořeny průměry, se kterými byla data z rebilancí porovnána. Tyto průměry se liší v množství výchozích hodnot (různé objekty byly sledovány po různě dlouhou dobu). Tabulka chemických rozborů převzatých z Kroupové (2007) je součástí příloh této práce (příloha 4, tab. 2).

Při práci s archivními daty bylo postupně použito několik různých přístupů, popsaných v kapitole 4.3. Tyto přístupy na sebe přímo nenavazovaly, nicméně každý další vycházel z výsledků, které přinesl (nebo minimálně naznačil) přístup předcházející.

5.4.1 HYPOTETICKÝ ZDROJ

Jako potenciální zdroje, vstupující do míšení s hypotetickým zdrojem, byly uvažovány ponorné toky Mladečského krasu – Javoříčka, Rachava a Špraněk (resp. jejich průměr vážený dle plochy povodí)(dále ponory) a řeka Morava, přičemž hypotetický zdroj byl vypočten jako chybějící komponenta, potřebná k dosažení chemismu jímacích vrtů Čerlinka 2,4 a Řimických vyvěraček.

Při hledání hypotetického zdroje k ponorným tokům se ukázalo, že tento hypotetický zdroj musí být nad ponornými toky v převaze. Koncentrace některých komponent v ponorných tocích (Na^+ pro výstup Řimic, Cl^- pro výstup Čerlinky 2) jsou tak vysoké, že pro dosažení požadovaných hodnot výstupu, musí při ředění 1:1 dosahovat koncentrace těchto komponent v hypotetickém zdroji záporných hodnot. Při zvyšování zastoupení ponorných toků vůči hypotetickému zdroji se tento jev projevoval u stále většího počtu komponent. Další analýza se proto týkala ředění ponorných toků hypotetickým zdrojem v poměru 1:2 a vyšším (Tab. 5.2)

Po vyřazení irelevantních ředění následovalo vytvoření sloučených intervalů koncentrací jednotlivých komponent (pro ředění 1:2 až 1:9 ve prospěch hypotetického zdroje); objekty z práce Kroupové (2007) pak byly porovnány s těmito intervaly s cílem najít shodný chemismus a tím i objekt, který je vedle ponorných toků další subsložkou vod Řimických vyvěraček a vrtů Čerlinka 2 a Čerlinka 4.

Při pohledu na tab. 5.3 je nápadná shoda koncentrací některých komponent (vyznačeny barevně) s hodnotami hypotetického zdroje. Přitom koncentrace jednotlivých komponent odpovídají hypotetickým zdrojům pro různé objekty na výstupu – například pro koncentraci Na^+ ve vrtu HJ5 (9,2 mg/l) platí, že odpovídá (přibližně) koncentraci Na^+ v hypotetickém zdroji, vypočteném jako doplněk k ponorným tokům v poměru 6 : 1 (ve prospěch hypotetického zdroje) tak, aby výsledný chemismus směsi odpovídal Čerlince 4. Koncentrace F^- naproti tomu odpovídá hypotetickému zdroji, vypočtenému v poměru 3:1 až 4:1 ve prospěch hypotetického zdroje tak, aby výsledná směs odpovídala Čerlince 4. Koncentrace (HCO_3^-) ve vrtu HJ5 odpovídala by velmi vysokému ředění ponorných toků hypotetickým zdrojem ($\text{HZ} > 8:1$ díl ponorných toků). Podobně

by musel být nízký podíl ponorných toků, pakliže by měl hypotetický zdroj dosahovat podobných koncentrací síranů, jako vrt HJ5.

Tab. 5.2: Složky vstupující do výpočtu a vypočtené koncentrace pro hypotetický zdroj (HZ); úplný přehled v příloze 5

Reálné složky směsi s hypotetickým zdrojem (R) a reálné objekty na výstupu (V1 - V3)												
Název objektu	Li+ [µg/l]	Na+ [mg/l]	Mg2+ [mg/l]	K+ [mg/l]	Ca2+ [mg/l]	(HCO3)- [mg/l]	(NO3)- [mg/l]	F- [mg/l]	(SO4)2- [mg/l]	Cl- [mg/l]	δ ² H	δ ¹⁸ O
Ponory (R)	4.33	18.46	9.52	2.44	71.83	171.46	32.31	0.107	46.45	34.25	-68	-10
Řimické vyvěračky (V1)	3.98	8.44	5.75	1.54	118.31	294.98	31.68	0.086	38.90	19.01	-73	-10.5
Čerlinka 2 (V2)	6.48	9.59	7.73	1.30	90.81	281.38	3.91	0.080	24.36	14.90	-73	-10.45
Čerlinka 4 (V3)	5.46	10.35	6.96	1.48	94.596	275.94	9.95	0.072	28.75	17.59	-73	-10.45

Hypotetické zdroje, vypočtené pro různé objekty na výstupu (odděleny barevně) a různé poměrové zastoupení v reálném objektu na výstupu												
Název objektu	Li+ [µg/l]	Na+ [mg/l]	Mg2+ [mg/l]	K+ [mg/l]	Ca2+ [mg/l]	(HCO3)- [mg/l]	(NO3)- [mg/l]	F- [mg/l]	(SO4)2- [mg/l]	Cl- [mg/l]	δ ² H	δ ¹⁸ O
HZ + ponory = Řimice; HZ =	3.63	-1.58	1.99	0.63	164.80	418.49	31.04	0.065	31.35	3.76	-78	-11
HZ+3*ponory = Řimice; HZ =	2.93	-21.61	-5.53	-1.19	257.77	665.51	29.78	0.023	16.26	-26.73	-87	-12.6
2*HZ+ponory = Řimice; HZ =	3.81	3.43	3.87	1.08	141.56	356.73	31.36	0.076	35.13	11.38	-75	-10.83
6*HZ+ponory = Řimice; HZ =	3.93	6.77	5.13	1.38	126.06	315.56	31.57	0.083	37.64	16.46	-74	-10.6
HZ + ponory = Č2; HZ =	8.62	0.72	5.94	0.16	109.79	391.29	-24.48	0.053	2.28	-4.46	-78	-11.12
HZ+3*ponory = Č2; HZ =	12.91	-17.01	2.36	-2.13	147.75	611.12	-81.28	-0.001	-41.89	-43.16	-88	-12.46
2*HZ+ponory = Č2; HZ =	7.55	5.16	6.83	0.73	100.30	336.33	-10.29	0.067	13.32	5.22	-76	-10.78
6*HZ+ponory = Č2; HZ =	6.84	8.11	7.43	1.11	93.97	299.70	-0.82	0.076	20.68	11.67	-74	-10.56
HZ + ponory = Č4; HZ =	6.58	2.24	4.40	0.52	117.36	380.42	-12.42	0.036	11.05	0.94	-77	-11.11
HZ+3*ponory = Č4; HZ =	8.82	-13.98	-0.72	-1.41	162.90	589.38	-57.14	-0.036	-24.34	-32.37	-87	-12.44
2*HZ+ponory = Č4; HZ =	6.02	6.29	5.68	1.00	105.98	328.18	-1.23	0.054	19.90	9.27	-75	-10.78
6*HZ+ponory = Č4; HZ =	5.64	9.00	6.53	1.32	98.390	293.36	6.22	0.066	25.80	14.82	-74	-10.56

Je patrné, že koncentrace jednotlivých komponent se blíží koncentracím v hypotetickém zdroji, vypočteném jako směs s nízkým příspěvkem ponorných toků (výjimku tvoří pouze Mg, jehož koncentrace odpovídají spíše středním až nižším poměrům hypotetického zdroje ve směsi – konkrétně poměr ponorů k hypotetickému zdroji od 2:1 do 1:6, podle hodnot výstupu). Pakliže složení vody hypotetického zdroje představuje bod na číselné ose, ležící mezi hodnotami koncentrací komponent v ponorných tocích na jedné straně a koncentrací komponent ve vrtech Čerlinka 2, Čerlinka 4 a Řimických vyvěračkách na straně druhé, je tento bod umístěn v těsné blízkosti těchto tří objektů v drenážní oblasti. Z hypotetického zdroje se tak fakticky stává voda na výstupu, jejíž složení je velmi málo ovlivněno složením ponorných toků. Objekt, k němuž je zdroj hledán, se stává tímto zdrojem.

Metoda je nepřehledná a její výsledky obtížně kvantifikovatelné. Obecně ale poukazuje na nízký podíl ponorných toků na výsledném složení jímané vody. Její dominantní složka pak zřejmě představuje složitější směs a nelze proto vyjádřit jako ekvivalent některého z objektů, s nimiž byl porovnáván hypotetický zdroj.

Tab. 5.3: Objekty, jejichž složky v intervalu hypotetického zdroje k ponorným tokům (vstup)

a Řimickým vyvěračkám, Čerlince 2 a Čerlince 4 (výstup); převzato podle Kroupové (2007)

Název objektu	Li+ [µg/l]	Na+ [mg/l]	Mg2+ [mg/l]	K+ [mg/l]	Ca2+ [mg/l]	(HCO3)- [mg/l]	(NO3)- [mg/l]	F- [mg/l]	(SO4)2- [mg/l]	Cl- [mg/l]
HJ1 (1)		35.7	3.2	1.73	79.7	243.8	8.2	0.10	26.6	46.7
HJ2 (2)		11.9	10.2	2.24	55.3	238.4	0.4	0.10	7.1	9.6
HJ2-1 (2)		14.5	10.8	1.95	65.0	106.0	0.0	0.00	86.0	47.0
HJ3 (3)		8.7	5.1	1.40	91.7	277.5	8.2	0.06	17.1	13.3
HJ5 (4)		9.2	4.4	1.29	94.7	276.1	9.4	0.07	26.4	16.3
HV 1003 (5)		9.2	5.1	1.25	95.1	257.0	12.1	0.09	37.3	16.1
HV 1004 (6)		8.8	4.8	1.23	93.9	278.7	4.5	0.09	34.3	15.3
HV 1005 (7)		8.3	5.1	1.14	92.3	235.1	3.2	0.10	31.7	12.9
HV 1006 (8)		7.9	5.1	1.00	87.0	223.8	2.0	0.09	15.4	10.8
HV 1007 (9)		9.2	4.7	1.22	97.3	255.5	10.1	0.11	31.3	16.4
S2 (10)		9.0	4.6	1.18	97.8	0.0	9.6	0.11	32.4	16.5
S11 (11)		9.3	5.1	1.15	100.2	0.0	13.2	0.12	60.3	17.4
Sběrná studna (12)		9.1	5.0	1.32	104.5	256.2	10.3	0.17	36.0	17.0
Pramen Hvozd (13)		5.1	2.7	1.06	104.1	239.1	18.9	0.07	40.8	18.0
Ponor Hvozd (14)		13.1	7.3	7.20	86.0	135.2	48.0	0.17	68.5	43.8
Pramen Skalka (15)		6.1	4.7	1.00	137.4	383.8	18.6	0.06	27.7	13.8
pramen Olešnice (16)		11.6	7.1	1.77	61.1	115.7	35.7	0.15	44.2	29.2
pramen Třesín (17)		7.5	3.8	1.72	106.1	269.0	21.7	0.10	48.0	17.9
Potok Špraněk (18)		10.9	7.6	2.06	89.4	179.3	28.8	0.13	56.4	23.8
voda z Javoříčky (19)		16.0	12.8	2.55	61.0	59.5	33.9	0.14	83.8	34.6
Hradečka pod soutok. s Rach. (20)		0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	21.3	0.00	67.8	26.4
Voda z Hradečky (21)		17.1	15.8	3.90	70.0	164.7	27.6	0.25	79.3	34.0
Hradečky před zaústěním (22)		18.4	14.0	4.70	75.0	167.8	27.7	0.28	88.0	33.5
Morava 2 (23)		11.2	4.8	4.13	44.5	93.5	17.6	0.11	41.8	18.1
Červenka - studna u Hájenky (24)		31.6	20.2	2.40	91.3	0.0	47.7	0.17	134.5	94.5
Červenka - potok (25)		11.3	8.9	2.18	109.3	208.4	11.1	0.09	109.5	22.8
VB9514 (26)		8.8	5.9	1.24	43.4	141.8	0.5	0.10	24.3	10.1
VB9513 (27)		12.1	8.6	1.32	48.6	207.2	0.7	0.20	10.7	5.7
VB9512 (28)		15.0	9.0	1.39	48.8	214.7	0.3	0.19	12.0	7.7
Morava - Moravičany (29)		11.9	7.8	4.03	36.2	95.5	3.8	0.00	46.3	16.7
VB0031 (30)		11.9	14.1	1.06	86.9	221.2	10.5	0.14	61.0	34.1
VB0044 (31)		9.7	14.1	1.14	135.5	289.8	11.0	0.23	91.5	55.5
VB0049 (32)		37.9	29.8	2.46	152.7	283.0	2.6	0.17	177.2	124.1

Porovnávané objekty, analyzované pro účely této práce										
Název objektu	Li+ [µg/l]	Na+ [mg/l]	Mg2+ [mg/l]	K+ [mg/l]	Ca2+ [mg/l]	(HCO3)- [mg/l]	(NO3)- [mg/l]	F- [mg/l]	(SO4)2- [mg/l]	Cl- [mg/l]
piezometr P2	0.0	9.9	5.7	4.25	40.8	161.7	<0,2	0.12	22.8	15.2
Mlýnský potok	0.0	8.3	4.2	3.42	27.9	85.4	8.4	0.09	25.9	11.8
piezometr P5	0.0	9.0	4.4	3.01	34.0	112.9	4.3	0.11	24.5	12.4

KLÍČ

- komponenta, jejíž koncentrace se vyskytuje pouze v HZ k Řimickým vyvěračkám
- komponenta, jejíž koncentrace se vyskytuje pouze v HZ k Čerlince 2
- komponenta, jejíž koncentrace se vyskytuje pouze v HZ k Čerlince 4
- komponenta, jejíž koncentrace se vyskytuje v HZ ke všem objektům V1-V3
- komponenta, jejíž koncentrace se vyskytuje v HZ k objektům Řimice a Čerlinka 2
- komponenta, jejíž koncentrace se vyskytuje v HZ k objektům Řimice a Čerlinka 4
- komponenta, jejíž koncentrace se vyskytuje v HZ k objektům Čerlinka 2 a Čerlinka 4

5.4.2 PRAVDĚPODOBNÉ ZDROJE

Další z přístupů pracuje s představou směšování geograficky blízkých objektů, které mají navíc dostatečnou vydatnost. Jedná se o Řimické vyvěračky, Moravu a vody kvartérního kolektoru, reprezentované vrty u Lukavic mimo HGR 6640, popsány Kroupovou (2007). Jako objekty na výstupu jsou uvažovány vrty Čerlinka 2 a Čerlinka 4.

Vzhledem k relativně vysokému obsahu HCO₃⁻ a Ca²⁺ ve vodách čerpaných z vrtů v JÚ Čerlinka byl předpokládán výrazný podíl vod z krasové oblasti (zastoupený v této úvaze vodami Řimických vyvěraček). Vody na výstupu dosahují vysokých koncentrací hydrogenuhličitanu

(přes 275 mg/l) ve vodách na výstupu není pravděpodobné, že je voda z Řimických vyvěraček výrazně ředěna vodou z Moravy i vodou z kvartérního kolektoru současně – oba tyto útvary mají nízké zastoupení HCO_3^- (průměr 188 mg/l v kvartérním kolektoru, resp. 118 mg/l v Moravě) a při jejich výrazném podílu by nebylo možné dosáhnout naměřených relativně vysokých hodnot (275 mg/l a více) na výstupu (přínos HCO_3^- z jiného zdroje, resp. zdrojů nebyl uvažován). Proto byly vytvořeny dvě porovnávací tabulky, v nichž byla vypočtena chemická složení pro různé podíly směřovaných vod, kde:

- klesal podíl Řimických vyvěraček (dále Ř) na úkor vody z kvartérního kolektoru (dále Q) od 99 dílů Ř:1 díl Q do 1 díl Ř: 99 dílů Q4; ke každému z 99 stupňů tohoto ředění bylo navíc přidáno od 1 do 20 dílů Moravy (dále M)
- klesal podíl Řimických vyvěraček na úkor vody z Moravy obdobně jak bylo popsáno výše; doplňkovou složkou přidávané v poměru od 1 do 20 dílů byly vody z Q

Chemismus vod takto vytvořených byl poté porovnán s reálným chemismem Čerlinky 2 a Čerlinky 4. Data pro výpočet byla opět čerpána z projektu Rebilance zásob podzemních vod (pro objekty Řimických vyvěraček, Čerlinky 2 a Čerlinky 4) a z diplomové práce Kroupové (2007) (Q odpovídalo kvartérním vrtům u Lukavic).

Výstupem těchto výpočtů měl být poměr zastoupení vod z Řimických vyvěraček k vodám z kvartéru a vodám z Moravy (ve formátu x : y : z dílů, resp. a%Ř : b%Q : c%M). Mezi řadou směšovacími poměry byla hledána kombinace, která se svým výsledným složením maximálně blíží chemismu Čerlinky 2, resp. Čerlinky 4. Díky blízkému chemismu obou objektů na výstupu a pro zohlednění možných odchylek (daných chybou měření i proměnlivostí chemického složení) byl opět hledaný chemismus uvažován ve formě intervalu, definovaném jako průměrné složení Čerlinky 2 a Čerlinky 4, rozšířené kladným i záporným směrem o 10% této hodnoty (Tab. 5.3).

Tab. 5.3: Chemismus cílových objektů [mg/l]

objekt	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	(HCO ₃) ⁻	(NO ₃) ⁻	F ⁻	(SO ₄) ²⁻	Cl ⁻
Čerlinka 2	9.59	7.73	1.30	90.81	281.38	3.91	0.08	24.36	14.90
Čerlinka 4	10.35	6.96	1.48	94.60	275.94	9.95	0.07	28.75	17.59
Čerlinka 2 a 4 průměr +10%	10.96	8.08	1.53	101.97	306.53	7.62	0.08	29.21	17.87
Čerlinka 2 a 4 průměr -10%	8.97	6.61	1.25	83.43	250.79	6.24	0.07	23.90	14.62

Směs Řimických vyvěraček a vody z kvartérního kolektoru jako dominantních složek a řeky Moravy jako vedlejší složky se zpočátku od požadovaného výstupu liší nedostatkem Na⁺ a Mg²⁺; koncentrace Na⁺ je přitom doplňována vodou z Moravy, zatímco Mg²⁺ je naopak Moravou více ředěn. (HCO₃)⁻ je při horním hranici intervalu koncentrace. Ostatní komponenty jsou vůči výstupu v nadlimitní koncentraci (Tab. 5.4).

Tab. 5.4: Chemismus teoretické směsi vzniklé směsí Řimických vyvěraček (Ř), vod kvartéru (Q) a Moravy (M) (poměry 99:1:1 a 99:1:20)

Ř	Q	M	SUMA	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	(HCO ₃) ⁻	(NO ₃) ⁻	F ⁻	(SO ₄) ²⁻	Cl ⁻
99	1	1	101	8.53	5.77	1.56	116.85	292.16	31.15	0.09	38.60	18.89
		20	120	9.41	5.74	1.97	104.89	264.54	27.77	0.09	37.47	18.84

Při dalším ředění dochází k postupnému zvyšování podílu podlimitních komponent (Na⁺, Mg²⁺) a zároveň snižování koncentrací nadlimitních komponent (Ca²⁺, (NO₃)⁻, (SO₄)²⁻ a Cl⁻). Přitom se snižuje podíl (HCO₃)⁻ (už při ředění 83:17:20 se dostává do podlimitních hodnot)(Tab. 5.5).

Tab. 5.5: Směšovací poměry při prvním podlimitním výskytu (HCO₃)⁻

Ř	Q	M	SUMA	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	(HCO ₃) ⁻	(NO ₃) ⁻	F ⁻	(SO ₄) ²⁻	Cl ⁻
87	13	20	120	9.88	6.02	1.95	95.37	250.26	23.60	0.10	34.37	17.35

Zároveň se snižováním obsahu hydrogenuhličitanů dochází při ředění Řimických vyvěraček vodou z kvartérního kolektoru i k zvyšování koncentrace Na⁺ (k čemuž přispívá i Morava) a zároveň ke snižování koncentrace Cl⁻. Stejně tak dochází ke snižování koncentrací K⁺, (NO₃)⁻ i (SO₄)²⁻, které si ovšem mnohem déle drží nadlimitní hodnotu oproti požadovanému zdroji. Stejně tak je se stoupajícím podílem kvartérních vod pomalý nárůst koncentrace Mg²⁺, který je omezován rostoucím podílem Moravy.

Kvůli neproporcionálním rozdílům mezi jednotlivými výchozími zdroji a výstupem dochází při směšování k nerovnoměrnému ředění, resp. nabožení komponent oproti požadované koncentraci. Zatímco koncentrace (HCO₃)⁻ dosahuje podlimitních hodnot a koncentrace Ca²⁺ se těmito hodnotám silně blíží, zastoupení Mg²⁺ je stále příliš nízké, koncentrace Cl⁻ klesá k podlimitním hodnotám a množství (NO₃)⁻ a (SO₄)²⁻ je naopak stále příliš vysoké, oproti koncentraci která by odpovídala hledanému objektu. Výjimečné je přitom postavení fluoridů: zatímco většina komponent se snižováním podílu Řimických vyvěraček dostává do požadovaných koncentrací (a rozdíly jsou v míře ředění, nutné k dosažení cílové koncentrace, která se liší pro jednotlivé komponenty), koncentrace fluoridů roste úměrně podílu vody z kvartéru.

S popsány parametry nebylo možné dosáhnout požadované koncentrace u všech komponent. Při daných směšovacích poměrech měl výsledný chemismus vůči požadovanému výstupu buď příliš mnoho síranů (jejich nižší množství v reálné vodě lze vysvětlit jejich redukcí v anoxickém prostředí) anebo dosahoval podlimitních hodnot hydrogenuhličitanového aniontu. Rovněž bylo v každém případě dosaženo vysokých koncentrací fluoridu.

Oproti původnímu záměru vymežit interval míšení, vyhovující pro všechny komponenty, je možné pouze přibližně určit interval maximální shody a případně uvažovat o dalších možných zdrojích nebo procesech, ovlivňujících koncentrace sledovaných komponent. **Nejbliže požadovanému výstupu jsou vody směsi od 60:40 do 52:48 (Řimické vyvěračky:kvartér)** (Tab. 5.6).

Výběr intervalu je dán především zastoupením Ca²⁺ a (HCO₃)⁻ jako hlavních iontů, jejichž zastoupení klesá úměrně s klesajícím zastoupením vod Řimických vyvěraček. Poslední nadlimitní výskyt (HCO₃)⁻ je při míšení 60:40:1, pro Ca²⁺ je posledním nadlimitním výskytem směšování v poměru 52:48:1. V tomto intervalu se rovněž objevuje první výskyt (SO₄)²⁻ s koncentrací v požadovaném intervalu (při ředění 58:42:1) a rovněž i poslední výskyt Cl⁻ (při ředění 54:46:20). Stoupající podíl Moravy má přitom dvojí efekt: na jedné straně ředí

koncentraci hlavních iontů Ca^{2+} a HCO_3^- (a rovněž Mg^{2+} a $(\text{SO}_4)^{2-}$), na druhou stranu obohacuje výslednou směs o chybějící Cl^- .

Tab. 5.6: *Chemismus teoretické směsi vzniklé smíšením vod Řimických vyvěraček (R), vod kvartéru (Q) a vod řeky Moravy (M) (poměry 60:40:1 až 52:48:20) [mg/l]*

Ř	Q	M	SUMA	Na^+	Mg^{2+}	K^+	Ca^{2+}	$(\text{HCO}_3)^-$	$(\text{NO}_3)^-$	F^-	$(\text{SO}_4)^{2-}$	Cl^-
60	40	1	101	9.89	6.57	1.48	89.27	250.81	19.10	0.12	29.62	14.58
		20	120	10.56	6.41	1.90	81.68	229.74	17.62	0.12	29.91	15.21
59	41	1	101	9.93	6.59	1.47	88.57	249.75	18.79	0.12	29.39	14.47
		20	120	10.59	6.43	1.90	81.09	228.84	17.36	0.12	29.72	15.12
58	42	1	101	9.96	6.61	1.47	87.86	248.69	18.48	0.12	29.16	14.36
		20	120	10.62	6.45	1.90	80.49	227.95	17.10	0.12	29.53	15.03
57	43	1	101	10.00	6.63	1.47	87.15	247.63	18.17	0.12	28.93	14.25
		20	120	10.64	6.46	1.90	79.90	227.06	16.84	0.12	29.33	14.94
56	44	1	101	10.03	6.65	1.47	86.45	246.57	17.87	0.12	28.70	14.14
		20	120	10.67	6.48	1.90	79.30	226.17	16.58	0.12	29.14	14.84
55	45	1	101	10.07	6.67	1.47	85.74	245.51	17.56	0.12	28.47	14.03
		20	120	10.70	6.50	1.89	78.71	225.28	16.32	0.12	28.94	14.75
54	46	1	101	10.10	6.69	1.46	85.03	244.45	17.25	0.12	28.24	13.92
		20	120	10.73	6.52	1.89	78.11	224.38	16.06	0.12	28.75	14.66
53	47	1	101	10.14	6.72	1.46	84.33	243.39	16.94	0.12	28.01	13.81
		20	120	10.76	6.53	1.89	77.52	223.49	15.80	0.12	28.56	14.56
52	48	1	101	10.17	6.74	1.46	83.62	242.33	16.63	0.12	27.78	13.70
		20	120	10.79	6.55	1.89	76.92	222.60	15.54	0.12	28.36	14.47

Z uvedeného plyne, že v daném zjednodušeném modelovém případě se mísení vody z Řimických vyvěraček vůči vodám kvartérního kolektoru pohybuje v rozpětí 60:40% až 52:48%, přičemž příspěvek Moravy je nevýznamný a pohybuje se v rozmezí prvních procent. Vody na výstupu přitom mohou být dotovány Cl^- z dalšího zdroje (např. antropogenním znečištěním). Poněkud vyšší obsah dusičnanů ve vypočtené směsi v porovnání se skutečnými koncentracemi lze vysvětlit redukcí dusičnanů v anaerobním prostředí kolektoru podzemních vod.

5.4.2 SMĚŠOVACÍ POMĚRY NA ZÁKLADĚ LINEÁRNÍ OPTIMALIZACE

Pro výpočet směšování pomocí programu GeoHydro byly uvažovány 3 cílové objekty (targety) – Čerlinka 2 (dále Č2), Čerlinka 4 (dále Č4) a jejich aritmetický průměr (dále ØČ2&Č4). Pro výpočet byly navrženy 3 konfigurace:

- K1, optimalizující výstup na základě nejlepší shody výstupu s targetem v komponentách Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , $(\text{HCO}_3)^-$, $(\text{NO}_3)^-$, F^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$ a Cl^- ;
- K2, optimalizující výstup jako K1 bez K^+ , $(\text{NO}_3)^-$ a $(\text{SO}_4)^{2-}$, které se při průchodu horninovým prostředím mohou sorbovat, respektive redukovat a jejichž zastoupení proto může být výrazně ovlivněno nejen poměrem směšovaných složek;

- K3, optimalizující výstup obdobně jako K1 + izotopové hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$; tato konfigurace byla využita pouze u složek, u nichž $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$ byly stanoveny.

Jako vstupní objekty (sources) byly uvažovány všechny objekty, dokumentované v rámci projektu Rebilance zásob podzemních vod. Vyřazen byl pouze objekt „drenáž“, jelikož sám leží v drenážní části území a představuje svým chemismem objekt velmi blízký Čerlince 2 a Čerlince 4, což se při výpočtu odráželo jeho silným zastoupením, které je v rozporu s přírodní skutečností (respektive nedává odpověď na otázku původu vody v drenážním území). Mezi vstupní objekty byly zahrnuty i některé objekty z práce Kroupové (2007). Patřily mezi ně vrty VB9512 (HV302), VB9513 (HV302/1) a VB9514 (HV302/2), prezentované jedinou hodnotou (svým aritmetickým průměrem) jako kvartér typ A (dále QA), a vrty VB031, VB044 a VB049, jejichž průměrná hodnota chemismu byla zahrnuta jako kvartér typ B. Tyto objekty, stejně jako objekty „Andělíčka – vývěr“ a „Nad Průchodnicemi“ nebyly použity pro optimalizaci podle konfigurace K3, jelikož nebylo známo jejich izotopické složení.

Výsledky optimalizace byly shrnuty v tabulce, kde pro každý target, každou konfiguraci a každou skupinu dílčích složek (VŠE = všechny složky tak, jak byly popsány v textu; IZOTOP = složky, u nichž je známo izotopické složení) byla vybrána kombinace s nejnižší souhrnnou chybou (Tab. 5.7).

Tab. 5.7: Směsi vzniklé lineární optimalizací. Ř – Řimické vyvěračky, QA – kvartér typu A, QB – kvartér typu B

Název objektu				Na+ [mg/l]	Mg2+ [mg/l]	K+ [mg/l]	Ca2+ [mg/l]	(HCO3)- [mg/l]	(NO3)- [mg/l]	F- [mg/l]	(SO4)2- [mg/l]	Cl- [mg/l]	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$
Čerlinka 2				9.6	7.7	1.30	90.8	281.4	3.9	0.08	24.4	14.9	-73	-10.4
Čerlinka 4				10.3	7.0	1.48	94.6	275.9	9.9	0.07	28.8	17.6	-73	-10.4
ØČ2&Č4				10.0	7.3	1.39	92.7	278.7	6.9	0.08	26.6	16.2	-73	-10.4
Komponenty ve směsi	target	konfig.	složky	Na+ [mg/l]	Mg2+ [mg/l]	K+ [mg/l]	Ca2+ [mg/l]	(HCO3)- [mg/l]	(NO3)- [mg/l]	F- [mg/l]	(SO4)2- [mg/l]	Cl- [mg/l]	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$
Ř: 58%, QA:26%, QB:12%, Cholinka: 4%	Č2	K1	VŠE	8.0	6.3	1.30	90.8	231.4	20.7	0.08	34.7	18.7	-71	-10.2
Ř: 67%, QA: 25%, Cholinka: 8%	Č4	K1	VŠE	8.1	5.9	1.48	94.6	241.3	22.5	0.08	33.2	18.4	-71	-10.2
Ř: 65%, QA: 27%, Cholinka: 5%, QB: 3%	ØČ2&Č4	K1	VŠE	7.8	5.7	1.39	92.7	236.3	22.0	0.08	32.8	17.8	-71	-10.2
Ř: 65%, Mírovka: 27%, QA: 8%	Č2	K2	VŠE	9.6	6.2	1.92	90.8	232.2	25.7	0.08	34.0	18.2	-72	-10.3
Ř: 68%, Mírovka: 32%	Č4	K2	VŠE	10.3	6.6	2.08	94.6	241.3	27.4	0.09	36.0	19.3	-72	-10.3
Ř: 66%, Mírovka: 30%, QA: 4%	ØČ2&Č4	K2	VŠE	10.0	6.4	2.01	92.7	236.7	26.6	0.08	35.0	18.8	-72	-10.3
Ř: 60%, QA: 25%, Rachava: 8%, Sumice: 7%	Č2	K2	BEZ-MIR	9.6	6.1	1.58	90.8	231.2	24.1	0.08	34.2	19.1	-71	-10.2
Ř: 64%, QA: 22%, Rachava: 14%	Č4	K2	BEZ-MIR	10.3	6.2	1.52	94.6	239.0	24.1	0.08	36.1	21.2	-72	-10.2
Ř: 63%, QA:24%, Rachava: 13%	ØČ2&Č4	K2	BEZ-MIR	10.0	6.0	1.48	92.7	234.6	23.5	0.08	35.0	20.4	-71	-10.2
Ř: 72%, Oskava: 28 %	Č2	K3	IZOTOP	7.5	5.3	1.46	90.8	230.3	24.9	0.08	31.8	15.3	-72	-10.5
Ř: 73%, Oskava: 23%, Rachava: 4%	Č4	K3	IZOTOP	8.6	5.8	1.55	94.6	239.1	25.7	0.08	34.3	17.6	-72	-10.4
Ř: 72%, Oskava: 26%, Rachava: 2%	ØČ2&Č4	K3	IZOTOP	8.0	5.5	1.50	92.7	234.7	25.3	0.08	32.9	16.2	-72	-10.4

Výsledky optimalizace se částečně blíží závěrům z kapitoly 5.4.2 – podíl Řimických vyvěraček kolísá podle zvoleného targetu (při konfiguracích K1 a K2) od 58 do 68 % a tvoří tak (chemicky) dominantní typ vody. Situace doplňujících složek je složitější: zatímco při konfiguraci K1 je dominantní vedlejší složkou kvartér typu A (27 – 25 %), doplněný povrchovým (nikoliv ponorným) tokem Cholinka (4 – 8 %) a v případě targetů Čerlinka 2 a ØČ2&Č4 i kvartérem typu B (12 %, respektive 3 %), při konfiguraci K2 se dominantním vedlejším tokem stává Mírovka (27 – 32%), doplněná v případě targetů Č2 a ØČ2&Č4 i kvartérem typu A (8, respektive 4%). Koncentrace K^+ a $(\text{NO}_3)^-$ se při jejich vyřazení z optimalizačního výpočtu přitom zvýšila u všech targetů, koncentrace $(\text{SO}_4)^{2-}$ se zvýšila u Č4 a ØČ2&Č4, zatímco u Č2 poněkud poklesla.

Pakliže je Mírovka jako složka vyloučena (geograficky je od zájmové oblasti poměrně vzdálená, a protéká jiným geologickým prostředím), je v nové směsi zachováno obdobné zastoupení Řimických vyvěraček (60 – 64 %), zatímco vedlejší dominantní složku se stává kvartér typu A (22 – 25%), doplněný u targetu Č2 Šumicí (7 %) a u targetů Č4 a ØČ2&Č4 vodou z Rachavy (14, respektive 13 %).

Zvláštním případem byla konfigurace K3, uvažující kromě komponent z K1 i hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$, u níž nebylo možné do uvažovaných složek zahrnout kvartérní vody. Výsledná směs se vyznačuje zvýšeným podílem vody z Řimických vyvěraček (72 – 73 %); dominantní vedlejší složkou je Oskava (23 - 28%) a v případě targetů Č4 a ØČ2&Č4 i voda Rachavy (4%, respektive 2%).

Pro libovolnou z prezentovaných kombinací je charakteristických několik rysů. Za první, výsledná směs je vždy (oproti targetu) přesycena K^+ , $(\text{NO}_3)^-$ a $(\text{SO}_4)^{2-}$. Jejich (výrazně) nižší obsah lze vysvětlit sorpcí na horninové prostředí (K^+) nebo redukcí v anoxickém prostředí kolektoru podzemních vod ($(\text{NO}_3)^-$ a $(\text{SO}_4)^{2-}$). Za druhé, vody jsou oproti targetům chudší na rozpuštěný $(\text{HCO}_3)^-$. Mezi další nápadné prvky patří poněkud vyšší vypočtené koncentrace Cl^- a naopak nižší koncentrace Na^+ .

Konfigurace K3, umožňující do posouzení zahrnout i izotopové hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$, generuje izotopově mírně lehčí vody, než jsou definované targety, při celkovém zachování chemismu obdobným výsledkům při konfiguraci K1.

Celková chemická povaha vzniklých směsí je v souladu s poznatky a předpoklady autorů, kteří se oblastí zabývali dříve. Vzhledem k umístění jímacích vrtů do rozpukaných krasových struktur je dominantní složkou voda krasová, zastupovaná zde vodou Řimických vyvěraček. Ta je ředěna buď vodami kvartéru (zhruba 30%), případně Oskavou. Ta protéká na SV od jímacího území, tedy v místech, odkud byl předpokládán např. Starobou (1983) přítok relativně málo mineralizované vody, jíž Oskava je. Představa přímé dotace hornin kulmu vodou z Oskavy však může být zavádějící. Oskava odpovídá izotopově vodám z vyšších poloh a podobné izotopové složení mohou mít i vody v prostoru vápencových pruhů u Sovince, z nichž přítoky do JÚ Čerlinka uvažoval Krásný a kol. (2012).

Zajímavé je rovněž postavení ponorných toků a Moravy. Přes prokázanou komunikaci vod ponorných vod s Řimickými vyvěračkami i jímacími objekty v JÚ Čerlinka jejich zastoupení dosahuje maximálně 15%. Řeka Morava, na jejíž stav podle Starobové (1983) citlivě reagovaly hladiny podzemní vody v celé oblasti, se podle výsledků optimalizace na výsledném složení nepodílí vůbec.

Zvláštní pozornost je nutné věnovat hodnotám $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$. Ačkoliv není možné přímé porovnávání a hodnocení v rámci lineární optimalizace (pro kvartérní vody, jejichž role může být velmi významná, tato data chybí), již při prostém pohledu na naměřené hodnoty je vidět nesoulad mezi hodnotami vod v infiltrační oblasti a hodnotami Řimických vyvěraček nebo vrtů v JÚ Čerlinka; vody v drenážní oblasti jsou izotopicky výrazně těžší.

Při úvahách o směřování různých zdrojů je také nutné brát na zřetel, že chemismus dílčích objektů se v čase vyvíjí. Údaje o chemismu objektů, použité v této práci, pochází z let 1963-2006 a 2014 – 2015 a je otázkou, do jaké míry je relevantní chemismus směsi vzniklé míšením vod s podobným časovým odstupem. Rozsah této práce neumožňuje zabývat se těmito dílčími nuancemi, nicméně je nutné mít na vědomí, že uvedené výpočty mohou být zatíženy chybou tohoto druhu.

Určením dominantního podílu Řimických vyvěraček na vodách v JÚ Čerlinka se původní otázka modifikuje na původ vod v těchto pramenech. V tomto případě se pro optimalizaci využívají výhradně data z projektu Rebilance zásob podzemních vod, s využitím dat o $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$. Jako target jsou určeny Řimické vyvěračky, konfigurace zdrojů je ponechána na K3 – všechny zdroje se analyzovanými izotopy $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$ (Tab. 5.8)

Tab. 5.8: Směsi vzniklé lineární optimalizací. Ř – Řimické vyvěračky

Název objektu				Na+ [mg/l]	Mg2+ [mg/l]	K+ [mg/l]	Ca2+ [mg/l]	(HCO3)- [mg/l]	(NO3)- [mg/l]	F- [mg/l]	(SO4)2- [mg/l]	Cl- [mg/l]	δ ² H	δ ¹⁸ O
Řimické vyvěračky				8.4	5.8	1.54	118.3	295.0	31.7	0.09	38.9	19.0	-73	-10.5
Komponenty ve směsi	target	konfig.	složky	Na+ [mg/l]	Mg2+ [mg/l]	K+ [mg/l]	Ca2+ [mg/l]	(HCO3)- [mg/l]	(NO3)- [mg/l]	F- [mg/l]	(SO4)2- [mg/l]	Cl- [mg/l]	δ ² H	δ ¹⁸ O
Hvozd: 87%, Cholinka: 8%, Mírovka: 5%	Ř	K3	IZOTOP	8.1	5.1	1.54	118.3	288.6	33.6	0.10	43.6	19.0	-68	-9.7
Hvozd: 87%, Cholinka: 8%, Javoricka: 5%	Ř	K3	IZTOP - MIR	8.4	5.2	1.54	118.3	288.2	33.7	0.11	44.2	19.6	-68	-9.7

Výsledek optimalizace ukazuje naprostou převahu vody typu pramene Hvozd (87%), s drobnou příměsí Cholinky (8%) a Mírovky (5%). Pakliže je Mírovka z optimalizace vyloučena, je nahrazena Javoříčkou. Vliv této změny na výsledný chemismus je minimální.

Výsledek výpočtu je na první pohled překvapující – při velmi vysoké míře shody jednotlivých chemických komponent se vody Řimických vyvěraček vyznačují výrazně odlišnými hodnotami δ¹⁸O a δ²H – jsou izotopicky lehčí než vypočtená směs. Takto lehčí vody by mohly odpovídat například vodám z větších nadmořských výšek; nejbližší vrcholy blížící se 1000 m n. m. však leží nejméně 27 km na SV, v okolí Šumperka a Rýmařova.

Samotný pramen Hvozd leží v infiltrační části oblasti. Starobová (1978) jej popsala jako vývěr ponorného toku pod Ponikví. Analogickým příměrem by bylo možné předpokládat, že složení Řimických vyvěraček je výsledkem infiltrace a průchodu srážek a povrchových vod krasovým prostředím. Výrazné rozdíly v δ¹⁸O a δ²H však takto jednoduchý závěr zpochybňují.

7. ZÁVĚR

Práce se zabývala třemi krasovými oblastmi - Albeřickým údolím, Dyleňským krasem a východním okrajem Javoříčko - Mladečského krasu.

V Albeřickém údolí bylo na základě opakované termometrie a konduktometrie lokalizováno několik výrazných přítoků na Albeřickém potoce, které mohou mít souvislost s odvodněním Albeřické jeskyně. Průkaznost výsledků dokládá obdobný výsledek obou (jarního i zimního) měření. Ačkoliv kontrastní (v teplém ročním období nižší, v zimním období vyšší) teplota přítoků a zvýšená konduktivita samy o sobě nepotvrzují krasový původ vody, je vhodné se zaměřit na jejich sledování při případné stopovací zkoušce, která by průkazně potvrdila hydrogeologickou situaci jeskyně.

Termometrie v Dyleňském krasu se zaměřila na poměrně rozsáhlou oblast okolo ponoru, jehož vývěr byl v oblasti již dříve opakovaně neúspěšně hledán. Nejčtenější výskyt potenciálně krasových přítoků byl nalezen v okolí ponoru, v blízkosti pramenů, které byly monitorovány v rámci stopovacích zkoušek Průchové (2006) a Marka (2015). Termometrie však lokalizovala i vzdálenější prameny, ležící buď přímo na stejném pruhu karbonátových hornin, na němž je vyvinut ponor, nebo v jeho pomyslném prodloužení směrem k severovýchodu.

Překvapivé výsledky přinesla termometrie v Javoříčko-Mladečském krasu. Oproti očekávání zde byla většina toků vyschlá, případně zamrzlá. Jediným tekoucím tokem byl potok Čerlinka, protékající poblíž jímacího území.

Další práce směřovaly k ověření vztahu mezi vodami řeky Moravy a krasovými vodami v Mladečko - javoříčském krasu. Patřilo mezi ně umístění piezometrů do břehů podél Moravy a jejích ramen, odběr vzorků z těchto piezometrů a měření hladiny podzemní vody v piezometrech vůči hladině řeky. Výška hladiny v piezometrech a chemismus odebrané vody ukazují, že vody řeky mají tendenci se infiltrovat do krasové zvodně.

Závěrečnou částí práce v Javoříčko-Mladečském krasu bylo zpracování dat chemismu pro posouzení možných zdrojů vody v jímacím území Čerlinka, které je největším jímacím územím v ČR vázaným na krasovou strukturu. Bylo použito několik modelů míšení na základě chemizmu a izotopového složení. Modelování na základě chemizmu přineslo závěry, blízcí se předpokladům ze starších průzkumů - podíl vody odpovídající Řimickým vyvěračkám se na vydatnosti JÚ Čerlinka podílí mezi 60-70 %, zatímco zbylý podíl vod připadá převažujícím poměrem na kvartér, případně vody obdobné vodám Oskavy (výsledek záleží na tom, zda jsou při směšování uvažovány vody se známým podílem $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$, což z výběru hypotetických složek jímané vody vyřazuje vody kvartéru, u nichž tato hodnota známá není. Kvůli řadě nejistot je vhodné se problematikou zdrojů vod JÚ Čerlinka v budoucnu zabývat podrobněji.

8. LITERATURA

BARTOŠ J. (2015): Dyleňský kras. 175 s. Městské muzeum Mariánské Lázně. Mariánské Lázně. ISBN 978-80-903775-8-5

BOUŠE P. (2001): Krasové jevy u Vysoké u Mariánských Lázní. Speleofórum 20, 29-31. Česká speleologická společnost. Praha. ISBN 80-85304-68-6

BRUTHANS J. (2006): Využití přirozených stopovačů (18O; 3H; freony; SF6) a dalších metod pro zhodnocení doby zdržení vod a charakteru proudění v krasových oblastech ČR. MS. Disertační práce. 206 s. PŘF UK. Praha.

BRUTHANS, J. - Kryštofová, E. - Burda, J. - Bůzek, F. - Kadlecová, R. - Kondrová, L. - Konečný, F. - Kůrková, I. - Otava, J. - Skácelová, Z. - Vít, J. - Novotná, J. - Burda, P. - Hartlová, L. - Kašpárek, L. - Hanel, M. - Beran, A. - Hrdinka, T. - Peláková, M. - Prchalová, H. - Beránek, J. - Rapantová, N. - Šeda, S. - Vrbová, J. - Fiebigerová, J. (2016): Hydrogeologický rajon 6640 - Mladečský kras. Stanovení zásob podzemních vod, závěrečná zpráva, příloha č. 2/51. 105 s. MS Geofond

DVOŘÁK, J. (1965): Stratigrafické a faciální zhodnocení paleozoika Dražanské vysočiny. Dílčí závěrečná zpráva. Čs. Naftové doly. Výzkumný ústav.

FORD D. – WILLIAMS P. (2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley & Sons. 562 s. Chichester. ISBN 978-0-470-84996-5

HLADIL J. – Patočka F. – Kachlík V. – Melichar R. – Hubáček M. (2003): Metamorphosed carbonates of Krkonoše Mountains and Paleozoic evolution of Sudetic terranes (NE Bohemia, Czech Republic). *Geologica Carpathica* 54, 281-297. Slovak Academic Press. Bratislava. ISSN 1210-2695

HÝSEK J. - ŘEHÁK J. (1971): Zpráva o dosavadním průzkumu jeskyně v Albeřicích. Krasový sborník 4, 41-46. TIS - Svaz pro ochranu přírody a krajiny-Krasová sekce. Praha.

CHÁB J. – Breitr K. - Fatka O. – Hladil J.- Kalvoda J. – Šimůnek Z. – Štorch P. – Vašíček Z. – Zajíc J. – Zapletal J. (2008): Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. 283 s. Česká geologická služba. Praha. ISBN 978-80-7075-703-1

CHALOUPSKÝ J. - Červenka J. - Jetel J. - Králík F. - Líbalová J. - Plchová E. - Pokorný J. - Pošmourný K. - Sekyra J. - Shrbený O. - Šalanský K. - Šrámek J. - Václ J. (1989): Geologie Krkonoš a Jizerských hor. 288 s. Academia. Praha.

CHLUPÁČ I. - SVOBODA J. (1963): Geologické poměry Konicko-Mladečského devonu na Dražanské vrchovině. Sborník ÚÚG, 27, odd. geol., 347-386. ČSAV. Praha.

CHLUPÁČ I. - ŠTORCH P. (1992): Regionálně geologické dělení na území České republiky (Regional geologic subdivision of the Bohemian Massif). *Časopis pro geologii a mineralogii*, 37, 4, 257-275. Academia. Praha.

CHLUPÁČ I. - Brzobohatý R. - Kovanda J. - Stráník Z. (2002): Geologická minulost České republiky. 436 s. Academia. Praha. ISBN 80-200-0914-0

KODYM O. – SVOBODA J. (1948): Kaledonská příkrovová stavba Krkonoš a Jizerských hor. Sborník Státního geologického ústavu, 15, 109-160.

- KOPÁČ J. (2007): Měření průtoku pomocí stopovačů: NaCl a měření konduktivity. MS. Diplomová práce. 68 s. PřF UK. Praha.
- KRÁSNÝ J. - Císlerová, M. - Čurda S. - Datel J. - Dvořák J. - Grmela, A. - Hrkal, Z. - Kříž, H. - Marszałek, H. - Šantrůček, J. - Šilar, J. (2012): Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. 1143 s. Česká geologická služba. Praha. ISBN 978-80-7075-797-0
- MAJZLÍK L. (1985): Hydrogeologický průzkum Mladeč. Závěrečná zpráva. – Vodní zdroje n.p. Praha, 14 str., MS Geofond, P50174.
- MICHNA J. (1989): Litovel IV fáze. Závěrečná zpráva o HG průzkumu vodního zdroje pro veřejný vodovod Olomouc. – 81 str, Geotest s.p. Brno. P54799.
- MÍSAŘ Z., Dudek A., Havlena V. a Weiss J. (1983): Geologie ČSSR I – Český masiv. 333 s. SNP. Praha.
- PANOŠ V. (1962): Výsledky koloračních experimentů a pozorování krasových vod v Severomoravském kraji. – Sborník vlastivědného muzea v Olomouci: oddíl A přírodní vědy 5, 13-59. Krajské nakladatelství v Ostravě.
- PANOŠ V. (1990): Třesínská krasová zvodeň při východním okraji českého masívu a problémy jejího racionálního využití a ochrany. Československý kras 41, 55-70. ČSAV. Praha.
- PATOČKA, F. – HLADIL J.(1998): An outline of the East Krkonoše Mts. crystalline sequence geology. Geolines 6, 78-82. Geologický ústav AV ČR, v. v. i. Praha.
- POSPÍŠIL Z. (1992): Čerlinka - ochrana vodního zdroje. Závěrečná zpráva úkolu B.3.4./04 Ochrana vodního zdroje Čerlinak pro Olomoucko. - I. fáze. Dořešení vlivu vápence. – Geotest a.s. Brno.MS Geofond P78 359.
- PRŮCHOVÁ K. (2006): Dyleňský kras. MS. Bakalářská práce. 57 s. Západočeská univerzita v Plzni, Pedagogická fakulta. Plzeň.
- QUITT, E. (1971) Klimatické oblasti ČSR. 1: 500 000. Geografický ústav. ČSAV. Brno.
- ŘEHÁK J. - HÝSEK J. (1973): Jeskyně v Horních Albeřicích. Československý kras, 25, 19-27. ČSAV. Praha.
- STAROBOVÁ M. (1979): Litovel I. fáze. Předběžný hydrogeologický průzkum. – Geotest Brno. MS Geofond P28544.
- STAROBOVÁ M. (1981): Litovel II. fáze. Podrobný hydrogeologický průzkum. – Geotest Brno. MS Geofond P35680.
- STAROBOVÁ M. (1983): Litovel III. fáze. Podrobný hydrogeologický průzkum. – Geotest Brno. MS Geofond P33379.
- STAROBOVÁ M., HÁLEK V. (1986): Litovel III. fáze. Podrobný hydrogeologický průzkum. – MS Geotest Brno.
- ŠEDA S. – Šouta M. – Zeman O. – Milický M. – Novotný T. – Mikeladzová J. - Malina M. (2013): Bilanční studie podzemních vod na území CHKO Litovelské Pomoraví; Závěrečná zpráva. MS.. OHGS s.r.o. Ústí nad Orlicí.

TÁSLER R. (2015): Hydrogeologická situace Albeřické jeskyně v Krkonoších; Speleofórum, 34: 35-37. Česká speleologická společnost. Praha. ISSN 1211-8397.

TÁSLER R. (2017): Opilecká jeskyně – nové prostory v Albeřické jeskyni; Speleo, 72: 4-7. Česká speleologická společnost. Praha. ISSN 1213-4724

VRÁNA, S. - ŠTĚDRÁ, V. (1997): Geological model of Western Bohemia related to the KTB borehole in Germany. Sborník geologických věd, Geologie, svazek 47. 240 s. Český geologický ústav. Praha.

INTERNETOVÉ ZDROJE:

CINCIBUCH J. (2019): Aplikace GeoHydroSources. Videokojot @ github.com.

<https://github.com/videokojot/GeoHydroSources>. Datum přístupu: 8. 5. 2019

FIELD M. (2002): The QTRACER2 program for Tracer Breakthrough Curve Analysis for Tracer Tests in Karstic Aquifers and Other hydrologic Systems. U.S. Environmental protection agency. <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=54930> datum přístupu 27. 4. 2019

FLIR SYSTEMS INC. (2019): Produkty. FLIR C3 datasheet.

https://www.flir.eu/globalassets/imported-assets/document/16-1751-ins-c3-datasheet_bld_031_us.pdf datum přístupu 25. 4. 2019

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA (2019): Geologické mapy ČR 1:25000. Mapové aplikace ČGS. http://mapy.geology.cz/geocr_25/; datum přístupu 4. 5. 2019

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA (2019): Geologické mapy ČR 1:50000. Mapové aplikace ČGS. http://mapy.geology.cz/geocr_50/; datum přístupu 4. 5. 2019

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA (2019): Vrtná prozkoumanost. Mapové aplikace ČGS. https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/; datum přístupu 4. 5. 2019

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚŘAD (2019): Historická data. Mapy charakteristiky klimatu. <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu#> datum přístupu 1. 5. 2019

ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘIČSKÝ A KATASTRÁLNÍ (2019): Geoportál. Geoprohlížeč. <https://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/> datum přístupu 1. 5. 2019

MATOUŠEK J. (2006). Lineární programování. MFF UK. <https://iti.mff.cuni.cz/series/2006/311.pdf> datum přístupu 8. 5. 2019

VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T.G.MASARYKA, V.V.I. (2019): Hydrogeologický informační systém VÚV TGM. Mapa VH a ochrana vod. https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=HVMAP_MAIN&IFRAME=0&lon=15.4871695&lat=49.7692482&scale=1935360 datum přístupu 27. 4. 2019

WTW (2019): Produkty. Konduktometr ProfiLine Cond 3310.

<https://www.wtw.com/en/products/product-categories/portable-meters/portable-meters/profiline-cond-3310.html?mobile=292> datum přístupu 25. 4. 2019