

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Aplikovaná geologie



**Bc. Tomáš Kohn**

**Podzemní vody a lázeňské prameny Lázní Jeseník: Nová hydrogeochemická data**

Underground waters and springs at Jeseník Spa: New hydrogeochemical data

Diplomová práce

Vedoucí závěrečné práce/školitel: Mgr. Viktor Goliáš, PhD.

Praha, 2018

**Prohlášení:**

Čestně 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 dne 7. 5. 2018

.....

podpis

#### Abstrakt:

Tato diplomová práce pojednává o proběhlém plošném průzkum vodních zdrojů v okolí Priessnitzových léčebných lázní, za účelem vyhledávání přírodních léčivých zdrojů a sběru moderních dat pro zhodnocení radiohydrogeochemické situace zájmového území.

Zájmové území se nachází v horském prostředí v masivu Hrubého Jeseníku. Hydrogeologicky se jedná o prostředí krystalinika, které je tvořeno převážně metamorfovanými horninami Českého masívu, moravskoslezské oblasti, konkrétně obalu desenské skupiny silezika.

Celkem bylo evidováno 83 objektů a z toho mnohé byly navštíveny opakovaně. Měřeny byly fyzikální parametry (teplota, pH, Eh, vodivost), aktivita  $^{222}\text{Rn}$ , průtok. Dále bylo u většiny zdrojů stanovováno chemické složení a u vybraných zdrojů také obsahy tritia. Proběhla plošná konduktometrie, termometrie a sondáž pro vyhledávání peloidů. Nebyl nalezen žádný zdroj vody (či peloid), který by splňoval kritéria přírodního léčivého zdroje (dle lázeňského zákona).

Nicméně celková hydrogeologická a hydrochemická situace je značně složitá. Jak geneze vod, tak jejich chemické složení je značně heterogenní a silně ovlivněno složitou geologickou stavbou. Generelně jsme vyčlenili tři typy vod dle chemického složení a rozdělili vody dle geneze na „zlomové“ a vody ovlivněné průtokem v kvartéru. Také byly nalezeny dosud neznámé anomální objekty, které se vymykaly běžným hodnotám.

#### Abstract:

This thesis deals with the areal survey of water resources in the area of Priessnitz baths, to search for natural medicinal sources and advanced data collection for evaluation radiohydrogeochemical situation of the area.

The area of interest is situated in the Hrubý Jeseník mountains. Hydrogeologically it is a hard rock, which consists mainly of metamorphic rocks of the Bohemian Massif, the Moravian-Silesian region, presented as the metamorphic envelope of the desens group of Silenics.

Altogether, 83 objects were recorded and many of them were visited repeatedly. Physical parameters (temperature, pH, Eh, conductivity), activity  $^{222}\text{Rn}$  and flow rate were measured. In addition, the chemical composition and tritium contents were determined on selected sources. Conductometry, thermometry, and probes for peloids were conducted. There was no source of water (or peloid) that would reach the criteria of a natural healing source (according to the Czech spa law).

However, the overall hydrogeological and hydrochemical situation is quite complicated. Both the genesis of water and its chemical composition is highly heterogeneous and influenced by the heterogenous geological structure. Generally, we have distinguished three types of water according to the chemical composition. We also divided the water sources according to their genesis to "fault sources" and water affected by flow in the quaternary. New anomalous objects that were out of ordinary values were also found.

## Poděkování

Na prvním místě bych rád poděkoval mému školiteli Mgr. Viktorovi Goliáši, Ph.D. za trpělivé a odborné vedení mé práce. Společně jsme strávili mnoho dní v terénu při sběru dat a také byl vždy k dispozici při jejich vyhodnocení. A jeho zápal pro tuto tematiku mi byl vždy inspirací.

Dále je třeba poděkovat vedení a zaměstnancům Priessnitzových léčebných lázní, a.s., neboť výzkum proběhl právě z iniciativy této společnosti a z velké části také z jejich finančních zdrojů. Jmenovitě jsou to: Ing. Vladimír Odehnal, Ing. Roman Provazník, Mgr. Jiří Glabazňa, Ing. Roman Illek, Marian Lovas a další. V průběhu terénních akcí nám byli vždy nápomocni a poskytli nám potřebné zázemí v areálu lázní.

Za velkou ochotu děkuji společnosti Vodovody a kanalizace Jesenicka, a.s. za pomoc při průzkumu vodárenských záchyťů a soutokových šachet. Pouze díky dobré vůli nám poskytli mapy jímacích objektů a vodovodního potrubí. Dále v průběhu terénních akcí poskytli ochotné zaměstnance, kteří nám zpřístupnili vodárenské objekty a byli k dispozici při měření.

A v neposlední řadě je třeba vyjádřit velké díky širokému spektru odborníků, se kterými byly konzultovány jak výsledky, tak i průběh terénních prací. Konkrétně jsou to: RNDr. František Pastuszek, doc. RNDr. Jiří Bruthans, Ph.D., RNDr. Jaromír Šantrůček, RNDr. Ph.Dr. Jiří Dohnal, Ph.D., Doc. MUDr. Dobroslava Jandová, CSc., RNDr. Vladimír Řezníček, RNDr. Mojmír Opletal, CSc., RNDr. Josef Večeřa, Ph. D. a další.

Poděkování patří také laboratořím geologických ústavů PŘF UK, kde proběhly většiny analýz konkrétně Lence Jílkové, Ing. Věře Vonáskové, doc. RNDr. Ladislavu Strnadovi, PhD. a Mgr. Martinu Slavíkovi. A také doc. Mgr. Petru Drahotovi, Ph.D., který nám ochotně zapůjčil spektrofotometr pro měření koncentrací chloridových iontů na terénní základně.

## Obsah:

Seznam obrázků	6
Seznam tabulek	7
Seznam příloh	8
1. Úvod a cíle práce	9
2. Život a odkaz Vincenze Priessnitze	10
3. Geologie oblasti	11
4. Předchozí hydrogeologické výzkumy na studovaném území	14
5. Metodika prací	15
Terénní práce	15
Práce na terénní základně	16
Analytické práce laboratorní	19
6. Výsledky	20
Konduktometrie	20
Termometrie	23
Radioaktivita vod	26
Průtoky	29
Chloridy	31
Chemické analýzy	34
Tritium	41
Výskyt peloidů	42
Sírný pramen	43
Rozdělení vod dle fyzikálních parametrů	45
7. Shrnutí výsledků a diskuse	49
8. Závěr a doporučení dalších prací	52
9. Literatura	54

## Seznam obrázků

- Obr. 1 Podrobná geologická situace Lázní Jeseník a okolí. Zmenšený náhled GISové vrstvy mapy v měřítku 1 : 10000.
- Obr. 2. Kapalinový scintilační spektrometr TRIATHLER použitý pro stanovení aktivity  $^{222}\text{Rn}$  ve vodách na terénní základně.
- Obr. 3 Spektrum alfa záření vzorku Jitřního pramene. Po uplynutí více jak tří hodin dosáhne radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) rovnováhy se svými krátkodobými dceřinými produkty ( $^{218}\text{Po}$  a  $^{214}\text{Po}$ ), které se podílejí na signálu vzorku.
- Obr. 4 Spektrofotometr Hach-Lange DR3900 použitý pro stanovení koncentrace chloridů na terénní základně.
- Obr. 5 Měřicí kyvety se vzorky s různými koncentracemi chloridů.
- Obr. 6 Závislost konduktivity pramenů a povrchových toků na nadmořské výšce proložená exponenciálou. Nad grafem uvedena rovnice této regrese.
- Obr. 7 Výřez oblasti severní části území Lázní Jeseník s vyznačenými konduktivitami pramenů a vodních toků. Mapováním bylo nalezeno několik zdrojů se zvýšenou konduktivitou
- Obr. 8 Podrobná situace na nepojmenovaném odtoku z Balneoparku v místě skrytého vývěru Meduňkového pramene do koryta při jeho lokalizaci dne 29. 6. 2016. Vyznačeny teploty a konduktivity i pozice obou lokalizovaných přítoků, Meduňkového pramene a v tomto období vydatnějšího Meduňkového pramene A.
- Obr. 9 Provizorní zachycení Meduňkového pramene A v korytě potoka po svedení toku mimo skrytý vývěr. Vyznačeny konduktivity a teploty obou vod i směsi na odtoku pod zachyceným vývěrem. Situace dne 29. 6. 2016. Foto Viktor Goliáš.
- Obr. 10 Závislost teploty pramenů a vodárenských zdrojů na nadmořské výšce. Vyneseny průměrné teploty z let 2015-2017. Ve strmé linii na spojnici pramene Svornosti až V12 (Kalvodka) se vyskytují zdroje primární, o původní teplotě, nad touto linií pak vody sekundárně oteplené delším průtokem v kvartéru či provedeným způsobem záchyty.
- Obr. 11 Podrobná termometrie oblasti ukončení kvarcitového pruhu (zde zakrytý kvartérem) mezi Slovanským a Pražským pramenem mapovaná dne 27. 6. 2016. Údaje u pramenů či měření na toku vyjadřují teplotu vody ve  $^{\circ}\text{C}$  a průtok v litrech za sekundu.
- Obr. 12 Teplý pramen, divoký vývěr v oblasti mezi Slovanským a Pražským pramenem. Teplota  $10.3^{\circ}\text{C}$ , průtok 3 l/min, aktivita 4 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$  (Foto Viktor Goliáš, 27. 6. 2016).
- Obr. 13 Studený pramen, divoký vývěr v oblasti mezi Slovanským a Pražským pramenem. Teplota  $8.1^{\circ}\text{C}$ , průtok 1.8 l/min, aktivita 75 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$  (Foto Viktor Goliáš, 27. 6. 2016)..
- Obr. 14. Mapa severní části území Lázní Jeseník s výsledky termometrie pramenů a toků v období zimního holomrazu (7. 1. 2017). Zvýšené teploty jsou lokalizovány na primárních, nevychlazených zdrojích vod. Teplota vzduchu  $-12,5^{\circ}\text{C}$ .
- Obr. 15 Závislost aktivity vod na teplotě. Vynesena všechna data z let 2015-2017.
- Obr. 16 Detail centra pramenní oblasti se zdroji se zvýšenou aktivitou vod.
- Obr. 17 Hlavní přítok do čerpací stanice pod Bezručovým pramenem o výkonu 240 l/min ze tří jímacích objektů nad Trojpramenem. Foto Viktor Goliáš 2015.
- Obr. 18 Schéma vodárenského jímání „Kalvodka“ s vyznačením obsahu chloridů, vodivosti a aktivity v jednotlivých jímacích objektech.
- Obr. 19 Vnější vzhled objektu vodárenského záchyty „Kalvodka“ se zvýšenou koncentrací chloridů (LJ1/V6). Foto Viktor Goliáš 2016.
- Obr. 20 Graf závislosti měřených hodnot  $\text{HCO}_3^-$  a vypočtených dle elektroneutality roztoku proložený růstový model von Bertalanffy (1957). Modrý interval vymezuje rozmezí 95% pravděpodobnosti. Zelená přímka vyjadřuje lineární závislost  $y = x$ .

- Obr. 21 Dendrogram sestavený z výsledků stanovení chemického složení vod Lázní Jeseník. Skupiny vyjadřují chemickou příbuznost jednotlivých zdrojů vod.
- Obr. 22 Rozložení vstupních hodnot dendrogramu v mg/l pro skupinu č. 1.
- Obr. 23 Rozložení vstupních hodnot dendrogramu v mg/l pro skupinu č. 2.
- Obr. 24 Rozložení vstupních hodnot dendrogramu v mg/l pro skupinu č. 3.
- Obr. 25 Schématická mapa pozice sond průzkumu výskytu peloidů severní části oblasti Lázní Jeseník
- Obr. 26 Přetok Sirného pramene po naražení ruční sondou, krátce po částečném ustálení. Foto Tomáš Kohn 17. 5. 2017.
- Obr. 27 Foto vývěru Sirného pramene po odkrytí bagrovým výkopem dne 1. června 2017. Foto Roman Illek, použito se souhlasem autora.
- Obr. 28 Rozložení vstupních hodnot pro skupinu A. Hodnoty teploty [°C] jsou 10 x větší. Vodivost je vyjádřena v [μS/cm] a aktivita <sup>222</sup>Rn [Bq/l].
- Obr. 29 Rozložení vstupních hodnot pro skupinu B1. Hodnoty teploty [°C] jsou 10 x větší. Vodivost je vyjádřena v [μS/cm] a aktivita <sup>222</sup>Rn [Bq/l].
- Obr. 30 Rozložení vstupních hodnot pro skupinu B2. Hodnoty teploty [°C] jsou 10 x větší. Vodivost je vyjádřena v [μS/cm] a aktivita <sup>222</sup>Rn [Bq/l].
- Obr. 31 Rozložení vstupních hodnot pro skupinu C1. Hodnoty teploty [°C] jsou 10 x větší. Vodivost je vyjádřena v [μS/cm] a aktivita <sup>222</sup>Rn [Bq/l].
- Obr. 32 Rozložení vstupních hodnot pro skupinu C2. Hodnoty teploty [°C] jsou 10 x větší. Vodivost je vyjádřena v [μS/cm] a aktivita <sup>222</sup>Rn [Bq/l].
- Obr. 33 Svodná mapa nalezených hydrochemicky a hydrologicky anomálních objektů v rámci zkoumaného území Lázní Jeseník

#### Seznam tabulek

- Tab. 1 Přehled všech pramenů ve zkoumané oblasti seřazených dle klesajícího průtoku, resp. jeho průměrné výše v letech 2015-2017. Tučným písmem zvýrazněny názvy využívaných zachycených zdrojů, normálním písmem názvy ostatních, tj. divokých (nezachycených) vývěrů.
- Tab. 2 Výsledky stanovení obsahu chloridů laboratorní analýzou (2015) a stanovených v terénní laboratoři kyvetovým testem (2016). Zvýšené hodnoty vyznačeny tučně.
- Tab. 3 Přehled vypočtených molárních hydrochemických typů a příslušnost k chemické skupině rozlišené klastrovou analýzou ve vodách Lázní Jeseník
- Tab. 4 Základní statistika vstupních hodnot skupiny č. 1.
- Tab. 5 Základní statistika vstupních hodnot skupiny č. 2.
- Tab. 6 Základní statistika vstupních hodnot skupiny č. 3.
- Tab. 7 Výsledky stanovení aktivity tritia (<sup>3</sup>H) ve vybraných vodách oblasti Lázní Jeseník
- Tab. 8 Základní statistika nadmořské výšky a vstupních dat (vodivost, teplota a aktivita <sup>222</sup>Rn) skupiny A.
- Tab. 9 Základní statistika nadmořské výšky a vstupních dat (vodivost, teplota a aktivita <sup>222</sup>Rn) skupiny B1.
- Tab. 10 Základní statistika nadmořské výšky a vstupních dat (vodivost, teplota a aktivita <sup>222</sup>Rn) skupiny B2.
- Tab. 11 Základní statistika nadmořské výšky a vstupních dat (vodivost, teplota a aktivita <sup>222</sup>Rn) skupiny C1.

Tab. 12 Základní statistika nadmořské výšky a vstupních dat (vodivost, teplota a aktivita  $^{222}\text{Rn}$ ) skupiny C2.

### Seznam příloh

- Příloha 1 Mapa konduktivit pramenů, vodárenských záchytů (průměr 2015–2017) a vodních toků (2015) oblasti Lázní Jeseník na podkladě geologické mapy území.
- Příloha 2 Mapa teploty pramenů (2015-2017) a vodních toků (2015) oblasti Lázní Jeseník na podkladě geologické mapy území.
- Příloha 3 Mapa radioaktivity vod pramenů Lázní Jeseník na podkladě geologické mapy území. Průměrné aktivity rozpuštěného radonu z měření v letech 2015-2017
- Příloha 4 Mapa průtoků pramenů Lázní Jeseník na podkladě geologické mapy území. Průměrné průtoky z měření v letech 2015-2017
- Příloha 5 Mapa průtoků povrchových toků (ploché sloupce) a vodovodní jímací sítě (prostorové sloupce) Lázní Jeseník na podkladě geologické mapy území. 9/2015
- Příloha 6 Hydrochemické typy analyzovaných vod Lázní Jeseník. Velikost symbolu vyjadřuje celkovou mineralizaci, barevné výseče pak podíly molárních ekvivalent obsažených složek. Číslo označuje skupinu klastrové analýzy.
- Příloha 7 Souhrnná tabulka měřených pramenů (9/2015, 6/2016 a 5/2017)
- Příloha 8 Výsledky chemických analýz – hlavní ionty (9/2015, 6/2016 a 5/2017)
- Příloha 9 Výsledky stanovení mikroprvků ve vodách Lázní Jeseník 9/2015
- Příloha 10 Kontrolní analýzy vod. Reprint výstupních protokolů firmy GEOTest, a.s.
- Příloha 11 Dokumentace sond průzkumu výskytu peloidů severní části oblasti Lázní Jeseník
- Příloha 12 Dendogram sestavený Wardovou metodou vycházející z normalizovaných dat vodivosti, teploty a aktivity  $^{222}\text{Rn}$ .
- Příloha 11 Rozdělení dle klastrové analýzy (příloha 12).

## 1. Úvod a cíle práce

Cílem provedeného výzkumu byl plošný radiohydrogeochemický průzkum pro získání moderních radiohydrogeochemických údajů z celého vývěrového území. Druhým sledovaným cílem bylo vyhledávání indicií pro nalezení přírodního léčebného zdroje ve smyslu lázeňského zákona 164/2001 Sb. (Lázeňský zákon, 2001). Tento zákon definuje přírodní léčivý zdroj jako přirozeně se vyskytující minerální vodu, plyn nebo peloid, které mají vlastnost vhodnou pro léčebné využití, a o tomto zdroji je vydáno osvědčení. Peloidem se rozumí rašelina, slatina nebo bahno. Minerální voda je definována obsahem nad 1 g/l rozpuštěných látek nebo nad 1 g/l rozpuštěného CO<sub>2</sub>. Dále vody s přirozenou teplotou vyšší než 20 °C nebo aktivitou Rn<sup>222</sup> vyšší než 1,5 kBq/l, případně i dalších specifických složek.

Priessnitzovy léčebné lázně jsou známy dlouho tradicí vodoléčebných procedur. Základem jsou původní Priessnitzovy procedury, využívající střídání působení tepla a chladu. K tomu dochází v různých formách jednofázových, či více fázových pololázní, skotského střiku a sauny, v kombinaci s pohybovými terapiemi. Dnes je pacientům k dispozici také celá řada dalších moderních léčebných metod jako: inhalace, mechanoterapie, elektroléčba, masáže a mnoho dalších procedur (Kubík 2016). Neodmyslitelnou součástí PLL je také jedinečné horské mikroklima, kterému někteří autoři přikládají zcela zásadní význam z hlediska balneologického působení (Quitt 2003). Dosud zde nebyl nalezen žádný přírodní léčivý zdroj ve smyslu lázeňského zákona.

Zhodnocení byly podrobeny jak v stávající (lidskou činností podchycené) prameny, tak „divoké“ (přirozeně vyvěrající) prameny, ale také většina vodárenských objektů ve vlastnictví společnosti VaK (Vodovody a kanalizace Jesenicka, a. s.). Zdroje byly podrobeny měření fyzikálních parametrů v terénu a stanovení aktivity <sup>222</sup>Rn na terénní základně, následované laboratorními chemickými rozbory odebraných vzorků. Dále bylo v rámci terénních prací provedeno také sondování pro vyhledávání peloidů.

## 2. Život a odkaz Vincenze Priessnitze

Život a odkaz Vincenze Priessnitze (1799–1851) byl v poslední době zpracován v několika publikacích, které zpracovali Kubík (2016), Kočka (2006 a 2001) a Selinger (2014) (z němčiny přeložil MUDr. Alois Kubík v roce 2014).

Vincenz Priessnitz se narodil ve vesnici Gräfenberg jako nejmladší ze šesti dětí, avšak dva Vincenzovi bratři zemřeli již v útlém věku. Vincenz měl pouze velice omezené vzdělání, neboť již od dětství musel pomáhat na domácím hospodářství.

Dle dostupných údajů byl Vincenz Priessnitz nadaný pro léčení od přírody. Vycházel čistě ze své intuice a pozorování přírodních pochodů. Dokonce se traduje, že ho k myšlence léčby studenou vodou přivedlo pozorování zraněné srny, která si pravidelně chodila smáčet zraněný bok studenou vodou, když byl na pastvě dobytka. Své léčitelské metody prvně začal praktikovat sám na sobě. První pokusy proběhly v zimě roku 1814 (v 15 - ti letech), kdy si poranil prst při svážení dřeva z lesa. Ke zlomu v jeho životě však došlo na jaře 1816, kdy utrpěl vážné zranění hrudníku, jež přivolaný ranhojič označil za smrtelné. Vincenz však vlastním přičiněním a aplikací studených (dnes Priessnitzových) obkladů se zcela uzdravil a další rok již vykonával všechny práce v hospodářství. Tento sled událostí odstartoval Priessnitzovu éru léčitelství, která se mezi lidmi rychle roznesla.

Pro pomoc zde začaly proudit nemocní i z větších dálek, které ošetřoval pouze venku před hospodářstvím a mohl jim umožnit ubytování pouze ve stodole. To vedlo k nutnosti přestavět chalupu za účelem léčení pacientů. Takto vznikl roku 1822 první vodoléčebný léčebný ústav v Gräfenberku, který zde stojí do dnes a je v něm muzeum Vincenze Priessnitze. Léčba se postupně rozšiřovala, což vedlo, k nelibosti mnohých ranhojičů a lékařů. Za vznik Gräfenbergských lázní se považuje rok 1826. Toho roku došlo k výstavbě dalšího domu. Váhu, a novou klientelu Vincenzovi přinesla cesta do Vídně, o jejímž původním účelu se vedou diskuze. Roku 1829 byl Vincenz Priessnitz obžalován a odsouzen za nedovolené léčení, ale při odvolání byl rozsudek zrušen pro nedostatek důkazů. A o dva roky později dostal povolení k provozu lázeňského zařízení, za účelem očisty těla. Mohl však přijímat pouze domácí hosty, nesměl podávat žádné léky a provádět chirurgické zákroky. Průběhu let přicházely další stížnosti a obtíže, ale také stoupal věhlas jeho lázní. Teprve roku 1835 byly všechny pochybnosti rozptýleny díky závěru komise vedené císařským dvorním radou doktorem lékařství baronem Ludvíkem von Türkheimem, jež byla ustanovena dvorní kanceláří. Jeho metody se následně rozšířily i dále do Evropy.

Ačkoli jeho lázně prosperovaly, tvrdý pracovní režim, psychické vypětí, krize hospodářství v kraji v letech 1846 až 1848 a snad i zranění z mládí si vybraly svou daň a roku 1847 utrpěl Vincenz Priessnitz příhodu a upadl do dvouhodinového bezvědomí. O této chvíli již se jeho stav nikdy nedostal na původní úroveň. Na jeho stavu se poté podepsaly také starosti o osud jeho panství ve světle hrozcí

prusko-rakouské války. Vincenz Priessnitz zemřel roku 1851 ve věku 52 let. Po jeho smrti na jeho místo nastupuje Dr. Josef Shindler, jež postavil dalších šest lázeňských domů, lázně dále rostly a prosperovaly.

Vincenz Priessnitz sám dodržoval velmi přísný režim a pracoval velice tvrdě. Vstával ve čtyři hodiny ráno a v zimě v pět. Svým pacientům byl stále k dispozici. Vincenz Priessnitz nebyl pouze uznávaný léčitel, ale také schopný hospodář a podnikatel. Součástí jeho léčebných postupů byla tvrdá disciplína, kterou vyžadoval od všech svých pacientů bez ohledu na původ. Je nutné poznamenat, že běžnými praktikami léčení v té době, bylo pouštění žilou, přikládání pijavek, vyvolávání průjmů a zvracení, takže je patrné, že Priessnitzovy metody byly skutečně revoluční. Z celé řady vodoléčebných procedur zde zmíním alespoň ty nejdůležitější, kterými jsou: obklady, zábaly (kombinace suchých a mokrých), otěry kůže, koupele ve formě pololázní, koupele rukou, nohou, hlavy, ale také uší, očí, či úst, sprchování a polevy. Dále aplikoval pracovní kúry jako štípaní, či řezání dřeva, chůzi s bosýma nohama, sluneční lázně a pohybové terapie. Do dnešních dní se zachovaly spíše myšlenky Vincenze Priessnitze, než jeho původní procedury, které jsou zřejmě na dnešní poměry příliš tvrdé.

### 3. Geologie oblasti

Oblast se vyznačuje značně komplikovanou stavbou, kterou postupně studovalo již množství autorů, kteří sestavili řadu map v měřítkách 1 : 50 000 a 1 : 25 000 (Bussinov 1972, Skácel 1978a, Cháb et al. 1990 a Cháb et al. 2004).

Studované území je součástí krystalinika Českého masívu, moravskoslezské oblasti, konkrétně desenské skupiny silezika, a je považováno za její obal. V novějších publikovaných pracích je území samostatně vyčleňováno jako jednotka metamorfovaného obalu žulovského plutonu, součást vrbenské skupiny (Müller ed. 2003, Cháb et al. 2004). Litologicky to je relativně pestrá série s metamorfity protolitu vulkanosedimentárního původu, spodnopaleozoického stáří (devon). Převládají zde biotitické a biolit-sillimanitické pararuly, pozvolna, směrem ke kontaktu s žulovským plutonem, přecházející v migmatity. Z dalších hornin zde vystupují časté amfibolity, kvarcity, často velmi „špinavé“ v důsledku příměsí, vápenatosilikátové horniny (erlány), vzácněji (na území jediné, avšak hydrogeologicky významné) i čisté krystalické vápence-mramory. Mimo samotný karbonický žulovský pluton se zde vyskytují i drobná tělíška a proniky granitoidů do krystalinického obalu. Relativně časté jsou také pegmatitové žíly jednoduchého složení, i žíly křemenné, konturující průběhy některých zlomových ploch.

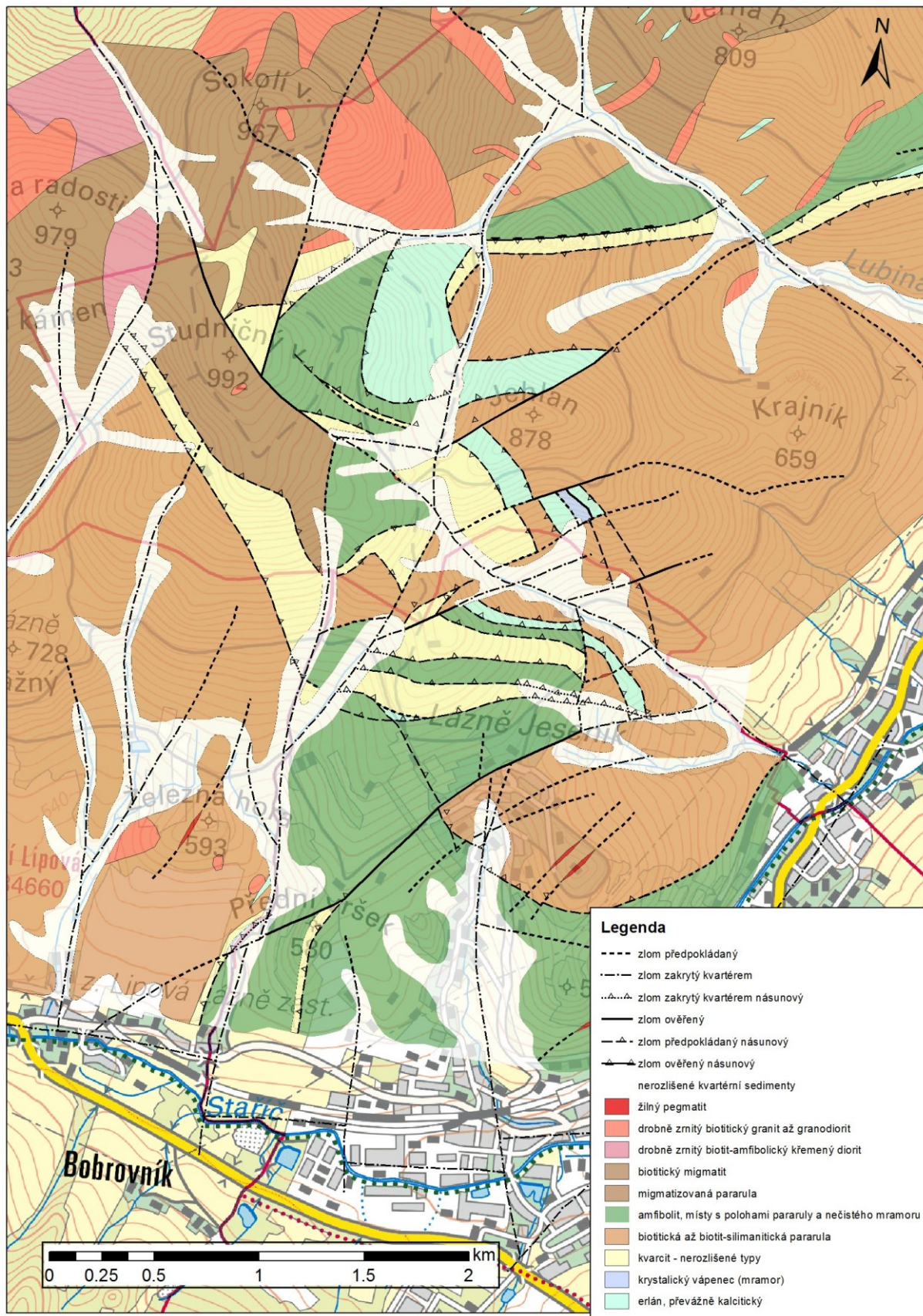
Velkou hydrogeologickou roli hrají jistě i kvartérní pokryv. Území lze charakterizovat jako zakryté, s minimálním počtem odkryvů a výchozů. (Což poskytuje jistě i velký prostor pro geologickou „fantazii“ při detailním mapování a související interpretaci geologické stavby.) Deluviální uložení jsou

reprezentovány zejména hlinito-kamenitými svahovinami a širokými poli sutí, na které jsou také vázány některé z významných pramenů.

Nové geologické informace přináší syntéza Opletala (2015), velkého znalce geologie nejen Jesenicka, která reviduje a doplňuje předchozí poznatky ve smyslu přítomnosti alpinotypní tektoniky, tedy násunových zlomů. Tato nová rukopisná mapa v měřítku 1:10 000 je tak dosud nejpodrobnějším geologickým podkladem, který byl kdy k dispozici pro úzkou oblast Priessnitzových lázní (ca. 25 km<sup>2</sup>). Tato mapa byla námi digitalizována do formy GIS vrstvy a použita jako podklad pro mapování i interpretaci zjištěných hydrochemických dat (Obr. 1).

Hlavními zlomovými liniemi, již mimo detailně zkoumané území, jsou okrajový sudetský zlom směru SZ-JV, probíhající v údolí přes Lázně Lipová a příčný zlom, předpokládaný v údolí města Jeseník, pokračující údolím Bělé na Českou Ves a dále severněji na Mikulovice (Opletal 2015). Okrajový sudetský zlom odděluje zkoumanou oblast od severní části keprnické klenby. Podle výsledků provedeného geofyzikálního a vrtného průzkumu (Řezníček et al. 1994) je zlomová linie tvořena několik set metrů mocnou zónou tektonizovaných hornin s dílčími liniemi (švy) lubrikovanými mobilizovaným grafitem. Vrtnými pracemi byla však ověřena tato významná tektonická porucha jako sevřená a pro vodu nepropustná.

V rámci zkoumaného území se mimo zmíněných násunových zlomů vyskytují i časté poruchy „normální“. Významnou linií je zlom v údolí potoka Lubina, pokládáný Opletalem (2015) za odsunutě pokračování bělského zlomu, na kterém vyvěrají jihovýchodně od zkoumaného území četné minerální prameny (Karlova Studánka, Vidly, Dolní Moravice). Jiní geologové ovšem tuto, do jisté míry odvážnou interpretaci popírají (Večeřa, úst. sděl.). Další významnou linií je jistě i zlom v údolí potoka pod Bezručovým pramenem. Zde se obrací směry interpretovaných násunových ploch od sklonu severovýchodního na sklon jihozápadní (Obr. 1). Tento zlom je tak osní strukturou násunové stavby severní části zkoumaného území, což podporuje i opakování erlanového pruhu v obou symetricky orientovaných krách. Okolí zlomu je silně tektonicky porušeno, o čemž svědčí velké množství pegmatitových i křemenných žil, které jsou zde z celého zkoumaného území bezkonkurenčně nejhojnější. Tento zlom je velmi významný i hydrogeologicky. Zde, na krátkém úseku potoka pod Bezručovým pramenem, je úsek s nejvyšším nárůstem průtoků z celého zkoumaného území. Celá oblast Hrubého Jeseníku je také recentně makroseismicky seismicky aktivní, s otřesy o velikosti 1 – 2,5 magnitudo (Pazdírková et al 2013).



Obr. 1 Podrobná geologická situace Lázní Jeseník a okolí. Zmenšený náhled GISové vrstvy mapy v měřítku 1 : 10000.

## 4. Předchozí hydrogeologické výzkumy na studovaném území

O chemickém složení ani fyzikálních vlastnostech vod světoznámých lázní v Jeseníku nebyly dlouhá léta vůbec žádné informace. Prvním, kdo dal provést částečný rozbor týkající se zejména hygienické nezávadnosti vody z hlavního lázeňského vodovodu a jednoho lesního pramene, byl na počátku padesátých let tehdejší primář MUDr. Miroslav Hoffmeister.

Ještě krátce před ním se zajímal o radioaktivitu některých vybraných pramenů Hynie (1948). Stanovil tyto hodnoty: Zimní pramen (=Bezručův) 226 Bq/l, pramen Král Karol (=Rumunský) 107 Bq/l, pramen U slunných lázní (=vodárenská jímka nad Lázeňským vodojemem) 115 Bq/l, pramen Vincent (=Čeňkův) 88 Bq/l, Jitřní pramen 141 Bq/l, Mariin pramen (=pravděp. Mariin pod Josefovým a Drahuščiným) 56 Bq/l a pramen Jiřina (=?) 114 Bq/l.

Zatím nejrozsáhlejší výzkum zde provedl Rudolf Jirkovský, profesor Vysoké školy báňské v Ostravě, v roce 1950 (cit. 1951, 1953; později datovaná práce však obsahuje v pasáži o jeseníckých vodách reprint práce předchozí). Tento autor analyzoval celkem 59 vod (pramenů i vodárenských záchyťů) v úzkém i širším okolí lázní. Stanovil jak jejich radioaktivitu emanační metodou, tak u většiny vzorků provedl i zkrácenou chemickou analýzu ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , suma alkálií, suma  $\text{R}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{HCO}_3^-$ ), dále stanovil tvrdost vody v německých stupních, hmotnost odparku, manganistanové číslo, pH a teplotu. Jirkovský (1951, 1953) shrnuje, že všechny studované prameny mají nepatrné množství rozpuštěných součástí. Nejradoaktivnější jsou studené prameny hlubinné o teplotě 6 – 9.5 °C, naproti tomu povrchové prameny s teplotou 11 – 15 °C mají radioaktivitu nepatrnou. Vyzvedává výjimečnou hodnotu aktivity Jitřního pramene, 16.15 Macheových jednotek (=222 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$ ). Jirkovský též lituje, že mnohé pramenní záchyty byly v době výzkumu v důsledku dlouhodobě zanedbané údržby značně zašlé a nefunkční. Nemohly tak být odebrány a analyzovány některé (dnes díky nadšenému úsilí dobrovolníků opět tekoucí) významné prameny jako Pražský, Rumunský, Vilémův, Polský, Priessnitzův, Pokroku, Dobré naděje a další.

Cháb et al. (2004) se dotýkají vod Lázní Jeseník jen velice okrajově. Lépe uchopil problematiku ve svém shrnujícím textu Čurda in Müller ed. (2003), který mimo výše jmenovaných prací připomíná ještě nepublikovaný výzkum Michalíčka et al. (1993), kteří provedli v roce 1992 dvě široce pojaté (komplexní) analýzy Jitřního pramene. Kromě rozšířené chemické analýzy sledovali stopové prvky, bakteriologii, organické látky, rozpuštěné plyny a ve větší šíři i radiologické parametry tohoto významného zdroje. Z radiologických údajů je zajímavostí stanovení radia ( $^{226}\text{Ra}$ ), do té doby neprováděné, které však vyšlo okolo meze detekce použité metody (pouze 0.05 Bq/l při odběru 24. 6. 1992 a <0.04 Bq/l při odběru 30. 9. 1992).

Jak je patrné, přes svoji slávu se vody Priessnitzových lázní pozornosti výzkumníků příliš netěšily, moderní data (se vzácnou výjimkou Jitřního pramene) chybí úplně. I tato skutečnost byla silným popudem se jejich výzkumu podrobně věnovat.

## 5. Metodika prací

### Terénní práce

Práce v terénu byly rozděleny do čtyř akcí:

Září 2015 (6 dní) 22. 9. 2015 – 28. 9. 2015

Červen 2016 (7 dní) 23. 6. 2016 – 30. 6. 2016

Leden 2017 (1 den) 7. 1. 2017

Květen 2017 (4 dny) 15. 5. 2017 – 19. 5. 2017

Terénní pochůzky byly rozděleny do několika kategorií dle hlavního cíle průzkumu a časové posloupnosti. První proběhlo měření a vzorkování známých, zachycených pramenů. Poté následovaly plošná konduktometrická a termometrická měření za účelem dokumentace dosud neznámých vývěrů. Dále byly ve spolupráci s pracovníky Vak a.s. (Vodovody a kanalizace Jesenicka a.s.) měřeny a vzorkovány také vodárenské záchyty a soutokové objekty. V omezeném rozsahu byly v závěru poslední terénní akce ve vytipovaných lokalitách realizovány ruční zarážené sondy za účelem vyhledávání peloidů.

Terénní průzkum probíhal zpravidla ve dvoučlenných skupinách, přičemž každá skupina disponovala vlastní sadou měřících přístrojů, terénním zápisníkem, sadou pro odběr vzorků a topografickou mapou v měřítku 1 : 10 000. Při návštěvě vodního zdroje tak byl pořízen pasportizovaný záznam do terénního deníku obsahujícího kód objektu, GPS souřadnice, datum, měřené parametry a údaje o odběru vzorků.

V terénu byly měřeny tyto fyzikálně-chemické parametry: pH, vodivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), teplota a Eh (mV) přístroji firmy HANNA (pH/EC/TDS/T Combo tester HI98129 a pH/ORP/T tester HI98121), teplota byla měřena digitálním teploměrem VOLCRAFT DET3R.

Všechny zachycené prameny byly vzorkovány pro stanovení aktivity  $^{222}\text{Rn}$  a chemické rozборы. Divoké vývěry a vodárenské záchyty byly vzorkovány dle uvážení na základě zjištěných fyzikálně-chemických parametrů.

Vzorky pro chemické analýzy byly odebírány do HDPE lahvíček o objemu 50 ml zvlášť na kationty a zvlášť na anionty. Vzorky byly popsány lihovou fixou a zabaleny do potravinářské fólie tak,

aby nedošlo ke smazání označení. Vzorky pro stanovení kationtů byly okyseleny 1 ml koncentrované  $\text{HNO}_3$ , k zabránění precipitace kovů na stěnách vzorkovnice. Vzorky pro stanovení aniontů byly s opatrností odebrány bez vzduchové bubliny. V případě zákalu vzorku (pouze výjimečně) byl vzorek na místě bezprostředně po odebrání zfiltrován vakuovou aparaturou fy. Sartorius přes filtr MILIPORE 0.5  $\mu\text{m}$ . Vzorky byly na terénní základně uchovávány v lednici.

Dále byl v terénu měřen průtok. V případě zachycených vývěřů, či vývěřů kde bylo možné svést vodu do volného přepadu, byla použita metoda normované nádoby (také nazývána metodou objemovou). V případě kdy nebylo možné kvantifikovaně svést vodu do jedné nádoby, byl proveden alespoň kvalifikovaný odhad průtoku.

V závěrečné fázi výzkumu, v průběhu poslední terénní akce, byly u vybraných důležitých objektů paralelně odebrány také vzorky pro kontrolní analýzy, které provedla společnost GEOtest, a.s. Pro kontrolní analýzy byla na základě požadavků této kontrolní laboratoře odebrána jedna PET láhev o objemu 1,5 l a jedna HDPE láhev o objemu 100 ml do které bylo přidáno 0,5 ml koncentrované kyseliny dusičné. U těchto zdrojů byly také odebrány vzorky do PET lahví o objemu 1,5 l za účelem izotopových analýz tritia.

V konkrétních případech, v rámci průzkumu chloridových zdrojů, byly odebrány a na terénní základně měřeny také obsahy chloridových iontů, v rámci akce v červnu 2016. Vzorky byly odebrány do HDPE lahví o objemu 100 ml.

Třetí terénní akce v lednu 2017 byla zaměřena pouze na termometrické měření vybrané zájmové oblasti.

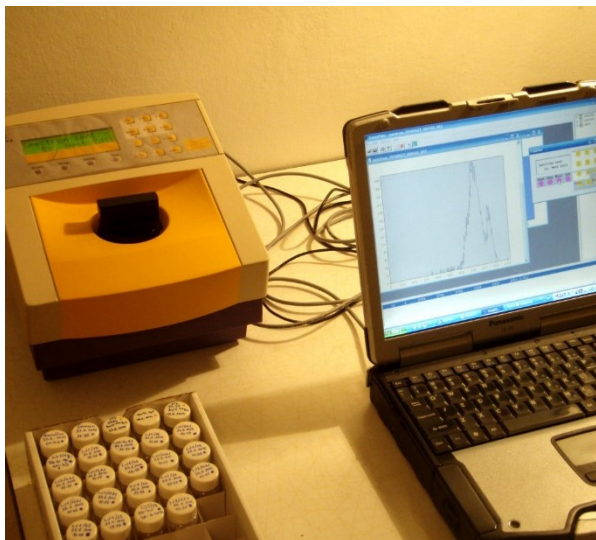
## Práce na terénní základně

### **Aktivita $^{222}\text{Rn}$**

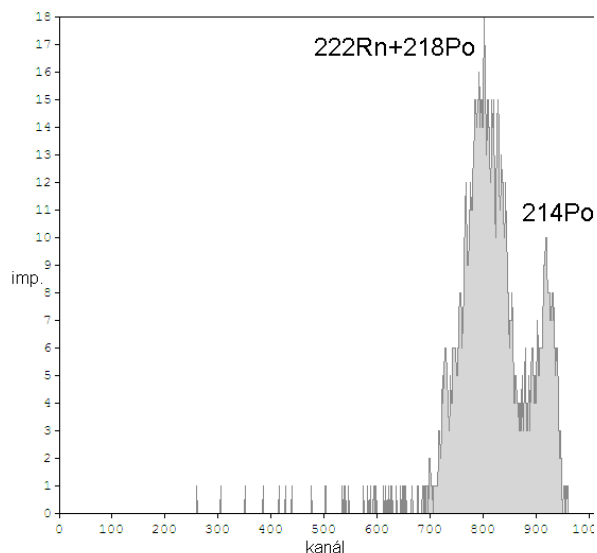
Měření radioaktivity vod, jako jednomu z důležitých faktorů jejich fyziologického působení, byla věnována mimořádná pozornost. Byla studována aktivita označovaná jako „přechodná“, tedy způsobená obsahem rozpuštěného plynu radonu ( $^{222}\text{Rn}$ ), která klesá jednak s jeho poločasem (3,82 dne), i se z vody radon intenzívně uvolňuje a uniká dle Henryho zákona, pokud je voda ponechána v kontaktu se vzduchem.

Z dřívějších měření (Jirkovský 1951, 1953) byla známá relativně nízká aktivita zdejších vod studených horských pramenů. Proto byla zvolena metoda s velmi nízkým detekčním limitem – kapalinná scintilace (LSC – liquid scintillation counting), a to její nejvíce citlivá varianta, označovaná jako metoda extrakční (Haaslahti et al. 2000, Pates a Mullinger 2007).

Byl využit přenosný kapalinový scintilační spektrometr TRIATHLER fy. Hidex (Finsko), umožňující separaci alfa od beta (+gamma) signálu (Obr. 2 a 3). Pro měření byl využit pouze signál alfa okna, kdy dochází kromě beta i k eliminaci signálu gama pocházejícího z okolního přirozeného prostředí, a tedy i silnému potlačení signálu pozadí.



Obr. 2 Kapalinový scintilační spektrometr TRIATHLER použitý pro stanovení aktivity  $^{222}\text{Rn}$  ve vodách na terénní základně.



Obr. 3 Spektrum alfa záření vzorku Jitřního pramene. Po uplynutí více jak tří hodin dosáhne radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) rovnováhy se svými krátkodobými dceřinými produkty ( $^{218}\text{Po}$  a  $^{214}\text{Po}$ ), které se podílejí na signálu vzorku.

Vzorky byly v terénu odebírány do 20 ml skleněných scintilačních lahvíček s předem odměřeným množstvím 10 ml organického scintilátoru Ultima Gold F (Perkin Elmer). Pomocí injekční stříkačky bylo dávkováno 10 ml zkoumané vody, lahvička byla uzavřena a obě fáze byly protřepány. V této chvíli dochází na základě rozdělovacího poměru (radon je velice lipofilní) k extrakci radonu do organické fáze scintilátoru. Na víčko lahvičky je zaznamenán kód pramene i datum a čas odběru. Vzorky byly měřeny na terénní základně po uplynutí minimálně tří hodin, kdy dojde k dosažení rovnováhy mezi radonem ( $^{222}\text{Rn}$ ) a jeho dceřinými krátkodobými izotopy polonia ( $^{218}\text{Po}$  a  $^{214}\text{Po}$ ). Ve spektru alfa záření se pak projevují všechny tři alfa zářiče (Obr. 3). Doba měření vzorku byla 10 minut. Standard i pozadí přístroje (destilovaná voda) byly měřeny 20 minut. Při tomto uspořádání byla mez stanovitelnosti  $0,3 \text{ Bq/l } ^{222}\text{Rn}$ . Obdobná metodika byla využita například při měření v nedaleké příhraniční lázeňské oblasti v Polsku, pro vody s podobnou aktivitou  $^{222}\text{Rn}$  (Kozłowska et al. 1999).

Pro kalibraci metody bylo využito kapalného standardu roztoku radia ( $^{226}\text{Ra}$ ) EB-7 Českého metrologického institutu, naředěného na aktivitu  $50,28 \text{ Bq/l } ^{226}\text{Ra}$ . Standard byl upraven do scintilační lahvičky stejnou metodikou jako měřené vzorky a uzavřen před měřením po dobu nejméně tří týdnů pro dosažení rovnováhy mezi mateřským radiem ( $^{226}\text{Ra}$ ) a dceřiným radonem ( $^{222}\text{Rn}$ ). Správnost stanovení radonu ve vodě byla pro aplikovanou metodu opakovaně ověřena na společné sadě

standardů i při společných vzorkovacích kampaních ve spolupráci se sesterskou laboratoří Polytechniky ve Wroclavi pod vedením prof. T.A. Przylibskiego.

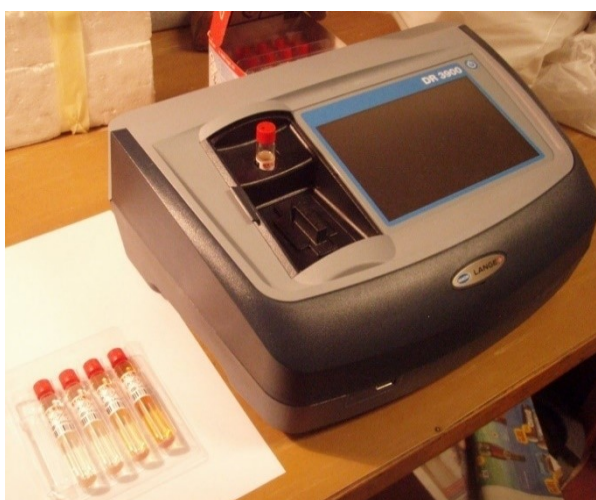
Přesnost stanovení je nepřímo závislá na aktivitě měřených vzorků. Byla kalkulována z naměřeného počtu impulsů (tzv. „counting error“) každého vzorku, v přehledu naměřených dat však, podobně jako u ostatních zjišťovaných veličin, není uváděna. Při výše popsané době měření (10 minut) je pro vzorky s aktivitou vyšší než 100 Bq/l relativní nepřesnost lepší než 2.5 %, pro aktivity nad 20 Bq/l <5.5 rel. %, pro aktivity nad 5 Bq/l je nepřesnost <13 %.

### **Stanovení koncentrace Cl<sup>-</sup> iontů**

V rámci prací na terénní základně byly také stanovány koncentrace chloridových aniontů.

Pro měření koncentrace chloridových aniontů byla použita spektrofotometrická metoda. Vzorek vody byl odebrán do zvláštní láhve, u které je pouze nutno zajistit, aby nebyla chloridovými ionty kontaminována. Cl<sup>-</sup> ionty jsou konzervativní a proto v průběhu transportu nedochází k jejich degradaci, sorpci, či těkání a proto není nutné vzorek nijak fixovat, či upravovat.

Měření chloridových iontů probíhalo na spektrofotometru HACH-LANGE DR3900 (Obr 4). Principem tohoto stanovení je pipetování přesného objemu vzorku do komerčně dodávané kyvety s činidlem, ve které dojde ke vzniku zbarvení reakcí s chloridovými ionty. Míra zbarvení je poté přímo úměrná množství těchto iontů (Obr 5). Měření probíhá vložením této kyvety do přístroje, který načtením čárového kódu na kyvetě sám vyhodnotí, o jaké měření se jedná, a následně měří absorbanci vzorku. Přístroj sám následně přepočte absorbanci na koncentraci příslušného iontu v mg/l<sup>-1</sup> dle tovární kalibrace.



Obr. 4 Spektrofotometr Hach-Lange DR3900 použitý pro stanovení koncentrace chloridů na terénní základně.



Obr. 5 Měřicí kyvety se vzorky s různými koncentracemi chloridů.

## Analytické práce laboratorní

Celkem byly využity tři laboratoře pro vyhodnocení námi odebraných vzorků. Největší množství analýz proběhlo v Laboratořích geologických ústavů (Albertov 6, 128 43 Praha 2, Česká republika), kde byly stanovovány kompletní chemické analýzy zahrnující tyto hlavní anionty:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  a kationty:  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$ . Hydrogenkarbonát ( $\text{HCO}_3^-$ ) byl stanovován titrací 20 ml vzorku 0,05 M kyselinou chlorovodíkovou. Vzhledem k malému množství titrovaného vzorku s nízkým obsahem hydrogenkarbonátu je tato metoda zatížena velkou nepřesností (viz kapitolu Chemické analýzy). Ostatní anionty byly stanovovány kapalinovou chromatografií. Kationty byly stanovovány metodou AAS (atomová absorpční spektrometrie), obsahy mikroelementů byly stanoveny metodou ICP-MS (hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem).

V izotopové laboratoři Přírodovědecké fakulty univerzity Karlovy (Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, Albertov 6, 128 43 Praha 2, Česká republika) byly stanovovány obsahy tritia, jako hodnota TU (tritium unit). Jedna TU je definována jako jeden atom tritia  $^3\text{H}$  na 10<sup>18</sup> atomů vodíku  $^1\text{H}$ , což je ekvivalentní hodnotě 0,118 Bq/l. Poločas rozpadu tritia je 12,32 let a vzniká přirozeně reakcí atmosféry s kosmickým zářením, ale také antropogenně použitím nukleárních bomb či pochází z výpustí jaderných elektráren, proto jsou interpretace ne zcela jednoznačné (IAEA 2013; IAEA/WMO 2015). Nepřesnost stanovení touto laboratoří je 0,8 - 1 TU.

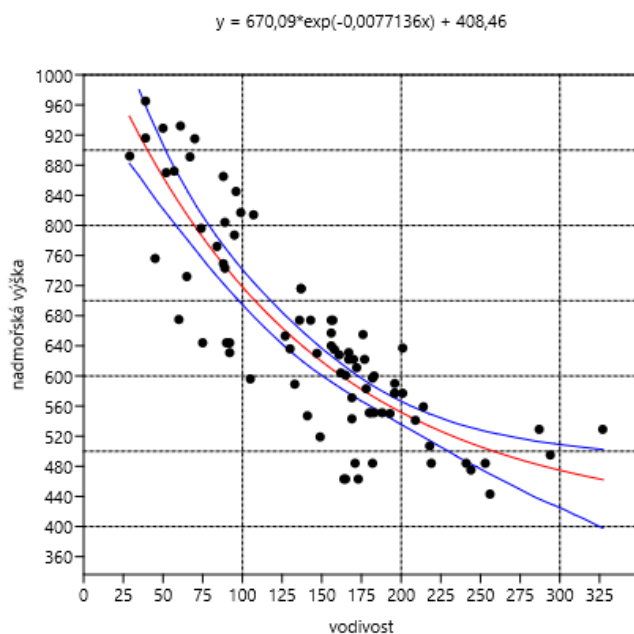
Pro kontrolu a ověření výsledků byla využita laboratoř firmy GEOTest a.s. v Brně. Zde bylo analyzováno pět vzorků vod, paralelně odebraných a analyzovaných i v laboratoři Přf UK v roce 2017. Zde byly stanovovány hlavní komponenty složení vod a některé fyzikální parametry. Celý protokol o zkoušce je uveden v Příloze 10.

## 6. Výsledky

Výsledková část je rozčleněna do několika podkapitol. Postupně je zde podán přehled výsledků v pořadí: Konduktometrická měření, termometrická měření, radioaktivita vod, průtoky, výsledky chemických analýz, tritiových analýz, průzkumu peloidů a výzkumu Sirného pramene. Měřené fyzikální parametry jsou shrnuty v příloze 7.

### Konduktometrie

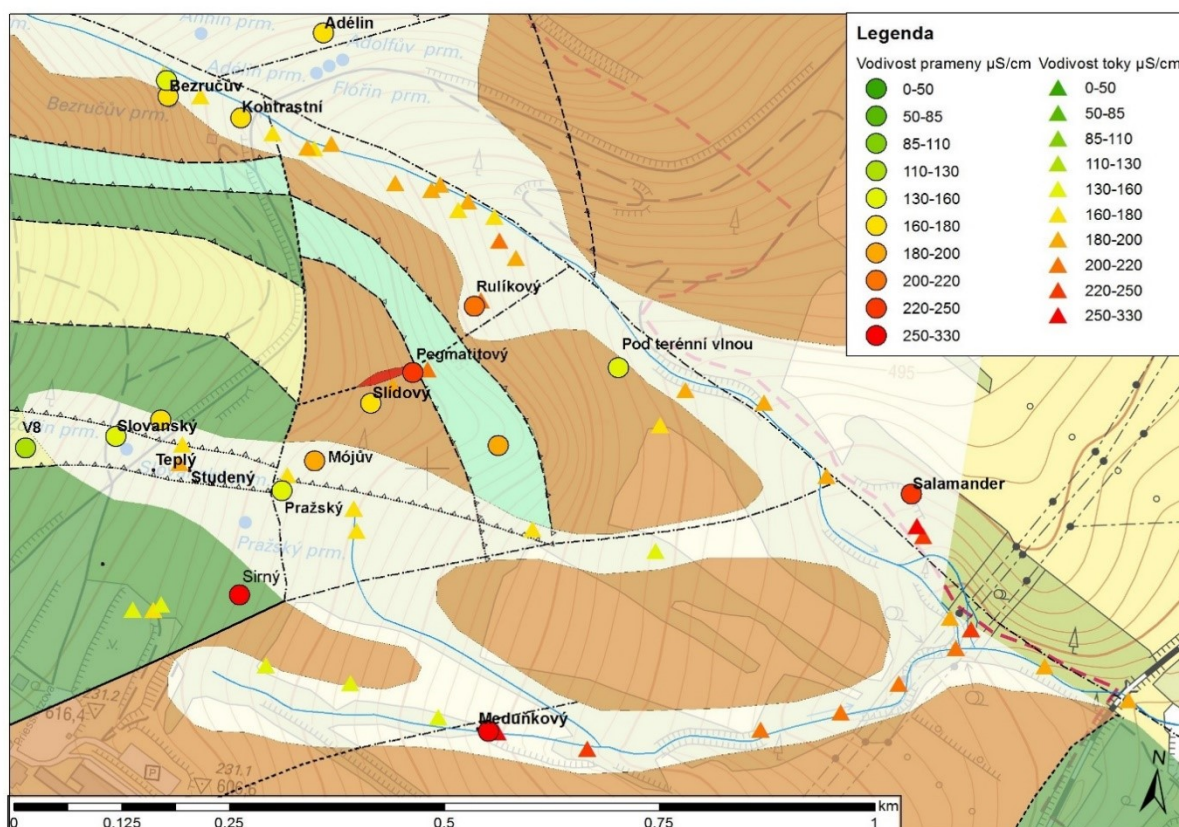
Konduktometrická (vodivostní) měření jsou vysoce efektivní metodou pro vyhledávání minerálních zdrojů, neboť vodivost je přímo úměrná množství rozpuštěných látek ve vodě. Měření konduktivity je zároveň zatíženo nízkou chybou a je velice rychlé. Po dokončení prvotního vzorkování známých pramenů následovalo plošné konduktometrické měření (Příloha 1), při kterém byly objeveny některé zajímavé vodní zdroje.



Obr. 6 Závislost konduktivity pramenů a povrchových toků na nadmořské výšce proložená exponenciálou. Nad grafem uvedena rovnice této regrese.

Z výsledků je jasně patrná závislost vodivosti, tedy celkového množství rozpuštěných látek na nadmořské výšce. Tyto data byly zpracovány ve statistickém programu PAST verze 3.15 (Hammer et al. 2001). Dle očekávání s klesající nadmořskou výškou vodivost roste. Tento trend je jasně patrný na Obr. 6. Tuto závislost nejlépe popisuje nelineární trend, konkrétně exponenciála ( $y = a * e^{bx} + c$ ). Její optimalizované (fitované) parametry jsou uvedeny v horní části obrázku. Modré meze označují 95 % pravděpodobnost výskytu. Teoreticky, s klesající nadmořskou výškou, může růst vodivost do nekonečna, protože tato závislost není zdola omezena. To však reálně není možné, a proto zde uvádím funkční hodnoty pro nadmořské výšky 200 m.n.m. = 551,7  $\mu\text{S/cm}$ , 100 m.n.m. = 718,3  $\mu\text{S/cm}$  a 1 m.n.m = 1073,4  $\mu\text{S/cm}$ . Mírně odlehlé tři hodnoty v pravé části grafu s nejvyššími hodnotami vodivosti jsou dále zmiňované zdroje: vodárenský záchyt V6 a dvě větve Meduňkového pramene LJ1/16 a LJ1/16a. V případě opakovaných měření jednoho zdroje jsou prezentovány průměrné

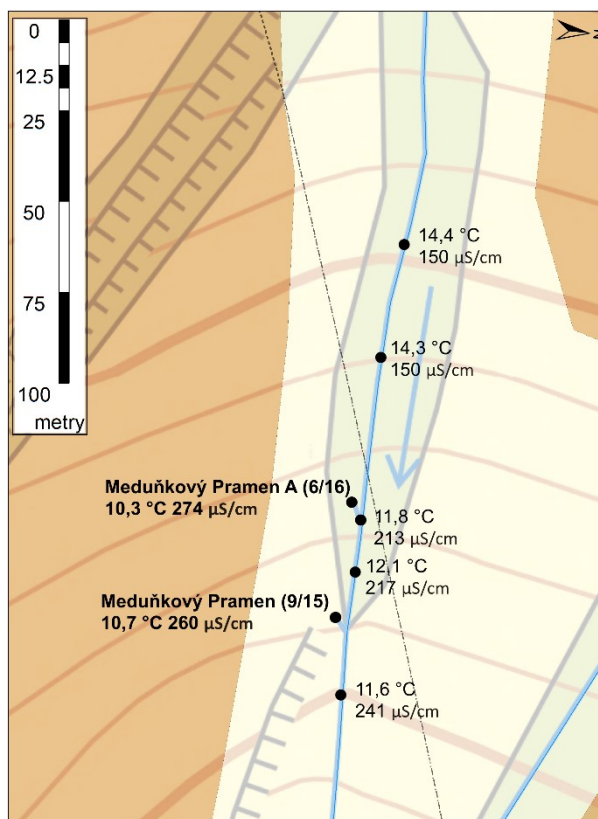
hodnoty. Tato závislost je dána sumací několika faktorů, které nelze od sebe jednoznačně odlišit (Domenico and Schwartz 1997). (1) Prvním významným faktorem je teplota, která s klesající výškou roste a tím dochází ke zvýšení koncentraci iontů v podzemní vodě procesy evapotranspirace při infiltraci, či v průběhu tečení v sutích. (2) Teplota dále působí jako významný činitel při rozpouštění hornin, se kterými je voda v kontaktu. (3) Srážky s klesající nadmořskou výškou rostou a tím tedy dochází ve vyšších nadmořských výškách k naředění vody, která byla v kontaktu s horninou. (4) Dále s klesající nadmořskou výškou zpravidla rostou délky oběhu podzemní vody a díky tomu také dochází k delší interakci s horninou, kterou voda rozpouští. (5) Významnou roli také hraje charakter půdního pokryvu v infiltrační oblasti, který může působit jako významné sorpční médium. Je zřejmé, že ne u všech měřených objektů se tyto faktory projevují stejně, neboť záleží na charakteru infiltrační oblasti daného objektů a mnoha dalších faktorech, které jsou spíše předmětem studia geochemie, či pedologie.



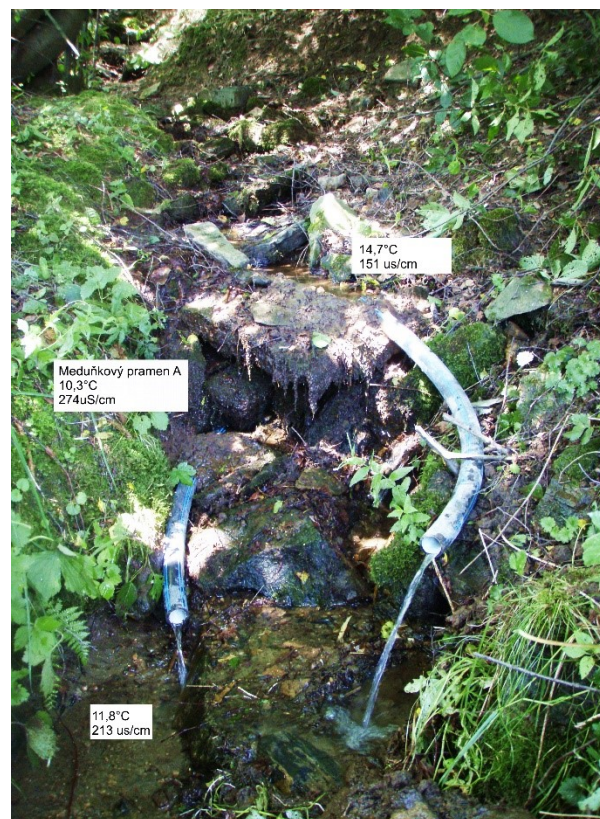
Obr. 7 Výřez oblasti severní části území Lázně Jeseník s vyznačenými konduktivitami pramenů a vodních toků. Mapováním bylo nalezeno několik zdrojů se zvýšenou konduktivitou.

Dva nejvýznamnější prameny objevené touto metodou byly prameny Salamander (LJ2/19) a Meduňkový (LJ1/16 a LJ1/16a), jejich pozice v rámci konduktometrických profilů je patrná na Obr. 7. Pramen Salamander byl objeven jako levostranný přítok značně mineralizovanější vody do potoku pod Bezručovým pramenem. Tento pramen měl v roce svého objevení (2015) vodivost 239  $\mu\text{S/cm}$ .

Meduňkový pramen (LJ1/16 a LJ1/16a) byl také objeven díky konduktometrii. Tento pramen, nebo přesněji vývěrová oblast, ústí přímo do koryta bezejmenného potoka (odtoku z Balneoparku). V roce 2015 byl tento pramen objeven, pojmenován a označen kódem LJ1/16. V tomto roce měl průtok velice nízký, pouze 0,02 l/min, avšak jeho vodivost byla nejvyšší ze všech měřených vzorků, a to 327  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . V tomto roce nebyl v korytě potoka nad pramenem žádný průtok a voda, která odtékala z Balneoparku se rozlévala v louce severně od pramene a infiltrovala do kvartérních deluviálních sedimentů. V roce 2016, při revizi tohoto pramene za vyšší vodního stavu, byl tímto korytem trvalý průtok a v místě původního vývěru LJ1/16 bylo také patrné zvýšení vodivosti. Vyšší kontrast byl však nalezen o cca 15 m výše proti proudu (Obr. 8). Tato voda skrytě vyvěrala přímo do potoka a měření průtoku, fyzikálně-chemických parametrů a odběr vzorků pro rozbor vody bylo možné uskutečnit až po svedení hlavního toku stranou (Obr. 9).



Obr. 8 Podrobná situace na nepojmenovaném odtoku z Balneoparku v místě skrytého vývěru Meduňkového pramene do koryta při jeho lokalizaci dne 29. 6. 2016. Vyznačeny teploty a konduktivity i pozice obou lokalizovaných přítoků, Meduňkového pramene a v tomto období vydatnějšího Meduňkového pramene A.



Obr. 9 Provizorní zachycení Meduňkového pramene A v korytě potoka po svedení toku mimo skrytý vývěr. Vyznačeny konduktivity a teploty obou vod i směsi na odtoku pod zachyceným vývěrem. Situace dne 29. 6. 2016. Foto Viktor Goliáš.

Tento vývěr byl označen kódem LJ1/16a a název Meduňkový pramen byl zachován. Tento vývěr se neodlišoval pouze vodivostí, která činila 274  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , oproti toku přitékajícího z vrchu, který měl pouze 151  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ale také teplotou, kde byl rozdíl 4,4 °C mezi potokem nad pramenem a samotným

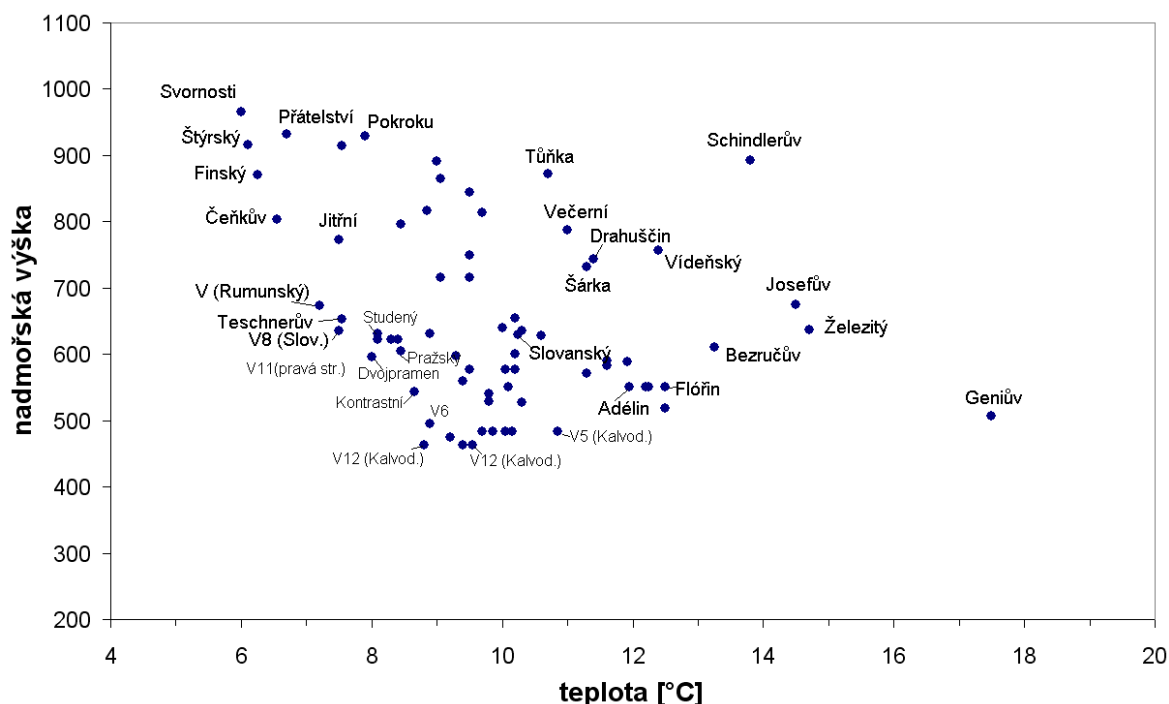
vývěrem (obr. 8). Tato voda se ukázala jako ojedinělá v této oblasti, nejen co se týče celkové mineralizace, ale také svým chemickým složením.

Významným objevem v rámci konduktometrických měření byl také nález objektu LJ1/V6. Jedná se vodárenský záchyt v rámci jímacího území Kalvodka. Toto území se skládá ze čtyř vodárenských záhytů (LJ1/ V6, V12, V13 a V14) a soutokové šachty LJ1/V5. Objekt LJ1/V6 je od ostatních vzdálen pouze cca 200 m, avšak jeho vodivost se v rámci jednotlivých měření pohybovala v rozmezí 281 - 317  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Podrobněji bude tento objekt rozebrán níže v kapitole Chloridy.

### Termometrie

Termometrie byla použita dvěma různými způsoby. Je známo, že podzemní vody, mají relativně konstantní teplotu po celý rok. Tato teplota přibližně odpovídá průměrné roční teplotě dané lokality (Domenico and Schwartz 1997). Proto je v zimě teplota podzemní vody vyšší než teplota vzduchu a skryté výrony podzemní vody ústící například přímo do toků lze nalézt jako kladné teplotní anomálie. Oproti tomu se v létě výrony podzemních vod projevují jako záporné anomálie. Výjimku tvoří termy, které však v zájmovém území nalezeny nebyly.

Zásadní sada termometrických dat převážné většiny objektů byla získána během prvních dvou terénních akcí, situace teplot jak povrchových toků, tak pramenů je zobrazena v příloze 2. Některá další data byla doměřena později. Vztah mezi teplotou a nadmořskou výškou je na Obr. 10. Na první pohled není patrný žádný jednoznačný trend mezi těmito proměnnými. V kombinaci s dalšími znalostmi o dané oblasti můžeme z grafu jednoznačněji vymezit dvě skupiny pramenů. První skupina představuje primární zdroje podzemní vody, tedy vývěry, které jsou v místě měření přímo vyvěrající z podzemí. Druhá skupina představuje prameny, které byly v době měření (jarní – podzimní období) otepleny kontaktem s atmosférou. Nejsou to jen povrchové toky, ale také vody, které tečou v suťových polích a teprve poté vyvěrají přímo na povrch, nebo vody, které jsou zachyceny v akumulačních jímkách před pramenními pomníčky. Velká část vodních zdrojů je však kombinací obou těchto typů, tedy dochází k velkému překryvu obou skupin, a proto jejich vymezení není jednoznačné a velmi často dochází k mísení vod s různým původem.



Obr. 10 Závislost teploty pramenů a vodárenských zdrojů na nadmořské výšce. Vyneseny průměrné teploty z let 2015-2017. Ve strmé linii na spojnici pramene Svornosti až V12 (Kalvodka) se vyskytují zdroje primární, o původní teplotě, nad touto linií pak vody sekundárně oteplené delším průtokem v kvartéru či provedeným způsobem záchytu.

Podrobné termometrii byla podrobena dne 27. 6. 2016 širší oblast v okolí Slovanského a Pražského pramene, zobrazená na Obr. 11. Tato oblast je výrazně podmáčena a celkově na vodu bohatá. Přímo mezi těmito dvěma prameny byly nalezeny celkem tři prameny, a to Teplý LJ2/21, Studený LJ2/22 a Železitý LJ2/24. Na příkladu těchto tří pramenů je patrná diverzita místních vod. Teplota vzduchu v době průzkumu byla 14,8 °C. Studený pramen leží cca 40 m východně od Teplého a má přes velmi podobný vzhled značně rozdílné parametry (Obr. 12 a 13). Železitý pramen, pojmenovaný dle vysrážených oxohydroxidů železa, má průtok nulový a teplotu 14,7 °C, byl tedy zcela jednoznačně ovlivněn aktuální teplotou okolí. Rozdíl mezi Teplým a Studeným pramenem je právě geneze vody, kterou kromě jejich teploty dokumentuje i aktivita  $^{222}\text{Rn}$ . Zatímco Teplý pramen je geneticky vázaný na kvartérní pokryv (pravděpodobně infiltrovaná a znovu vyvěrající voda z odtoku ze Slovanského pramene), tak Studený pramen je nejspíše čistě zlomový.



Obr. 11 Podrobná termometrie oblasti ukončení kvarcitového pruhu (zde zakrytý kvartérem) mezi Slovanským a Pražským pramenem mapovaná dne 27. 6. 2016. Údaje u pramenů či měření na toku vyjadřují teplotu vody ve °C a průtok v litrech za sekundu.



Obr. 12 Teplý pramen, divoký vývěr v oblasti mezi Slovanským a Pražským pramenem. Teplota 10.3 °C, průtok 3 l/min, aktivita 4 Bq/l <sup>222</sup>Rn (Foto Viktor Goliáš, 27. 6. 2016).

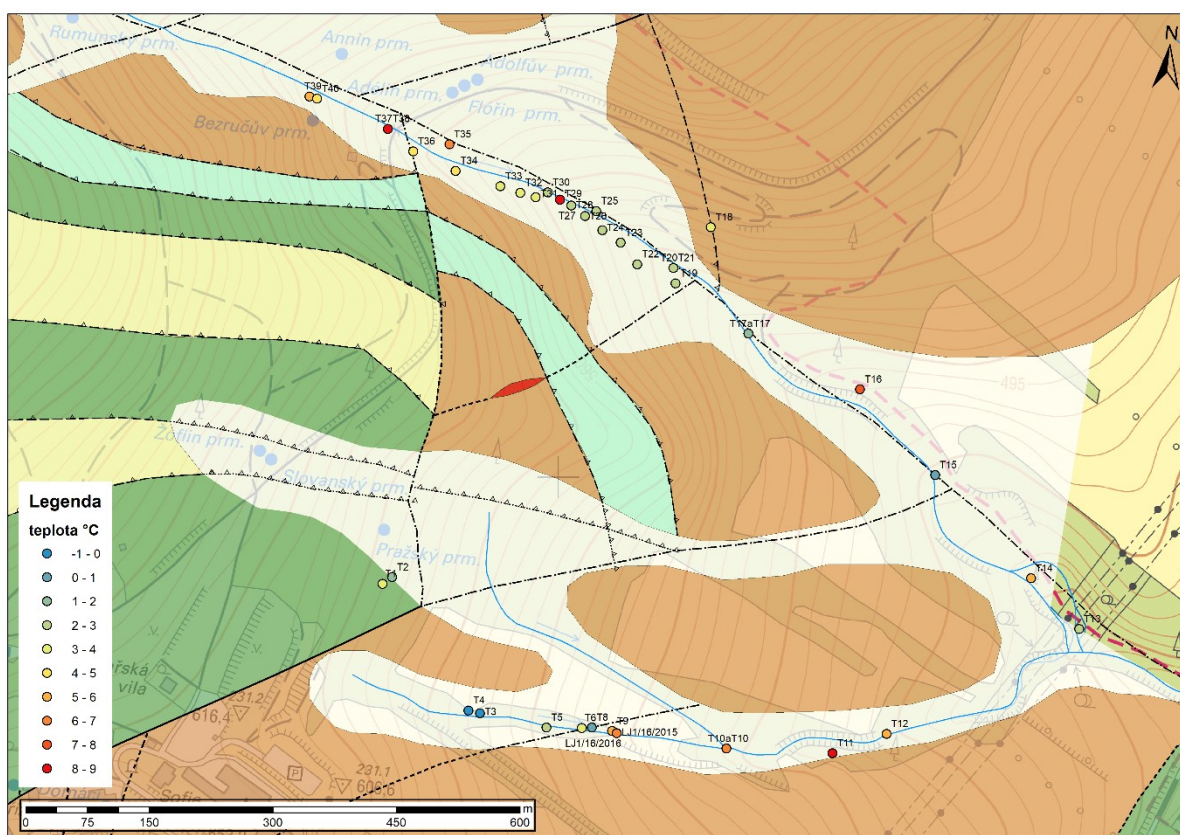


Obr. 13 Studený pramen, divoký vývěr v oblasti mezi Slovanským a Pražským pramenem. Teplota 8.1 °C, průtok 1.8 l/min, aktivita 75 Bq/l <sup>222</sup>Rn (Foto Viktor Goliáš, 27. 6. 2016).

Zimní termometrie se zaměřila na území východně až severovýchodně od lázní. Toto území bylo předem vybráno, neboť tímto údolím probíhá významná tektonická porucha orientace SZ-JV a v průběhu výzkumných prací zde byly zaznamenány nejvydatnější zdroje podzemních vod. Toto měření

proběhlo v lednu roku 2017, kdy teplota vzduchu činila  $-12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , díky tomu byly kontrasty vyvěrající podzemní vody jasně patrné. Graficky jsou výsledky shrnuty na Obr. 14. Je jasně patrné, že ve vybraném území je velké množství výronů podzemí vody. Nejteplejší přirozené vývěry podzemní vody dosahovaly teploty  $8,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teplejší byl pouze výtok z čerpací stanice „pravé strany“ LJ1/V2 pod Bezručovým pramenem, který měl teplotu  $8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tato čerpací stanice sbírá vody z vodárenských záchytů LJ1/V9, V10 a V11, které jsou situovány také v blízkosti popisované zlomové linie.

Tyto data potvrzují význam této oblasti z hlediska hydrogeologie území. Spolu s teplotou byla měřena také vodivost, avšak žádný z termometricky nalezených zdrojů nevykazoval výrazně zvýšené hodnoty v porovnání s předchozím konduktometrickým měřením.



Obr. 14. Mapa severní části území Lázní Jeseník s výsledky termometrie pramenů a toků v období zimního holomrazu (7. 1. 2017). Zvýšené teploty jsou lokalizovány na primárních, nevychlazených zdrojích vod. Teplota vzduchu  $-12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Radioaktivita vod

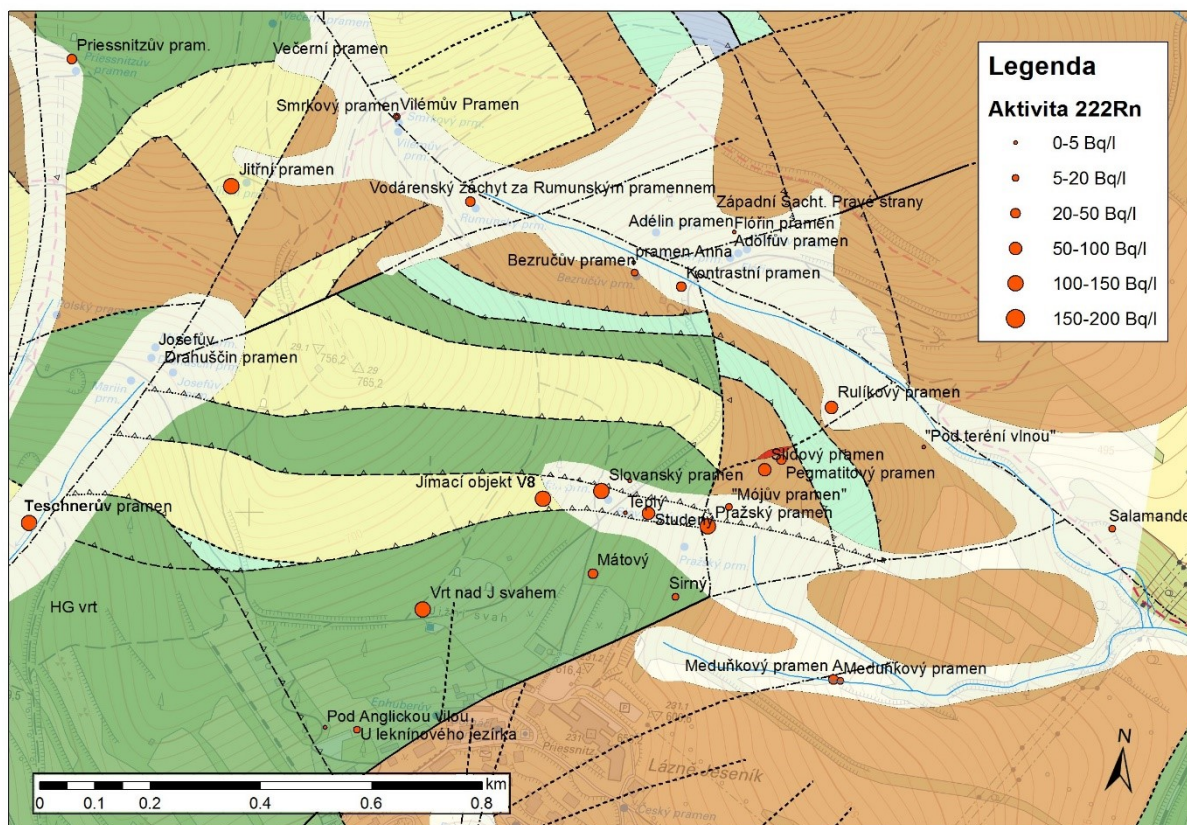
Žádná ze zkoumaných vod nepřekračuje aktivitu  $1500\text{ Bq/l }^{222}\text{Rn}$ , danou Lázeňským zákonem jako hranici pro minerální vody radonové. Také Jirkovský (1951, 1953), píše o „radioaktivní vodě“ jen v uvozovkách, v případě legendárního Jitřního pramene.

Aktivita sledovaných zdrojů je však velmi různorodá (Obr. 15). Celková situace je zobrazena v příloze 3. Lze rozlišit zdroje výše aktivní a studené, klasicky považované za prameny zlomové. Typickými příklady jsou prameny Jitřní ( $128 - 150\text{ Bq/l}$ ), Pražský ( $106 - 124\text{ Bq/l}$ ), Teschnerův ( $104 - 122\text{ Bq/l}$ ) a Čeňkův



využívaného vrtu nad Jižním svahem (V15), s aktivitou 120 Bq/l. Zde je situace zcela jasná. Vlastní teplotu vody na zhlaví vrtu nebylo možno technicky změřit. Měření teploty bylo proto provedeno až u vyústění trubky do výtoku z Lázeňského vodojemu (zdroj pro Balneopark), kdy trubka o délce cca 150 m ležela přímo na povrchu. Zcela mimo veškeré další analyzované zdroje stojí pramen Geniův, jehož voda má 36 Bq/l při teplotě 17,5 °C. Podle zjištěných informací byl pramen obnoven majitelem blízkého penzionu a napojen na vodovod. Jeho teplota je proto silně ovlivněna antropogenně, delším setrváním vody v potrubí v domě, při velmi nízkém průtoku (pouze 0,2 l/min).

Výzkumem bylo potvrzeno, že granitoidy žulovského plutonu zvýšenou aktivitu vod nezpůsobují (na jeho výchozech vyvěrají např. prameny Dobré Naděje a Přátelství). Mezi variskými granity českého masívu patří totiž toto těleso mezi nejméně aktivní a na uran také nejméně fertilní (také na něj nejsou vázané žádné výskyty uranové mineralizace či radiometrické anomálie uranového průzkumu). Nejvýznamnější skupina vývěřů radioaktivnějších vod je na zkoumaném území vázána na kvarcitu. Nejen pramen Jitřní, který je osamocený, ale i další, velmi důležitou skupinou je výrazný klastr pramenů vázaný na ukončení kvarcitého pruhu probíhajícího nad Jižním svahem (Obr. 16). Od jihovýchodu to jsou prameny Pražský (průměrně 115 Bq/l), Studený (74 Bq/l), Slovanský (průměrně 109 Bq/l), vodárenský záchyt V8 a potenciálně též vrt na Jižním svahu (V15). I když tento vrt leží dle geologické mapy již v okolních amfibolitech, může být voda přiváděna z nedalekého kvarcitého pruhu zlomovou linií.



Obr. 16 Detail centra pramenní oblasti se zdroji se zvýšenou aktivitou vod.

Drobný nesoulad je patrný v naměřené aktivitě Jitřního pramene (průměrně 142 Bq/l), která je znatelně nižší než hodnota 222 Bq/l, uváděná Jirkovským (1951, 1953). Jirkovský však vysloveně uvádí, že vzorek odebral v „betonové studánce ve stráni“, nikoli u výtoku. Radon, jako těkavá složka, z vody rychle uniká a aktivity primárního zdroje a aktivity vody na výtoku se mohou znatelně lišit. Námi naměřená aktivita však takřka přesně souhlasí s hodnotou naměřenou Hyniem (1948), který u Jitřního pramene stanovil aktivitu radonu 141 Bq/l. Naopak je nutnou odmítnout „moderní“ hodnoty aktivity naměřené Michalíčkem et al. (1993), kteří zde stanovili pouze 54 a 60 Bq/l. Předpokládáme, že jde o hrubou chybu, způsobenou nejspíše nevhodnou metodikou vzorkování.

Nejaktivnějším zdrojem však není legendární Jitřní pramen, ale zdroj V6 v jímacím území Kalvodka, tedy vodárenský záchyt s aktivitou 146 – 193 Bq/l, který je zároveň i zdrojem vody se zvýšenou mineralizací. Ačkoli podrobná geologická mapa zde ukazuje pouze amfibolity, velmi pochybujeme, že je zde pouze tato, obecně nízce aktivní hornina. Z důvodu vysoké zakrytosti terénu je nanejvýše pravděpodobné, že lokální geologická situace je v detailu složitější.

## Průtoky

Cílem této práce není sestavování hydrologické bilance zájmového území, ale vzhledem k tomu že součástí všech měření bylo také stanovení průtoků, tak je pro pochopení celkové hydrogeologické situace vhodné alespoň zhodnocení na základě měřených údajů. Ačkoli se traduje, že oblast Studničního vrchu je mimořádně bohatá na prameny a vydatná (a jistě je velkou herezí tuto vžitou představu rozporovat), je situace značně složitější. Vlastní pramenní záchyty tvoří z celkového množství vod jen malou část. Větší množství vod je zachyceno vodárenským jímáním či odtéká „bez užitku“ do povrchových toků. Pro výkonovou nesouměřitelnost byly obě skupiny odlišeny a zobrazeny zvlášť.

Souhrou příznivých okolností byla lokalita navštívena ve třech, hydrologicky velice kontrastních režimech. Zatímco v roce 2015 bylo po delší absenci srážek období hydrologických minim, akce v roce 2016 proběhla v období hydrologicky průměrném, v roce 2017 byly pozorovány vodní zdroje při vysokých průtocích. Prameny byly pozorovány opakovaně (Tab. 1, Příloha 4), kdy lze i odvodit jejich reakci na aktuální hydrologický režim. Průtoky vodárenských objektů a povrchových toků byly naproti tomu měřeny pouze při akci v roce 2015, tedy ve shodném režimu (Příloha 5).

Tab. 1 Přehled všech pramenů ve zkoumané oblasti seřazených dle klesajícího průtoku, resp. jeho průměrné výše v letech 2015-2017. Tučným písmem zvýrazněny názvy využívaných zachycených zdrojů, normálním písmem názvy ostatních, tj. divokých (nezachycených) vývěřů.

(Na následující straně)

Kód objektu	Název	průtok 9/2015 (l/min)	průtok 6/2016 (l/min)	průtok 5/2017 (l/min)	průměr (l/min)
LJ1/5a	<b>Adélin pramen</b>	2.34	16.89	21.40	13.54
LJ2/19	Salamander	9.0		18.00	13.50
LJ2/20	Kontrastní pramen	9.0	12.00		10.50
LJ1/8	<b>Jitřní pramen</b>	1.65	6.72	19.40	9.26
LJ2/23	Mátový		9.00		9.00
LJ2/5	<b>pramen Tůňka</b>	0.86	16.49		8.67
LJ1/12	<b>Čeňkův pramen</b>	12.85	4.22		8.54
LJ1/26	Dvojpramen		7.74		7.74
LJ1/2	<b>Pražský pramen</b>	6.88	8.43		7.65
LJ2/7	<b>Bernské odpočívadlo</b>	8.49	6.22		7.36
LJ1/5b	<b>Flóřin pramen</b>		6.97		6.97
LJ2/9	<b>pramen Přátelství</b>		6.72		6.72
LJ2/18	Rulíkový pramen	6.0			6.00
LJ2/11	<b>Dobré naděje</b>		5.50		5.50
LJ2/6	<b>Teschnerův pramen</b>	8.61	4.50	2.80	5.30
LJ2/12	Mójuv pramen	4.8			4.80
LJ1/5c	<b>Adolfův pramen</b>		4.60		4.60
LJ1/21	<b>Pokroku</b>		4.55		4.55
LJ1/13	<b>Finský pramen</b>	1.03	5.70		3.36
LJ1/7	<b>Smrkový pramen</b>	5.69	0.89		3.29
LJ1/16a	Meduňkový pramen A		3.27		3.27
LJ2/4	<b>Sourozenecký pramen</b>	0.35	5.84		3.10
LJ1/17	<b>Šárka</b>		3.08		3.08
LJ2/21	Teplý		3.00		3.00
LJ1/22	<b>Svornosti (Svatební)</b>		2.85		2.85
LJ2/8	<b>Březový pramen</b>	1.96	3.32		2.64
LJ2/17	Pegmatitový pramen	4.2	0.60		2.40
LJ1/20	<b>Štýrský</b>		2.31		2.31
LJ1/10	<b>pramen Kamenice</b>	1.79	2.60		2.19
LJ1/28	<b>Rumunský</b>	neteče	neteče	1.90	1.90
LJ2/22	Studený		1.80		1.80
LJ1/27	<b>Vilémův Pramen</b>	neteče	1.62		1.62
LJ1/1	<b>Slovanský pramen</b>	1.65	1.62	1.20	1.49
LJ2/3	<b>Ripperův pramen</b>	0.06	2.84		1.45
LJ1/9	<b>Večerní pramen</b>	0.92			0.92
LJ2/16	Vývěr 100m JV od Slov. pramene	0.90			0.90
LJ2/10	<b>Zlatý pramen</b>	0.71	0.90		0.81
LJ1/4	<b>pramen Anna</b>	0.76			0.76
LJ1/18	<b>Vídeňský</b>		0.63		0.63
LJ1/24	<b>Josefův</b>		0.62		0.62
LJ2/1	<b>Drahuščin pramen</b>	0.71	0.47		0.59
LJ1/19	<b>Diamantový</b>		0.46		0.46
LJ2/2	<b>Müllerův pramen</b>	0.08	0.75		0.41
LJ1/23	<b>Schindlerův</b>		0.34		0.34
LJ2/15	Slídový pramen	0.30	0.30		0.30
LJ1/3	<b>Bezručův pramen</b>	0.38	0.13		0.25
LJ1/29	Sirný			0.20	0.20
LJ1/25	<b>Géniuv</b>		0.19		0.19
LJ1/11	<b>Priessnitzův pramen</b>	0.17	0.15		0.16
LJ2/13	Pod teréní vlnou	0.06			0.06
LJ1/14	<b>U Ieknínového jezírka</b>	0.04			0.04
LJ1/16	Meduňkový pramen	0.02			0.02
LJ2/24	Železitý		0.00		0.00

Pro prostředí hydrogeologického masivu krystalinika je typické velké množství rozptýlených pramenů, které odvodňují pouze úzkou oblast svého okolí. Tento trend je v zájmovém území jednoznačně patrný již při prvním pohledu na geografickou mapu. V rámci těchto charakteristik najdeme odchylky v podobě oblasti s výskytem vápenatosilikátových hornin (erlánů) i krystalických vápenců. To z regionálního hlediska není výjimečné, ale v rámci zkoumaného území mají tyto vložky pouze minimální zastoupení, ovšem hydrogeologicky jsou velice významné. Tyto horniny se vyskytují po obou stranách potoku pod Bezručovým pramenem a jejich úklon je směrem pod osu údolí. Krystalické vápence jsou pravděpodobně částečně zkrasovatělé a díky tomu vytváří preferenční kanály. Tyto vložky mramorů fungují jako drenážní systém pro vody z oblasti nad pramenem Anna a pravděpodobně jsou tektonickou poruchou v ose údolí odvodňovány skrz nadložní metamorfované horniny do údolí pod Bezručovým pramenem. Díky tomu jsou v této oblasti nejvydatnější zdroje podzemních vod. Tato oblast je využívána k vodárenským účelům soustavou tří vodárenských záchyťů (LJ1/V9, V10 a V11) tzv. „pravé strany“, které leží cca 50 m severně od trojpramene (Adélin, Flóřin a Adolfův). Tyto záchyty jsou svedeny do čerpací stanice LJ1/V2 pod Bezručovým pramenem. Soustava těchto tří záchyťů generoval v době měření okolo 240 l/min bez jakéhokoli čerpání. Výtok této vody v čerpací stanici dokumentuje Obr. 17. Nejvydatnější zdroj je prostřední ze tří jímacích objektů LJ1/V10 s výkonem 146 l/min. Po levé straně zmiňovaného potoka leží mezi cestou a trojpramenem dříve vyhloubený vrt HV-7 s hloubkou 51 m z roku 1984, jehož vydatnost byla stanovena čerpací zkouškou na 4 l/s (240 l/min) (Galgánek 1999).

Významným místem odvodnění území je poměrně krátký (cca 400 m) úsek povrchového toku pod Bezručovým pramenem. V tomto tektonicky porušeném území, pravděpodobně i za přispění odtoku



Obr. 17 Hlavní přítok do čerpací stanice pod Bezručovým pramenem o výkonu 240 l/min ze tří jímacích objektů nad Trojpramenem. Foto Viktor Goliáš 2015.

vod ze zkrasovatělých mramorů, byly dokumentovány vysoké nárůsty vydatností na povrchovém toku (Příloha 5). Přítok však není soustředěný. Objevuje se zde velké množství levostranných i pravostranných přítoků do hlavního toku, v relativně zařízlém a strmém údolí.

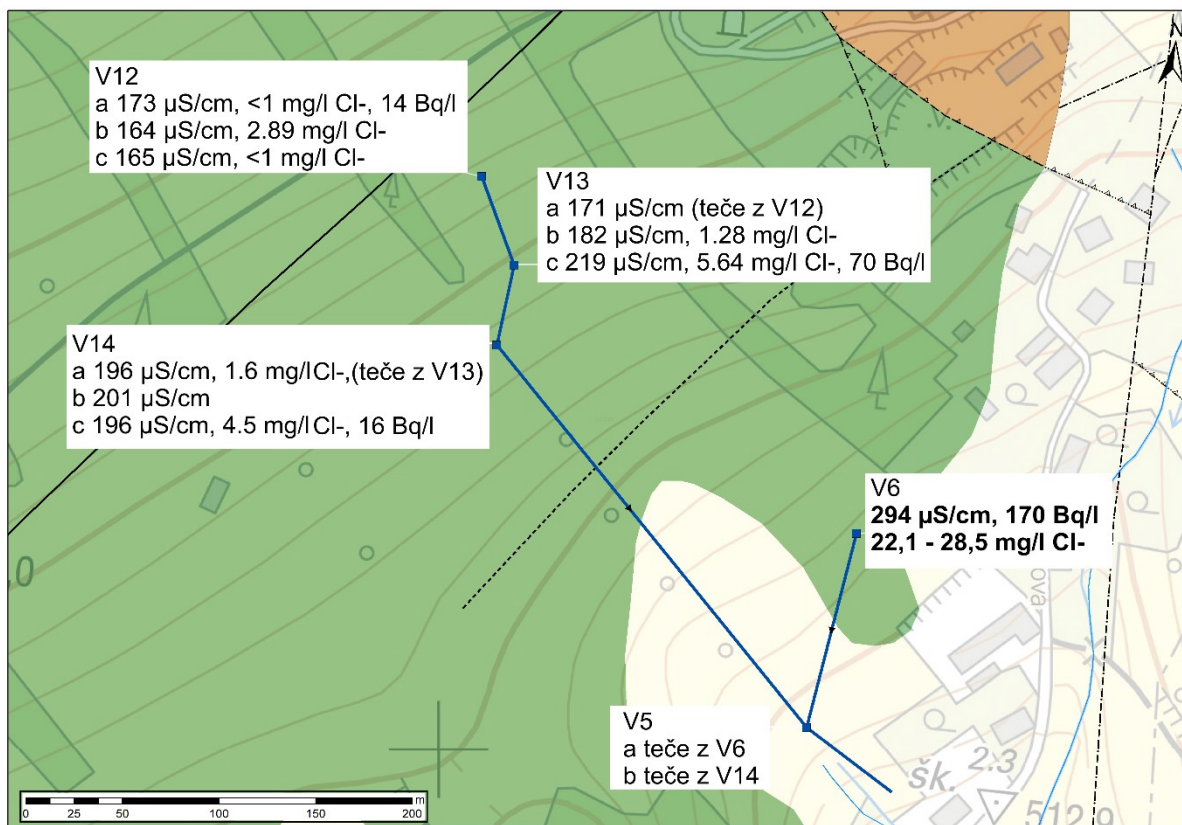
### Chloridy

Podrobné studium vod, které obsahují zvýšené koncentrace chloridů, bylo započato po první terénní akci v roce 2015, na základě výsledků chemických

analýz dvou zdrojů, u nichž byly detekovány zvýšené obsahy chloridů (Tab. 2).

Tab. 2 Výsledky stanovení obsahu chloridů laboratorní analýzou (2015) a stanovených v terénní laboratoři kyvetovým testem (2016). Zvýšené hodnoty vyznačeny tučně.

Kód objektu	Název	Cl- 2015 [mg/l]	Cl- kvetový test 2016 [mg/l]
L1/1	Slovanský pramen	1.57	
L1/2	Pražský pramen	1.52	
L1/3	Bezručův pramen	1.36	
L1/4	pramen Anna	1.34	
L1/5a	Adélin pramen	1.28	
L1/7	Smrkový pramen	1.11	
L1/8	Jitřní pramen	1.27	
L1/11	Priessnitzův pramen	1.03	
L2/1	Drahuščin pramen	1.38	
L2/2	Müllerův pramen	3.01	
L2/3	Ripperův pramen	1.21	
L2/4	Sourozenecký pramen	1.13	
L2/5	pramen Tůňka	0.93	
L2/6	Teschnerův pramen	1.42	
L1/12	Čeňkův pramen	1.06	
L1/13	Finský pramen	0.90	
L1/15	Pod Anglickou vilou	3.39	
L1/V5a	Jímací území Kalvodka (z V6)	<b>22.17</b>	
L1/V6	Jímací území Kalvodka		<b>28.5</b>
L2/7	Bernské odpočívadlo	1.60	
L2/8	Březový pramen	1.18	
L2/9	pramen Přátelství	0.97	
L2/10	Zlatý pramen	1.04	
L1/V11	Vých. Šahcta prav. Str.	1.22	
L2/11	Dobré naděje	1.13	
L2/17	Pegmatitový pramen	1.49	
L2/19	Salamander	1.57	
L1/16	Meduňkový pramen	<b>24.79</b>	
L1/16a	Meduňkový pramen A		<b>20</b>
L1/V12a	pravý severozápadní přítok		<1
L1/V12b	levý severozápadní přítok		2.89
L1/V12c	západní přítok		<1
L1/V13a	Jímací území Kalvodka	6.22	
L1/V13b	přítok ze severu		1.28
L1/V13c	přítok z východu		5.64
L1/V14a	přítok ze severu (z V13)		1.6
L1/V14c	přítok z východu		4.5
L1/V15	Vrt nad J svahem		<1



Obr. 18 Schéma vodárenského jímání „Kalvodka“ s vyznačením obsahu chloridů, vodivosti a aktivity v jednotlivých jímacích objektech.



Obr. 19 Vnější vzhled objektu vodárenského záchytu „Kalvodka“ se zvýšenou koncentrací chloridů (LJ1/V6). Foto Viktor Goliáš 2016.

V roce 2016 bylo přistoupeno k měření chloridových iontů přímo na terénní základně tzv. kyvetovým testem (Tab 2). Dále byla získána od zaměstnanců společnosti Vak - Vodovody a kanalizace Jesenicka, a. s. mapa vodárenských objektů a sítí, včetně schématu jímání „Kalvodka“. Původně byl považován za zdroj chloridů objekt LJ1/V5a, který se však díky těmto informacím ukázal pouze jako soutoková šachta. Jako primárním zdroj chloridů byl úspěšně lokalizován objekt LJ1/V6 (Obr. 19). Celou situaci v jímacím území „Kalvodka“, které se skládá z pěti vodárenských objektů, shrnuje Obr. 18.

Vody s mírně vyšším obsahem chloridů v rámci jímacího území „Kalvodka“ jsou také zdroje LJ1/V13c (5,6 mg/l) a LJ1/V14c (4,5 mg/l). Druhým objektem se zvýšeným obsahem chloridů byl Meduňkový pramen LJ/16. Stav tohoto pramene byl popsán již v kapitole Konduktometrie (Obr. 8 a 9). Měření chloridů u tohoto zdroje potvrdilo, že i když bylo místo vývěru posunuto, tak je to voda stejného původu, neboť také Meduňkový pramen A (LJ1/16a) obsahoval 20 mg/l chloridových iontů.

## Chemické analýzy

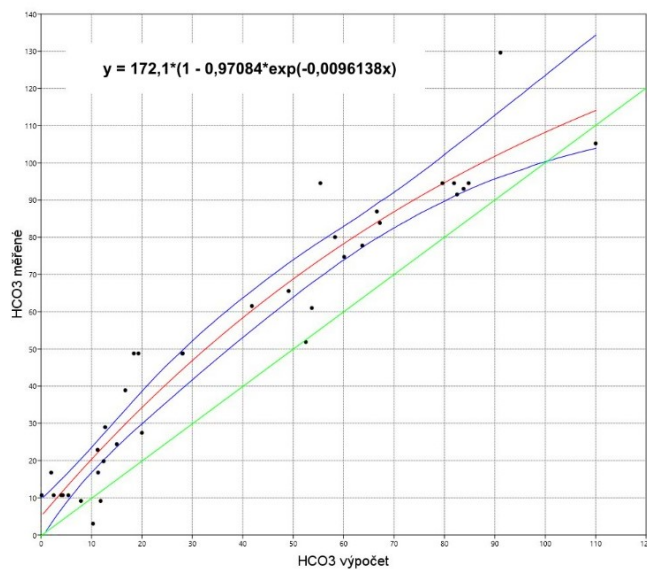
Laboratorním chemickým analýzám bylo podrobena 51 vzorků, z toho 28 vzorků bylo analyzováno také na mikroelementy. Kompletní výsledky jsou uvedeny v přílohách 8 a 9. Výsledky kontrolních analýz provedených firmou GEOTest s.r.o. na sadě paralelních vzorků (Příloha 10) jsou v dobré shodě s výsledky laboratoří geologických ústavů Přírodovědecké fakulty UK.

Celková mineralizace místních vod je generelně nízká, v řádu prvních stovek mg/l. Nicméně při bližším pohledu na složení vod je patrné, že jejich chemické složení je dosti odlišné. Hydrochemický typ vody se stanovuje z hlavních iontů, které jsou ve vodě zastoupeny více než dvacetí ekvivalentními procenty. Vyjadřuje tedy hlavní komponenty složení vody.

Celkem bylo rozlišeno 18 hydrochemických typů z celkových 38 analyzovaných zdrojů. Přehled jednotlivých hydrochemických typů v rámci zájmového území shrnuje mapa v Příloze 6 a Tab 3. Již z tohoto faktu je patrné, že chemické složení zkoumaných vod není vůbec jednotvárné. Pro vyhodnocení dat z chemických analýz klastrovou analýzou a výpočet hydrochemických typů proběhl z průměrovaných dat chemického složení za roky 2015–2017. Dále byly k této analýze použity vypočtené koncentrace hydrogen karbonátu dle elektroneutality roztoku. K tomuto kroku bylo přistoupeno z důvodů velkých nerovnováh při výpočtu elektroneutality roztoků. Jako nejpravděpodobnější nepřesnost ve stanovení jednotlivých komponent se ukázala alkalimetrická

titrace vzorku roztokem 0,05 M kyseliny chlorovodíkové do pH 4,5 (KNK<sub>4,5</sub>). Vzhledem k nízkému obsahu rozpuštěného CO<sub>2</sub> ve vodě, respektive hydrogen karbonátu (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), titraci pouze 20 ml vzorku s detekcí bodu ekvivalence pH elektrodou zřejmě docházelo k výrazným nepřesnostem, neboť k titraci stačilo jen velmi malé množství titračního činidla – řádově desetiny až setiny ml. Díky tomu zřejmě docházelo k „přetitrování i nedotitrování“ roztoku. Za účelem opravení nepřesných primárních dat, byly pro vyhodnocení použity hodnoty dopočtené z obsahu ostatních specií tak, aby byla splněna podmínka elektroneutrality roztoku. Tato metoda byla použita na základě předpokladu, že nešlo k výrazným chybám při stanovení ostatních specií, což bylo částečně ověřeno na sadě paralelních vzorků zadaných do jiné laboratoře. Dalším důležitým předpokladem je, že vzorky jsou v elektrické rovnováze. Obr. 20 popisuje vztah průměrných titračně stanovených koncentrací hydrogenkarbonátu, vůči vypočtené hodnotě, která byla použita jak pro sestavení dendrogramu, tak pro výpočet

hydrochemických typů. Je patrné, že závislost není lineární. Dle akaiikova kritéria tuto závislost nejlépe popisuje Von Bertalanffyho růstový model  $y = a(1 - be^{-cx})$ , (Bertalanffy 1957).

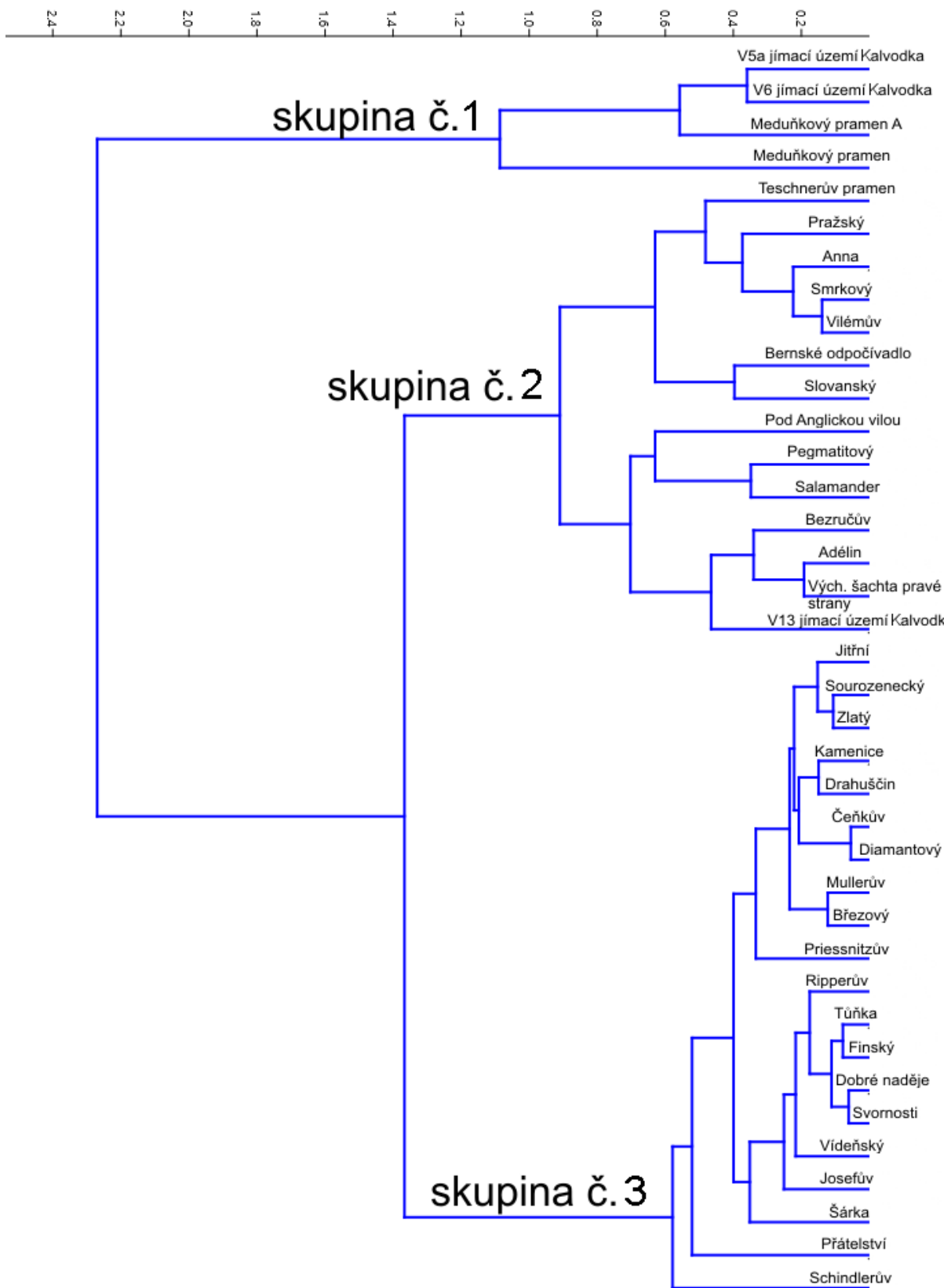


Obr. 20 Graf závislosti měřených hodnot HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> a vypočtených dle elektroneutality roztoku proložený růstový model von Bertalanffy (1957). Modrý interval vymezuje rozmezí 95% pravděpodobnosti. Zelená přímka vyjadřuje lineární závislost  $y = x$ .

Výsledky klastrové analýzy shrnuje Obr. 21 a Tab. 3. Na základě vypočtených vzdáleností mezi jednotlivými chemickými analýzami byly vyčleněny tři hlavní skupiny pramenů označené čísly 1–3. Vstupními daty pro klastrovou analýzu byly koncentrace HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, součty hlavních jednomocných kationtů Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> a součty hlavních dvojmocných kationtů Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>. Byly použity koncentrace v jednotkách mmol/l.

Tab. 3 Přehled vypočtených molárních hydrochemických typů a příslušnost k chemické skupině rozlišené klastrovou analýzou ve vodách Lázní Jeseník

kód objektu	název	číslo klastru	hydrochemický typ
LJ1/1	Slovanský pramen	2	Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ1/2	Pražský pramen	2	Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ1/3	Bezručův pramen	2	Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ1/4	pramen Anna	2	Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ1/7	Smrkový pramen	2	Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ1/15	Pod Anglickou vilou	2	Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ2/17	Pegmatitový pramen	2	Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ2/19	Pramen Salamander	2	Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ1/V13a	přítok ze severozápadu (z V12)	2	Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ1/27	Vilémův Pramen	2	Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ2/11	pramen Dobré naděje	3	Ca - Na - SO <sub>4</sub>
LJ1/18	Vídeňský	3	Ca - Na - SO <sub>4</sub>
LJ1/22	Svornosti (Svatební)	3	Ca - Na - SO <sub>4</sub>
LJ2/8	Březový pramen	3	Ca - Na - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>
LJ2/10	Zlatý pramen	3	Ca - Na - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>
LJ1/23	Schindlerův	3	Ca - Na - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>
LJ1/10	pramen Kamenice	3	Ca - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>
LJ1/24	Josefův	3	Ca - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>
LJ1/5a	Adélin pramen	2	Ca - HCO <sub>3</sub>
LJ1/V11	Vých. Šahcta prav. Str.	2	Ca - HCO <sub>3</sub>
LJ1/12	Čeňkův pramen	3	Ca - Mg - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>
LJ2/7	Bernské odpočívadlo	2	Ca - Mg - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>
LJ1/11	Priessnitzův pramen	3	Ca - Mg - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ2/6	Teschnerův pramen	2	Ca - Mg - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ2/3	Ripperův pramen	3	Ca - Mg - Na - SO <sub>4</sub>
LJ1/13	Finský pramen	3	Ca - Mg - Na - SO <sub>4</sub>
LJ2/4	Sourozenecký pramen	3	Ca - Mg - Na - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>
LJ1/8	Jitřní pramen	3	Ca - Mg - Na - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>
LJ1/16	Meduňkový pramen	1	Ca - HCO <sub>3</sub> - Cl
LJ1/V6	jímací území Kalvodka	1	Ca - HCO <sub>3</sub> - Cl - SO <sub>4</sub>
LJ1/16a	Meduňkový pramen A	1	Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub> - Cl
LJ2/9	pramen Přátelství	3	Ca - Mg - SO <sub>4</sub> - NO <sub>3</sub>
LJ1/V5a	přítok ze severu (z V6)	1	Ca - Mg - HCO <sub>3</sub> - Cl - SO <sub>4</sub>
LJ2/5	pramen Tůňka	3	Ca - Mg - SO <sub>4</sub>
LJ1/19	Diamantový	3	Ca - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>
LJ2/2	Mullerův pramen	3	Mg - Ca - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>
LJ2/1	Drahuščin pramen	3	Mg - Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
LJ1/17	Šárka	3	Na - Ca - SO <sub>4</sub> - HCO <sub>3</sub>



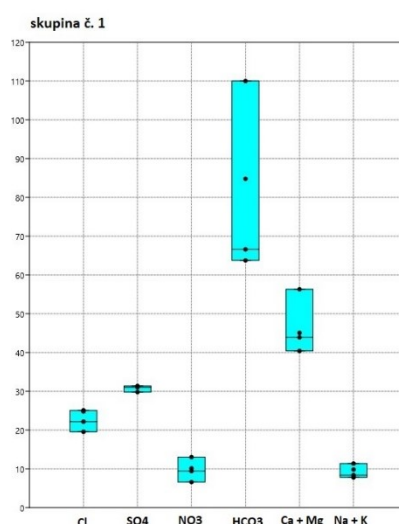
Obr. 21 Dendrogram sestavený z výsledků stanovení chemického složení vod Lázně Jeseník. Skupiny vyjadřují chemickou příbuznost jednotlivých zdrojů vod.

Skupina č. 1 je od všech ostatních nejdále, tedy že její chemické složení je od ostatních nejvíce odlišné (viz Obr. 21 a 22). Tato skupina sdružuje dva zdroje, a to Meduňkový pramen, Meduňkový pramen A (viz kapitolu Konduktometrie), a vodárenský záchyt v jímacím území Kalvodka LJ1/V6 (a také velmi podobný vzorek odebraný až v soutokové šachtě LJ1/V5a, pocházející de-facto ze stejného zdroje). V této skupině se nachází chemicky významné zdroje s vysokou mineralizací (v lokálním měřítku) a obsahem chloridových iontů. Charakter složení vod v této skupině popisuje Obr. 22 a Tab. 4. Dle této statistiky je také patrný zvýšený obsah dvojmocných kationtů oproti zbylým skupinám. Tyto dva vodní zdroje leží v nadmořských výškách 495 (V6) a 529 (Meduňkový pr.) m. n. m.

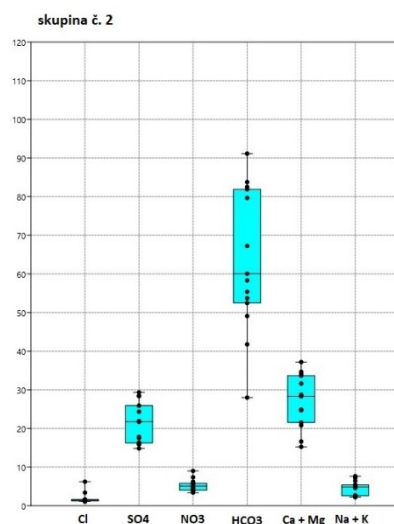
Skupina č. 2 sdružuje prameny s vyšší celkovou mineralizací, ležící v nižších nadmořských výškách, v rozsahu 475-716 m. n. m. Zcela dominantním hydrochemickým typem této skupiny je Ca – HCO<sub>3</sub> – SO<sub>4</sub>, který je zde zastoupen 10x z celkového počtu 14 členů. Souhrnnou statistiku a grafické vyjádření vstupních veličin prezentují Obr. 23 a Tab. 5.

Skupina č. 3 je vázána na vyšší nadmořskou výšku, která je u této skupiny v rozsahu 631-965 m. n. m., a je úzce spjata s nízkou mineralizací těchto vod (Obr. 24 a Tab. 6). Díky tomu je jejich chemické složení velice variabilní a zahrnuje velké množství hydrochemických typů. Pouze v této skupině jsou zastoupeny hydrochemické typy, ve kterých se vyskytuje také jednomocný kationt Na<sup>+</sup>. V případě pramene Šárka dokonce jako hlavní kationt.

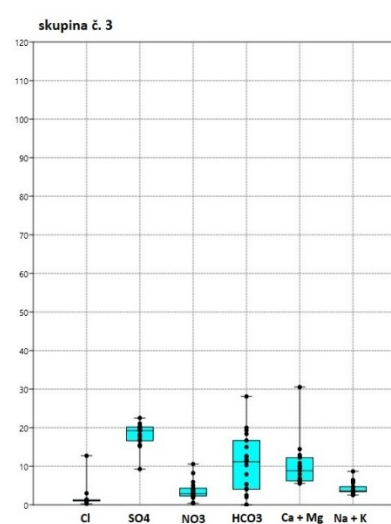
Na podkladu geologické mapy je situace je shrnuta v Příloze 6, kde jsou graficky vyneseny hydrochemické typy a číselně uvedena příslušné číslo klastrové skupiny.



Obr. 22 Rozložení vstupních hodnot dendrogramu v mg/l pro skupinu č. 1.



Obr. 23 Rozložení vstupních hodnot dendrogramu v mg/l pro skupinu č. 2.



Obr.24 Rozložení vstupních hodnot dendrogramu v mg/l pro skupinu č. 3.

Tab. 4 Základní statistika vstupních hodnot skupiny č. 1.

<b>1</b>	Cl- (mg/l)	SO4- (mg/l)	NO3- (mg/l)	HCO3- (mg/l)	suma Mg + Ca	suma Na + K
N	4	4	4	4	4	4
Min	19,567	29,799	6,590	63,740	40,410	7,783
Max	25,085	31,360	13,033	110,011	56,311	11,367
Mean	22,905	30,845	9,792	81,282	46,420	9,343
Std. error	1,291	0,356	1,323	10,651	3,442	0,801
Variance	6,668	0,506	7,003	453,769	47,397	2,564
Stand. dev	2,582	0,711	2,646	21,302	6,885	1,601
Median	23,485	31,110	9,772	75,689	44,479	9,111

Tab. 5 Základní statistika vstupních hodnot skupiny č. 2.

<b>2</b>	Cl- (mg/l)	SO4- (mg/l)	NO3- (mg/l)	HCO3- (mg/l)	suma Mg + Ca	suma Na + K
N	14	14	14	14	14	14
Min	1,108	14,821	3,394	27,986	15,248	2,221
Max	6,222	29,342	9,020	91,115	37,192	7,647
Mean	1,864	21,040	5,265	63,204	26,922	4,405
Std. error	0,368	1,431	0,409	4,921	1,835	0,513
Variance	1,891	28,675	2,338	339,082	47,141	3,685
Stand. dev	1,375	5,355	1,529	18,414	6,866	1,920
Median	1,427	19,781	4,895	59,175	26,588	4,709

Tab. 6 Základní statistika vstupních hodnot skupiny č. 3.

<b>3</b>	Cl- (mg/l)	SO4- (mg/l)	NO3- (mg/l)	HCO3- (mg/l)	suma Mg + Ca	suma Na + K
N	20	20	20	20	20	20
Min	0,288	9,277	0,427	0,000	5,535	2,541
Max	12,737	22,526	10,583	28,109	30,534	8,681
Mean	1,748	18,216	3,688	10,672	9,991	4,205
Std. error	0,589	0,646	0,535	1,685	1,237	0,331
Variance	6,928	8,344	5,731	56,756	30,599	2,193
Stand. dev	2,632	2,889	2,394	7,534	5,532	1,481
Median	1,104	19,297	3,070	11,245	9,185	3,653

Dle provedených analýz byl jednoznačně nejrozšířenější typ vody  $Ca - HCO_3 - SO_4$ , který byl zastoupen 10x. Následovaly typy  $Ca - Na - SO_4$  a  $Ca - Na - SO_4 - HCO_3$ , které byly oba zastoupeny 3x. Zbýlých 15 hydrochemických typů bylo zastoupeno pouze dvakrát, či jednou. To je způsobeno více faktory. Za prvé nízkou mineralizací vod, díky které i relativně malý příspěvek nějakého iontů způsobí změnu hydrochemického typu a za druhé složitou a rozmanitou geologickou stavbou. Složení vody je totiž závislé na hornině, se kterou je v kontaktu, kterou rozpouští a také na délce tohoto kontaktu. Velkou roli hraje také teplota vody, tedy nepřímo nadmořská výška. Dále složení vody mohou ovlivňovat i antropogenní kontaminace.

Je třeba zmínit, že mezi hydrochemickými typy byly i vody s převahou hořečnatých iontů nad vápennými, a to konkrétně Müllerův pramen a Drahuščin pramen (typ  $Mg - Ca - SO_4 - HCO_3$ ). Tyto dva prameny leží velmi blízko u sebe, takže je zde jednoznačné ovlivnění lokální geologickou situací. Prameny leží na styku amfibolitů, kvarcitů a pararul ve značně tektonicky postiženém uzlu, křížení poruch různých směrů. K tomuto typu vod je relativně blízký i Teschnerův pramen, který leží od zmiňovaných pramenů cca 400 m jihovýchodně, a je vázán na stejné poruchové pásmo. V hydrochemickém typu tohoto pramene sice hořečnaté ionty nad vápennými přímo nepřevažují, ale jsou zde zastoupeny 34 eq%, což je po Müllerově a Drahuščině prameni nejvíce.

V neposlední řadě, je zde třeba uvést výše zmiňovaný Meduňkový pramen (typ  $Ca - HCO_3 - Cl$ ), Meduňkový pramen A (typ  $Ca - HCO_3 - SO_4 - Cl$ ) a zdroj LJ1/V6 (typ  $Ca - HCO_3 - Cl - SO_4$ ) v jímacím území Kalvodka, protože obsahovaly tak vysoké koncentrace chloridových aniontů, že se projevíly na hydrochemickém typu.

V průběhu jednotlivých let byly zaznamenány velké změny ve složení Slovanského pramene. Slovanský pramen, je téměř symbolem Lázní Jeseník, neboť leží v těsné blízkosti Balneoparku a zdobí jej dnes nový mramorový pramenní pomníček, s bronzovou plastikou dlaní. Z tohoto důvodu byl vzorkován ve všech třech letech. Měřené koncentrace  $HCO_3^-$  v něm výrazně klesaly a to od hodnoty 94,6 mg/l (2015), před 56,4 mg/l (2016), až na hodnotu 33,6 mg/l (2017) a 43,3 mg/l (2017 kontrolní rozbor). Mírně také klesaly hodnoty vápenatých a hořečnatých kationtů (Příloha 8). Tato změna je mnohem větší než předpokládaná nepřesnost stanovení. Proto je možné, že tyto změny souvisejí s rekonstrukcí, která proběhla na jaře roku 2015 a hydrochemická charakteristika pramene se v průběhu času již stabilizuje.

Měření obsahu mikroelement ve vzorcích vod dle předpokladů ukázalo pouze nízké hodnoty, velmi často pod mezí detekce (Příloha 9). Z naměřených hodnot značně vystupuje „východní šachta pravé strany“ (LJ1/V11). Tento vodárenský záchyt se vyznačuje zvýšeným obsahem chromu, titanu, železa, mědi, uranu a vzácných zemin (REE). Blízké objekty prameny Anna a Bezručův se vyznačují také zvýšenými koncentracemi chromu. Meduňkový pramen (LJ1/16) v obou letech měření obsahuje zvýšené koncentrace titanu, železa, niklu, kobaltu a stroncia. Překvapivé jsou zvýšené koncentrace některých prvků ve skupině pramenů ležících na jihozápadním úbočí Studničního vrchu. Konkrétně se jedná o prameny: Šárka (LJ1/17), Vídeňský (LJ1/18), Diamantový (LJ1/19) a Schindlerův (LJ1/23). Tato skupina se souhrnně vyznačuje zvýšenou koncentrací zinku, ale jinak jsou jejich složení dosti rozličné. Pramen Šárka vystupuje obsahem rubidia a vzácných zemin. Vídeňský pramen obsahuje zvýšené množství manganu, kobaltu, niklu a mědi. Diamantový pramen se vyznačuje koncentracemi mědi, niklu, cesia a překvapivě olova a Schindlerův pramen se vyznačuje koncentracemi niklu, kobaltu, mědi, rubidia a vzácných zemin. Potvrzeny byly zvýšené koncentrace hořčíku v Meduňkovém prameni, vodárenském záchytu V6 v jímacím území Kalvodka, Teschnerově, Drahuščině a Müllerově prameni.

Teschnerův pramen obsahoval nejvyšší koncentrace uranu a zvýšené koncentrace zinku. Zvýšený obsah zinku byl zaznamenán také v prameni Bernské odpočívadlo a Priessnitzově prameni. Překvapivá je zvýšená koncentrace cínu v Pražském prameni. Předpokládáme, že se jedná buďto o analytickou chybu, nebo kontaminaci ze styku s nějakými kovy.

## Tritium

Měření aktivity tritia ( $^3\text{H}$ ) bylo podrobena celkem 5 vzorků. Tyto vzorky byly vybrány tak, aby reprezentativně pokryly skupiny místních pramenů a dalších zdrojů a pomohly objasnit jejich genezi, konkrétně dobu oběhu od infiltrace vody do jejího vývěru. Výsledky analýz shrnuje Tab. 4.

Je třeba mít na paměti, že koncentrace tritia na Zemi byla silně ovlivněna použitím termonukleárních zbraní při atmosférických testech v minulém století. Díky těmto rozdílům je dnes možné modelovat stáří vody na základě množství tritia. Protože se koncentrace tritia jak v prostoru, tak v čase mění, je nutné tyto modely aktualizovat, a proto je existující interpretační schéma časově dynamické.

Tab. 7 Výsledky stanovení aktivity tritia ( $^3\text{H}$ ) ve vybraných vodách oblasti Lázní Jeseník

Kód objektu	číslo revize	Název	TU (tritium unit)
LJ1/1	R4	Slovanský pramen	<b>5</b>
LJ1/5a	R3	Adélin pramen	<b>6.8</b>
LJ1/8	R3	Jitřní pramen	<b>7</b>
LJ2/6	R2	Teschnerův pramen	<b>3.9</b>
LJ1/V6	R2	jímací území Kalvodka	<b>4.8</b>

Vzorky na tritium byly vybrány tak, aby bylo možné podpořit teorie o genezi těchto vod. Jako nejstarší se jeví Teschnerův pramen, kde je díky nízké koncentraci tritia (3,9 TU) zřejmě vysoký podíl infiltrace před rokem 1950, v kombinaci s mladší vodou. Oproti tomu nejmladší vody dle TU a hydrogeologické situace území jsou Jitřní pramen (7,0 TU) a Adélin pramen (6,8 TU), což odpovídá vodě infiltrované po roce 2005, či směsi vody z 60. a 70. let 20. století s vodou mladší, či starší. Druhá varianta je však vzhledem, k položení pramenů a hydrogeologické situaci málo pravděpodobná. Jedná se tedy o vody s relativně krátkou dobou zdržení. Poslední dva zdroje – Slovanský pramen (5,0 TU) a vodárenský záchyt LJ1/V6 v jímacím území Kalvodka (4,8 TU) je buďto voda z období 1980–2005, nebo směs vody infiltrované před rokem 1950 a po 1950. V obou případech se velmi pravděpodobně jedná o vodu z rozmezí 1980 – 2005, neboť je zde málo pravděpodobný příspěvek vod z období před rokem 1950. Pro přesnější určení dob zdržení lze doporučit další výzkumy.

Těmito analýzami byly podpořeny předpoklady, že zde vyvěrají vody s relativně krátkým oběhem (dobou zdržení), v řádu prvních desítek let. Ovšem i tato izotopová metoda potvrdila, že doby zdržení

nejsou monotónní a lze nalézt vody různého stáří. Je také velmi pravděpodobné, že dochází k výraznému míšení vod různého stáří a geneze, pravděpodobně v rámci mísení v kvartérním pokryvu.

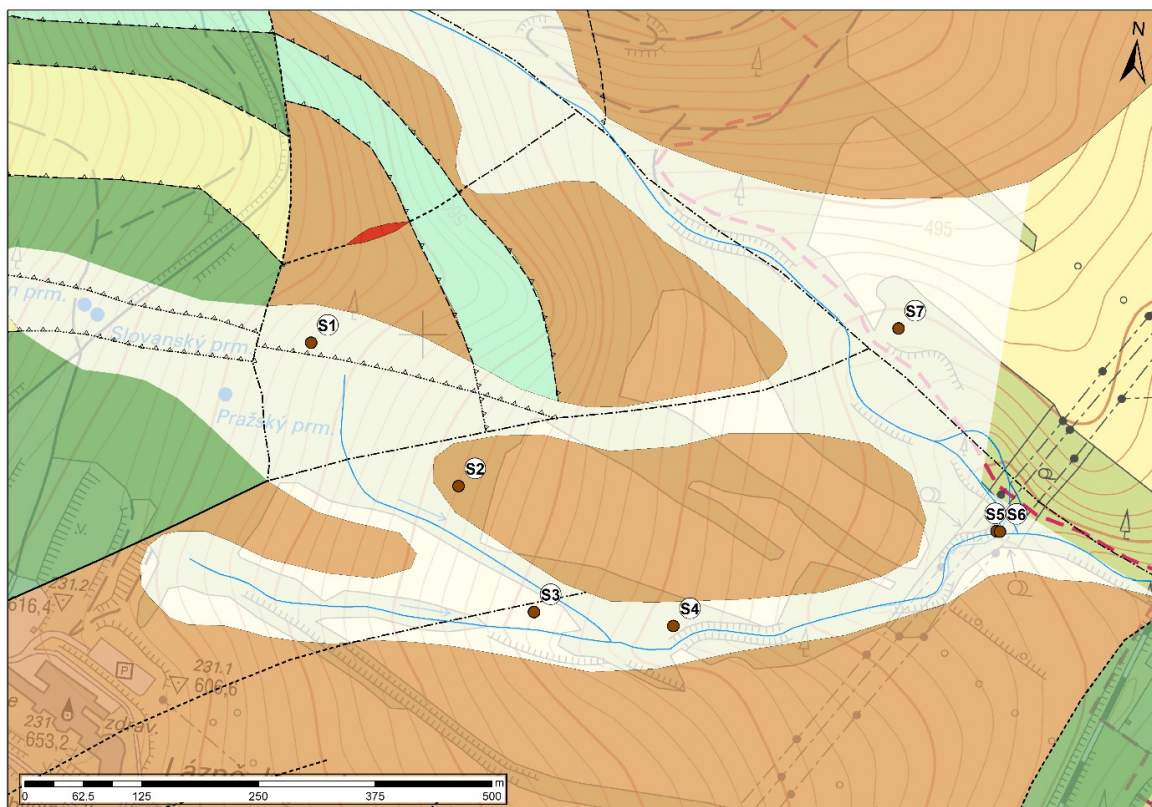
### Výskyt peloidů

Na počáteční popud Mgr. Zdeňka Třískaly byl realizován vyhledávací průzkum na zdroje peloidů, které by bylo možno využít jako přírodního léčivého zdroje ve smyslu „Lázeňského zákona“.

Bylo od počátku jasné, že šance výskytu peloidů na zkoumaném území je nízká. Nevyskytují se zde žádná větší rašeliniska (typu vrchoviště), ani není znám z provedených geologických mapování či historicky jiný typ podobných kvartérních uloženin. V každém případě by surovina mohla být z balneologického smyslu spíše podřadnější kvality, v nevelkých geologických zásobách.

Přes nepříznivé předpoklady byl dne 17. 5. 2017 proveden krátký vyhledávací průzkum. Jako jediné perspektivní území potenciální akumulace organických uloženin byl navržen relativně plošší terén v mokřím, bažinatém území pod Pražským pramenem a níže území mezi tokem od Balneoparku i dolní částí toku od Bezručova pramene, až k soutoku těchto vodotečí nad Českou Vsí, kde je lokálně velmi plochý terén, malý rybníček a mokřad s křovinatým porostem.

Charakter kvartérních uloženin byl zkoušen ruční sondážní tyčí, při hloubce sond do jednoho metru na všech místech „podezřelých“ podle znaků vegetace, vodních projevů i morfologie terénu. Získaný profil byl pedologicky dokumentován. Dále byla zaznamenávána případná naražená hladina vody a zaměřena pozice sondy. Pozici sond zobrazuje schématická mapa na Obr. 25., profily sond a další údaje jsou uvedeny v Příloze 11.



Obr. 25 Schématická mapa pozice sond průzkumu výskytu peloidů severní části oblasti Lázně Jeseník

Ve všech případech byly nalezeny pouze kvartérní uloženiny svým charakterem nesouvisející s peloidy. Byly to zejména jílovito-písčité deluvia, do různé míry nasycená vodou (sondy S1 až S4 v širší oblasti Pražského, Mójova a Meduňkového pramene), jílovité nívné akumulace (sonda S7 v nivě potoka pod Bezručovým pramenem, v blízkosti pramene Salamander). Na soutoku obou potoků se vyskytuje akumulace nečistých jílovitých písků (sondy S5 a S6).

Provedený průzkum na výskyt peloidů má tedy výsledek negativní.

### Sirný pramen

Tento vývěr má zcela odchylné vlastnosti od ostatních vodních zdrojů zkoumané oblasti a z tohoto důvodu je proto popisován samostatně.

Objekt byl nalezen při zimní termometrické akci dne 7. 1. 2017 podle charakteristického zápachu, šířícího se na dlouhou vzdálenost. Podrobněji byl tento neobvyklý objekt zkoumán během následující akce, dne 17. 5. 2017.

Vývěr v původní podobě tvořil plošný průsak ve spádnicové lesní cestě stoupající od louky k nově vybudovanému Labyrintu. V horní části prameniště bylo patrné několik dílčích vývěrů, velmi slabých pramének vytékající vody. Po spádnici tvořil vývěr zamokřený úsek délky cca 30 m na lesní cestě. Pak se voda opět ztrácí, jak zpětně infiltruje do svahovin. Průtok zdroje je relativně velmi slabý. V tomto ustáleném stavu byl odhadnut pouze okolo 1,8 l/min.

Vody Sirného pramene prosakují přes relativně špatně propustnou, kamenito-jílovitou navážku, zhutněnou na lesní cestě. Na místě (tušeného) zdroje vody nad vrcholem prameniště byly realizovány výtlukové sondy ruční sondážní tyčí. Navážkou nejprve nebylo možné pro přítomnost větších kamenů prorazit. Čtvrtá sonda však navážkou prošla a v hloubce 40 cm se dostala pod její úroveň do výrazně měkčího podloží, kdy okamžitě eruptovala. Za charakteristického zvukového efektu se na ústí sondy objevil přetok vzpěněné, bohatě proplyněné vody o počátečním průtoku > 12 l/min, který však rychle slábl (Obr. 26). Po částečném ustálení byl naměřen průtok pouze 0,2 l/min.

Voda Sirného pramene silně zapáchá, a to nejen přítomností rozpuštěného sulfanu, ale i dalších, pravděpodobně organických látek. Zápachem tak upomíná nikoli na čisté vody sulfanové, spíše se blíží svým charakterem zápachu vod splaškových. Voda je mírně zakalená, světle šedá, opaleskující. Podle měřeného oxidačně-redukčního potenciálu je voda silně redukční (Eh v rozmezí -22 až -30 mV), nízce mineralizovaná, (EC =256  $\mu$ S/cm, tedy poněkud více než mají okolní vývěry), teplota oproti okolním vývěrům mírně zvýšená (9,3 °C), pH nebylo z důvodu obav o poškození elektrody měřeno, chuť vody nebyla zkoušena.

Otázkou byla geneze vývěru Sirného pramene. Vývěr se nachází již dost daleko od zástavby lázní a také leží již mimo dosah (i výškový) dlouhodobě provozované skládky za Priessnitzovým sanatoriem, kde se nadále kompostují odpady organického původu. K osvětlení geneze nevedla ani první konzultace s pracovníky PLL. Proto byl na náš podnět proveden dne 1. 6. 2017 na místě vývěru bagrový odkryv (Obr. 27) a hledány další informace.



Obr. 26 Přetok Sirného pramene po naražení ruční sondou, krátce po částečném ustálení. Foto Tomáš Kohn 17. 5. 2017.



Obr. 27 Foto vývěru Sirného pramene po odkrytí bagrovým výkopem dne 1. června 2017. Foto Roman Illek, použito se souhlasem autora.

Bylo zjištěno, že vývěr se nachází na okraji původní stavební jámy, vzniklé při konstrukci Labyrintu, do které bylo podle dále získaných informací zahrnuto i okolo dvaceti pařezů, pocházejících z vykáceného prostoru Labyrintu.

Je tedy nanejvýše pravděpodobné, že Sirný pramen je vývěr průsaku tímto prostorem, v němž dochází pod povrchem a pod vodní hladinou ke hnití dřevní hmoty, obohacení vody o organické látky i redukci rozpuštěného

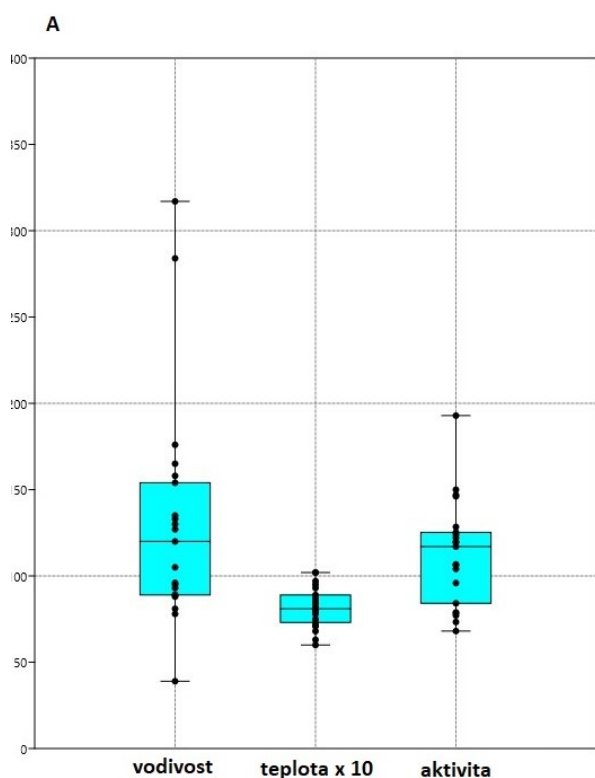
sulfátu na sulfid, resp. sulfan. Obsah rozpuštěného sulfanu nebyl z důvodu omezených finančních prostředků stanoven. Podle částečné chemické analýzy aniontů má však voda velmi nízký obsah síranů (pouze 5,8 mg/l), což je zcela nejnižší hodnota ze všech analyzovaných vzorků, neboť o sírany byla při redukci voda ochuzena. V částečné chemické analýze dále upoutá velmi vysoký obsah fluoridů (9,4 mg/l). Podle vyjádření pracovníků laboratoře to však může být interference s organickými látkami při užití chromatografické metodě a bylo by záhodno tuto hodnotu dále ověřit nezávislou metodou.

Z provedených prací vyplývá, že Sirný pramen (resp. jeho neobvyklé složení) není vysoce pravděpodobně přírodního původu. Je to nejspíše hříčka lidských rukou, tedy voda antropogenně ovlivněná, i když přírodními materiály, ovšem v nepřirodní konfiguraci, kdy se do cesty již existujícímu drobnému průsaku svahovinami dostalo pod hladinu podzemní vody náraz větší množství čerstvé dřevní hmoty.

## Rozdělení vod dle fyzikálních parametrů

V kapitolách výše byly postupně rozebrány jednotlivé měřené fyzikální parametry. Tato kapitola se tyto parametry pokusí uvést ve vzájemných souvislostech. Všechny použité hodnoty jsou uvedeny v příloze 7. Pro toto zhodnocení byla podobně jako u chemického složení využita klastrová analýza ve statistickém programu Past verze 3.15. Byla použita Wardova metoda klastrování (Ward 1963) a vstupní hodnoty byly normalizovány, aby byla každé vstupní hodnotě přisouzena stejná váha. Normalizace vstupních hodnot byla provedena kvůli nesouměřitelnosti především hodnot teploty s vodivostí a aktivitou. Vstupními hodnotami pro toto rozdělení byly hodnoty konduktivity, teploty a aktivity  $^{222}\text{Rn}$ . Do této analýzy vstupovaly hodnoty za každý rok, aniž by byly průměrovány. Výsledkem analýzy bylo rozdělení do tří větších skupin A, B a C, přičemž skupiny B a C byly dále rozděleny na dvě

podskupiny B1, B2, C1 a C2. Výsledný dendrogram je uveden v příloze 12 a tabulka v příloze 13 shrnuje příslušnost jednotlivých objektů do skupiny.



Obr. 28 Rozložení vstupních hodnot pro skupinu A. Hodnoty teploty [°C] jsou 10 x větší. Vodivost je vyjádřena v [μS/cm] a aktivita <sup>222</sup>Rn [Bq/l].

Tab. 8 Základní statistika nadmořské výšky a vstupních dat (vodivost, teplota a aktivita <sup>222</sup>Rn) skupiny A.

A	nadmořská výška	vodivost [μS/cm]	teplota [°C]	aktivita [Bq/l]
N	21	21	21	21
Min	495	39	6	68,06
Max	965	317	10,2	192,88
Mean	680,952	131,048	8,167	112,59
Std. error	25,175	14,342	0,260	6,764
Variance	13309,150	4319,648	1,421	960,865
Stand. dev	115,365	65,724	1,192	30,998
Median	653	120	8,1	116,97

### Skupina B

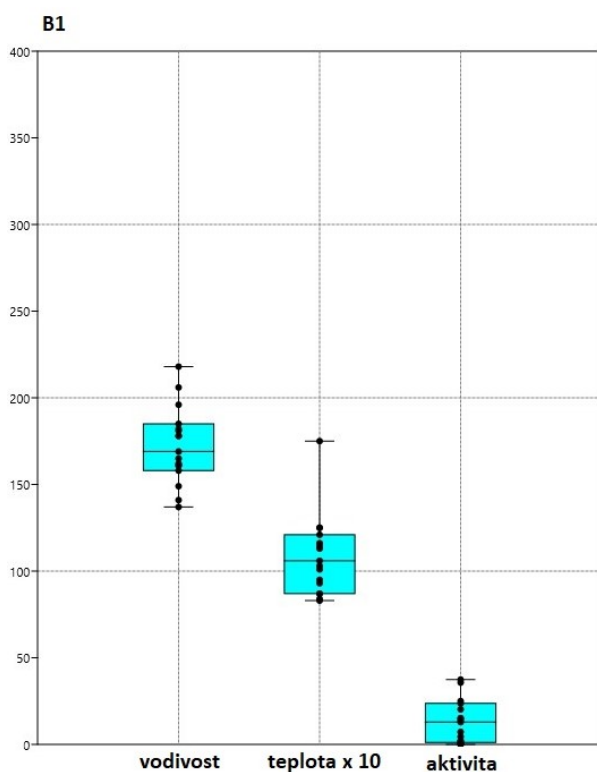
Tato skupina sdružuje zdroje, ležící v nižších nadmořských výškách (relativně v rámci zájmového území) a díky tomu se vyznačuje vyšší vodivostí. Tato skupina se dělí na podskupiny B1 a B2.

V podskupině B1, jsou zdroje, které jsou minimálně v závěrečné etapě svého proudění ovlivněny kontaktem s kvartérním pokryvem, a nejedná se tedy o čistě zlomové prameny. Toto dokazuje nižší aktivita oproti skupině B2, také vyšší rozsah teplot a vyšší průměrná teplota (Obr. 29 a Tab. 9).

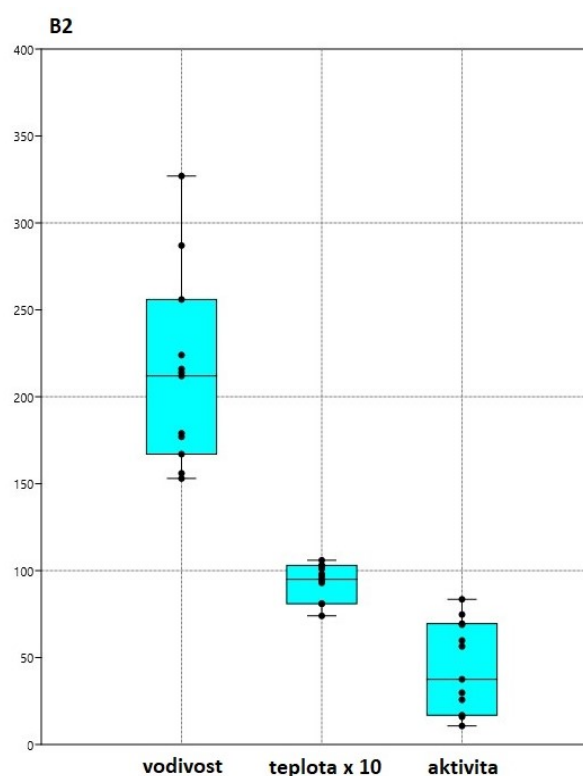
### Skupina A

Je patrné, že skupina A je od ostatních skupin nejvíce vzdálena. Z této skupiny bychom také mohli vyčlenit vodárenský záchyt LJ1/V6 v jímacím území Kalvodka, který se z této skupiny odlišuje vysokou vodivostí (dva odlehlé body v obr. 28). Hlavním rysem celé skupiny je vysoká aktivita <sup>222</sup>Rn. Dále nízký rozptyl teploty (Tab 8) a široký rozptyl nadmořské výšky těchto objektů vypovídá o genezi těchto vod. Jedná se o vody, které v místě svého vývěru jsou přímo vázány na zlomové (puklinové) systémy. Vody jsou převážně studené, takže nedošlo k jejich oteplení v kvartérním pokryvu (data měřena v teplých obdobích) a také nedošlo k výraznému vytěkání rozpuštěného radonu. Tyto prameny jsou také zřejmě vázány na horniny pro aktivaci příznivější.

Podskupina **B2** sdružuje zdroje podzemních vod, které jsou svou genezí převážně zlomové, ale jsou vázány na horniny, jež nejsou příznivé pro aktivaci vody (viz kapitoly o , než skupina A. Díky tomu mají nižší teplotu, než vody ve skupině B1 a také vyšší aktivitu. Je také patrné, že rozsah teploty této skupiny je mnohem menší (Obr. 30 a Tab. 10).



Obr. 29 Rozložení vstupních hodnot pro skupinu B1. Hodnoty teploty [°C] jsou 10 x větší. Vodivost je vyjádřena v [μS/cm] a aktivita <sup>222</sup>Rn [Bq/l].



Obr. 30 Rozložení vstupních hodnot pro skupinu B2. Hodnoty teploty [°C] jsou 10 x větší. Vodivost je vyjádřena v [μS/cm] a aktivita <sup>222</sup>Rn [Bq/l].

Tab. 9 Základní statistika nadmořské výšky a vstupních dat (vodivost, teplota a aktivita <sup>222</sup>Rn) skupiny B1.

B1	nadmořská výška	vodivost [μS/cm]	teplota [°C]	aktivita [Bq/l]
N	17	17	17	17
Min	463	137	8,3	0
Max	716	218	17,5	37,43
Mean	565,65	172,18	10,85	12,74
Std. error	15,177	5,279	0,542	2,973
Variance	3915,743	473,779	4,985	150,270
Stand. dev	62,576	21,766	2,233	12,258
Median	551	169	10,6	12,88

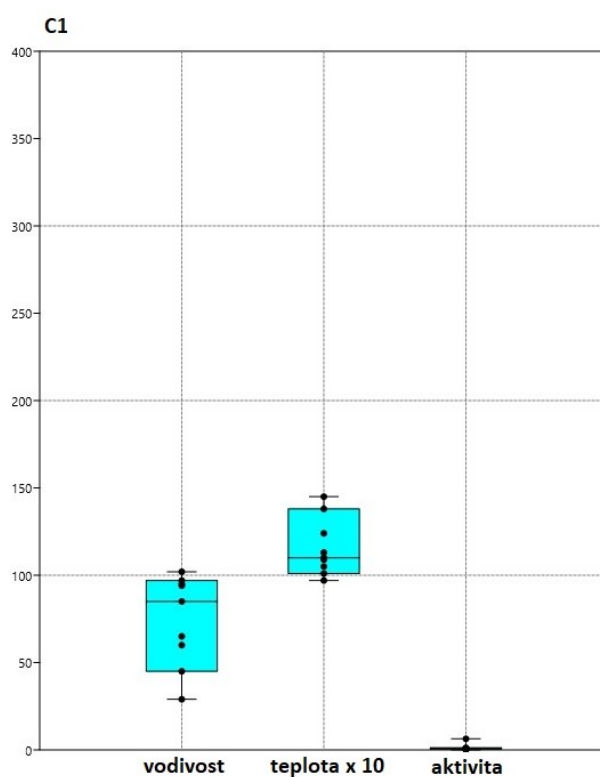
Tab. 10 Základní statistika nadmořské výšky a vstupních dat (vodivost, teplota a aktivita <sup>222</sup>Rn) skupiny B2.

B2	nadmořská výška	vodivost [μS/cm]	teplota [°C]	aktivita [Bq/l]
N	12	12	12	12
Min	443	153	7,4	10,69
Max	657	327	10,6	83,53
Mean	566,83	214,00	9,38	45,80
Std. error	18,723	15,535	0,291	7,469
Variance	4206,515	2896,182	1,018	669,448
Stand. dev	64,858	53,816	1,009	25,874
Median	568	213	9,6	46,98

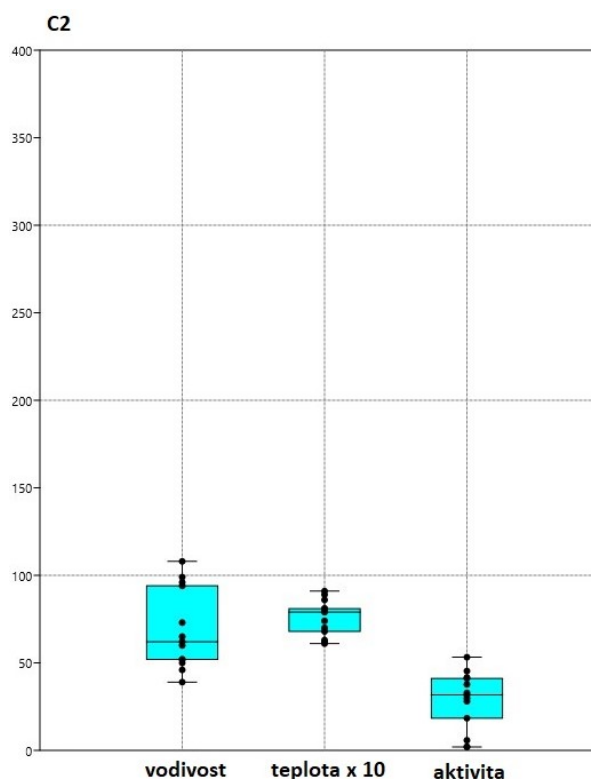
**Skupina C** spojuje vodní zdroje ležící ve vyšší nadmořské výšce (Obr. 31 a 32) S tím souvisí nízká vodivost, těchto vodních zdrojů.

Také v tomto případě podskupina **C1** reprezentuje skupinu zdrojů, které jsou ovlivněny prouděním kvartérními sedimenty, čímž ztratily téměř zcela aktivitu <sup>222</sup>Rn a také jejich teplota je tímto faktorem silně ovlivněna (viz skupina B2) Tab 11.

Podskupina C2 reprezentuje skupinu generelně zlomových pramenů, či s krátkým setrváním v kvartéru, vyšších nadmořských výše. Díky tomu jsou to vody s nízkou mineralizací, studené, s malým rozptylem teplot (Tab. 12) a vázané na horniny nepříznivé pro aktivaci.



Obr. 31 Rozložení vstupních hodnot pro skupinu C1. Hodnoty teploty [°C] jsou 10 x větší. Vodivost je vyjádřena v [μS/cm] a aktivita <sup>222</sup>Rn [Bq/l].



Obr. 32 Rozložení vstupních hodnot pro skupinu C2. Hodnoty teploty [°C] jsou 10 x větší. Vodivost je vyjádřena v [μS/cm] a aktivita <sup>222</sup>Rn [Bq/l].

Tab. 11 Základní statistika nadmořské výšky a vstupních dat (vodivost, teplota a aktivita <sup>222</sup>Rn) skupiny C1.

C1	nadmořská výška	vodivost [μS/cm]	teplota [°C]	aktivita [Bq/l]
N	9	9	9	9
Min	675	29	9,7	0
Max	892	102	14,5	6,37
Mean	771,89	74,67	11,58	1,29
Std. error	20,365	8,671	0,551	0,644
Variance	3732,611	676,750	2,737	3,735
Stand. dev	61,095	26,014	1,654	1,933
Median	756	85	11	0,66

Tab. 12 Základní statistika nadmořské výšky a vstupních dat (vodivost, teplota a aktivita <sup>222</sup>Rn) skupiny C2.

C2	nadmořská výška	vodivost [μS/cm]	teplota [°C]	aktivita [Bq/l]
N	13	13	13	13
Min	796	39	6,1	1,99
Max	932	108	9,1	53,26
Mean	878,54	68,92	7,58	28,44
Std. error	12,627	6,357	0,284	4,641
Variance	2072,603	525,410	1,052	280,061
Stand. dev	45,526	22,922	1,026	16,735
Median	891	62	7,9	31,67

## 7. Shrnutí výsledků a diskuse

Z hydrogeologického hlediska se jedná o hydrogeologický masiv krystalinika Z globálního hlediska, jsou místní, převážně metamorfované horniny, považovány za izolátory. Nacházíme zde však tři specifické typy kolektorů podzemní vody: Prvním kolektorem jsou kvartérní deluviální a fluviodeluviální sedimenty, druhým kolektorem je zóna přípovrchového rozvolnění a třetí kolektor tvoří hydrogeologicky významné zlomy a zlomová pásma hlubšího založení. Tento popis by však sám o sobě byl hrubým zjednodušením mnohem složitější situace, protože v praxi mnohdy dochází k částečnému propojení těchto kolektorů a hydraulické komunikaci mezi nimi. Významným hydrogeologickým prvkem je také na zkoumaném území ojedinělá čočka krystalického vápence, která funguje jako drenážní systém a svádí vodu do krátkého (cca 400 m) úseku údolí pod Bezručovým pramenem. Dle geologické situace je navíc tento úsek zcela jednoznačně nejvíce postižen zlomovou tektonikou, a to jak v minulosti, což indikuje anomální výskyt pegmatitových a křemenných žil, tak je zlomové pásmo (zřejmě i vícenásobně) oživeno a otevřeno i recentně, o čemž svědčí právě hydrologická situace. Díky tomu jsou zde vysoké vydatnosti zachycených podzemních vod s vydatnostmi až 240 l/min (4 l/s). Tento zlomový systém tak může komunikovat se zdroji hlubších mineralizovanějších vod. Jejich případné drobné přírony však mohou být velkým průtokem vod málo mineralizovaných mělkých a vod povrchových ředěny, a proto unikají pozornosti, včetně našeho podrobného měření.

Z hlediska geneze můžeme rozlišit dva základní typy vod. Prvním typem jsou prameny (a vodárenské záchyty), které v místě svého zachycení/vývěru jsou vázány na zlomy a pukliny podložních hornin. Tyto vody se vyznačují převážně nízkou teplotou a vyšší aktivitou <sup>222</sup>Rn. Dle předchozího rozdělení se jedná o skupiny: A – zdroje vázané na horniny příznivější pro aktivaci (viz níže), a skupiny B2 a C2. Druhým typem jsou vody, které jsou minimálně v závěrečné fázi prostupu geologickým prostředím v kontaktu s kvartérním pokryvem, kde dochází k ovlivnění teploty a aktivity. Jedná se o skupiny B1 a C1. Největší vliv na snížení aktivity mají zřejmě suťová pole, kde dochází přímo k vytěkání radonu z vody. Nicméně i prostup jílovitými deluvii vede ke snížení aktivity. To z důvodu rozpadu samotného radonu a částečně také únik radonu do půdního vzduchu.

Protože je podzemní voda vázána především na pukliny podložních hornin, je její pohyb relativně rychlý a voda nemá dostatek času rozpustit horninu a tím se výrazněji nabohatit o rozpuštěné komponenty. To způsobuje velké rozdíly v hydrochemických typech jednotlivých vodních zdrojů. Z celkově 38 analyzovaných zdrojů bylo stanoveno 18 různých hydrochemických typů, což svědčí o velké variabilitě. Ovšem při bližším pohledu, kdy byla data z chemických analýz podrobena klastrové analýze vyšlo najevo, že jsou zde tři generelní skupiny pramenů: 1. skupina zahrnuje pouze dva zdroje – Meduňkový pramen a vodárenský záchyt LJ1/V6 v jímacím území Kalvodka, 2. skupina sdružuje zdroje poněkud více mineralizovaných vod s převládajícím hydrochemickým typem Ca – HCO<sub>3</sub> – SO<sub>4</sub> a 3. skupina jsou zdroje

nejvýše položené, s nízkou mineralizací a značně variabilním složením. Relativně krátké doby zdržení v rádech prvních desítek let byly podpořeny izotopovými analýzami tritia.

Zajímavým, v přírodě nepříliš běžným hydrochemickým typem jsou vody typu Mg-Ca-SO<sub>4</sub>, tvořící na zkoumaném území samostatný klastr. Konkrétně to jsou prameny Müllerův a Drahuščin. K nim je však nutno zařadit i blízký pramen Teschnerův, který je sice již typu Ca-Mg-SO<sub>4</sub>, ale má ze všech pramenů náležící druhé skupině rozlišené klastrovou analýzou absolutně nejvyšší obsah hořčíku, a to 5,1 – 5,6 mg/l (Přílohy 6 a 8). Původ rozpuštěného hořčíku můžeme jednoznačně přisoudit vlivu litogeochemie podložních hornin. Pravděpodobným zdrojem bude některý z hořečnatějších typů amfibolitů, jejichž složení je na studovaném území mineralogicky i texturně velmi různorodé (Cháb et al. 2004).

Plošným měřením radioaktivity vod byla zjištěna těsná vazba zvýšených aktivit na geologickou situaci. Konkrétně jde o kvarcitové pruhy, ve kterých jsou soustředěné neaktivnější prameny. Typickým příkladem jsou prameny na linii Pražský pramen – Teschnerův pramen. Nejvyšší průměrné hodnoty byly zaznamenány ve vodárenském záhytu LJ1/V6 v jímacím území Kalvodka, a to 170 Bq/l, druhý v pořadí byl Jitřní pramen s průměrnou hodnotou 142 Bq/l. Celkově však bylo nalezeno sedm objektů s aktivitou vyšší jak 100 Bq/l.

Směrem k lázeňským návštěvníkům a klientům je proto vhodné kromě Jitřního pramene komunikovat i další zdroje vod se zvýšenou radioaktivitou, a to zejména Pražský a Slovanský pramen jako prameny snadno dostupné, v blízkosti lázeňského centra, případně i pramen Teschnerův, jako nesnadno dohledatelný, „objevitelský“ a pramen Čeňkův, dosažitelný až delším horským trekem, pro klienty s potřebou tréninku jejich fyzické kondice.

Výskyt mírně radioaktivnějších vod je na zkoumaném území z geologického hlediska až překvapivý, neboť jsou tyto vývěry vázány na málo fertillní horniny, co se týká jejich radioaktivity i obsahu uranu, které můžeme z petrofyzikálního hlediska označit za nízké až střední (Skácelová a Manová in Cháb et al. 2004). Názory Jirkovského (1951, 1953), že vody aktivuje radonem minerál allanit (ortit), nebo že radioaktivitu vod způsobuje přítomnost granitů žulovského plutonu jsou již překonané. Allanit je sice radioaktivní, váže však v obvyklých případech thorium a nikoli uran. Žulovský pluton je od aktivnějších zdrojů relativně velmi daleko. Při uvažovaných rychlostech proudění podzemní vody a poločasu rozpadu radonu (3,82 dne) by voda ztratila aktivitu jeho rozpadem na své cestě.

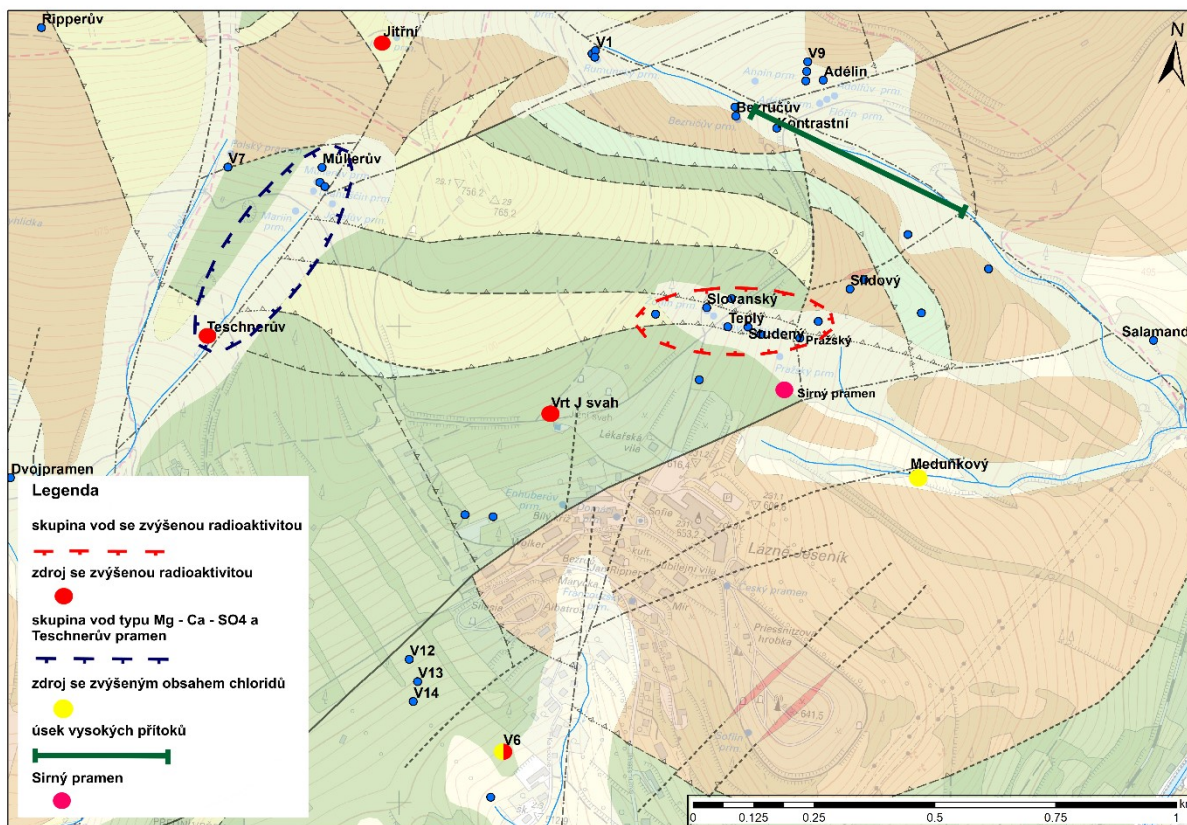
Podle topolitologické korelace aktivnějších zdrojů vod s pozicí kvarcitů je naopak velmi pravděpodobné, že se zde uplatňuje mechanismus aktivace prosazovaný Woodem et al. (2004), tedy model inovýměnně-difuzní, kdy jsou vody aktivovány v kontaktu s povrchy akviferu, s <sup>226</sup>Ra (jako prvek mateřským pro <sup>222</sup>Rn) na jeho stěnách, sorbčně vázaným do povlaků hydratovaných oxidu Fe<sup>3+</sup> či Mn<sup>4+</sup>. Právě kvarcity jsou geologicky příznivým prostředím pro vývin takového puklinového, dobře otevřeného a pro vodu propustného kolektoru.

Významnými objevy jsou nález Meduňkového pramene a vodárenského záchyty LJ1/V6 v jímacím území Kalvodka. Tyto dva zdroje nejsou sice pozičně blízko u sebe, ale mají několik společných charakteristik. První a nejmýznější je jejich chemické složení. Oba zdroje mají vysoké obsahy chloridů v koncentracích okolo 20 mg/l. Jejich odlišnost oproti ostatním vodám a hydrochemickou spřízněnost potvrdila i klastrová analýza.

V případě Meduňkového pramene a Meduňkového pramene A je patrné, že tato voda vyvěrá do vodního toku, který za vyšší vodních stavů odtéká jako souvislá vodoteč údolím pod Balneoparkem. Je pravděpodobné, že toto údolí je tektonicky porušeno v širším rozsahu, a proto jsou tyto přírony vody s relativně podobným složením plošně rozprostřené. Vzhledem k situaci tohoto pramenu přímo po spádnicí pod Priessnitzovým sanatoriem je v tomto případě dosti pravděpodobná přítomnost chloridů jako antropogenní kontaminace, např. starým trativodem. U pramene je patrná reakce na aktuální vodní stav, což indikuje i jistou souvislost s kvartérním pokryvem.

Také v případě vodárenského záchyty LJ1/V6 je geneze vody nejasná. Podle tritiových analýz to jsou pravděpodobně vody infiltrované v období mezi rokem 1980 – 2005, ale nevylučují také směs vody před rokem 1950 s vodou mladší. Každopádně je zde výrazné zastoupení „mladé“ vody, protože v opačném případě by byla aktivita tritia téměř nulová. Přítomnost chloridů v tomto vodním zdroji je poněkud překvapivá, vzhledem k poloze pod soustavou záchyťů LJ1/V12, 13 a 14, ve kterých takto vysoké koncentrace naměřeny nebyly a v případě kontaminace z provozu cesty, která nad těmito záchyty vede, bychom očekávali znečištění právě v těchto objektech. Dále má tato voda obecně zvýšenou vodivost a také aktivitu  $^{222}\text{Rn}$ , zcela nejvyšší ze všech analyzovaných vod v širším okolí lázní, takže to je velmi pravděpodobně voda vázaná na zlomový systém. Ačkoli i zde se nedá zcela vyloučit antropogenní kontaminace, mohou být obsažené chloridy i složkou přírodní, indikující příspěvek hlubinných chloridových solanek přírodního původu. Tento zdroj je také nejbliže významnému sudetskému zlomu probíhajícímu v údolí k Lázním Lipová a ověřeným geofyzikálně i vrtným průzkumem (Řezníček et al. 1994).

Významné indicie a anomální objekty nalezené a ověřené provedeným radiohydrogeochemickým průzkumem jsou zobrazeny na Obr. 33.



Obr. 33 Svodná mapa nalezených hydrochemicky a hydrologicky anomálních objektů v rámci zkoumaného území Lázní Jeseník

## 8. Závěr a doporučení dalších prací

Zdejší hydrogeologická situace je značně komplikovaná a jak chemicko-fyzikální parametry, tak geneze vod je rozmanitá. Obecně zde vyvěrají studené vody s nízkou mineralizací, pH neutrální, oxidační (mimo Srdového pramene), s relativně krátkou dobou oběhu. Radioaktivita všech vod je nízká, některé zdroje mají radioaktivitu mírně zvýšenou. Vzhledem k provedeným pracím nebyla naším výzkumem přítomnost přirozeně (na povrch) vyvěrajících minerálních vod v této oblasti a ani přítomnost jiných přírodních léčivých zdrojů (peloidů) ve smyslu Lázeňského zákona.

Je však nutno si uvědomit, že přítomnost povrchových vývěrů minerálních vod (mimo vod radonových) by v tak hojně navštěvovaném území takřka jistě neunikla pozornosti již v minulosti. Takové vývěry mají zcela charakteristické znaky patrné i laické veřejnosti: Voda je teplá, uvolňují se z ní plyny, či sráží precipitáty. Proto byla šance na přímý nálezy povrchového vývěru minerálního pramene zcela zanedbatelná.

Výskyt skrytých hlubších zdrojů minerálních vod však na území Lázní Jeseník není nepravděpodobný. Již Hynie (1963) předpokládá, že zde je šance na nález srdových teplic, stejného typu, který vyvěrá ve Velkých Losinách.

Během realizovaného výzkumu se podařilo odhalit několik indicií výskytu zdrojů minerálních vod. Proto doporučujeme provést další práce a tyto indicie dále rozpracovat a ověřit:

- 1) V místech vodárenského záchyty LJ1/V6 v jímacím území Kalvodka a v oblasti vývěru Meduňkového pramene doporučujeme provedení podrobného geofyzikálního průzkumu, pro identifikaci předpokládaných tektonických poruch a ověření detailní geologické stavby. Pro tyto účely se jeví nejvhodnější odporové geoelektrické metody, případně magnetometrie.
- 2) V případě Sirného pramene doporučujeme nejprve jeho zachycení a odvedení mimo cestu. (Tím dojde i k odvodnění cesty.) Dále by tento pramen měl být déle sledován pro zjištění vývoje jeho fyzikálně-chemických vlastností. Měl by být analyzován obsah sulfanu a ověřena anomální koncentrace fluoridů nezávislou metodou.
- 3) Území výrazného nárůstu průtoků na toku pod Bezručovým pramenem je nejvíce tektonicky postiženou oblastí z celého území a mocné zlomové pásmo pravděpodobně zasahuje do větších hloubek s pravděpodobností výskytu mineralizovanějších vod. Zde by měl být v první řadě proveden podrobný geofyzikální průzkum. Druh nasazených geofyzikálních metod by měl být předmětem odborné diskuse.
- 4) Dále lze doporučit kontinuální sledování zájmových objektů, pro zhodnocení časové variability a získání delších časových řad. Konkrétně bychom doporučili kontinuální měření průtoku na jímacím objektu LJ1/V6, kde by byla instalace např. měrného přepadu značně jednoduchá, a pro porovnání doporučujeme vybrat minimálně další dva kontrolní prameny. Vhodné se jeví také měření u Meduňkového pramene, ovšem to by vyžadovalo jeho umělé podchycení. V případě přistoupení k těmto krokům, je vhodné je zkombinovat s pravidelným odběrem vzorků pro další izotopové analýzy kyslíku ( $\delta^{18}$ ), vodíku ( $\delta^D$ ) a měření fyzikálních parametrů.

## 9. Literatura

- Bertalanffy L. (1957): Quantitative laws in metabolism and growth. *The quarterly review of biology* 32, no. 3 (Sep., 1957): 217-231.
- Bussinov I. (1972): Základní geologická mapa ČSSR 1:50 000 M-33-71-B v měřítku 1:25 000, listy B-a, b, c, d. MS Geofond Praha. 1972.
- Domenico P., Schwartz W. (1997): Physical and chemical hydrogeology (2nd edition). John Willey and sons, Inc. New York. 497p.
- Galgánek J. (1999): JESENÍK revize hydrogeologických vrtů. Archiv ČGS – Geofond. Signatura GF-P98368
- Haaslahti J., Aalto J., Oikari T. (2000): A Portable Liquid Scintillation Counter for General LSC and High Sensitivity Alpha-Counting Applications. *J Radioanal Nucl Chem* 243(2), 377-381.
- Hammer Ø., Harper T., Ryan P. (2001): Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 9 s.
- Hynie O. (1948): Povšechný hydrogeologický posudek o Lázních Jeseníku s ohledem na výskyt radioaktivních, případně jiných minerálních vod, s posudkem mechového jezírka u Rejvízu. MS. Stát. geol. úst. Čs. republ. Praha.
- Hynie O. (1963): Hydrogeologie ČSSR II., Minerální vody. ČSAV Praha. 797s.
- Cháb J. et al. (1990): Základní geologická mapa 1: 25 000 list 14-224 Jeseník. Ústřední ústav geologický Praha.
- Cháb J., Čurda J., Kočandrlé J., Manová M., Nývlt D., Pecina V., Skácelová D., Večeřa J., Žáček V. (2004): Základní geologická mapa České republiky 1: 25 000 s Vysvětlivkami. 14-224 Jeseník. Česká geologická služba Praha. 2004.
- IAEA (2013): Using isotopes for design and monitoring of artificial recharge system. International Atomic Energy Agency Vienna, 74 s. ISBN 978-92-0-163613-3
- Jirkovský R. (1951): Zpráva o chemickém výzkumu a měření radioaktivity horských pramenů oblasti Lázní Jeseníku. Přírodověd. sborn. Ostrav. kraje 12. 3-20.
- Jirkovský R. (1953): Minerální prameny ve Slezsku. *Příloha Přírodověd. sborn. Ostrav. kraje XIV*, č. 1-2. Opava. 78s.
- Kozłowska B., Hetman A, Zipper W. (1999): Determination of <sup>222</sup>Rn in natural water samples from health resorts in the Sudety mountains by the liquid scintillation technique. *Applied Radiation and Isotopes* 51. 475-480
- Kočka M. Kubík A. (2006): Vincenz Priessnitz světový přírodní léčitel. *Nakladatelství Pavel Ševčík – Veduta*. 181 s.
- Kočka M. (2001): Vincenz Priessnitz Prameny živé vody. *Nakladatelství Pavel Ševčík – Veduta*. 281 s.
- Kubík A. (2016): Lázně Jeseník včera a dnes. *Společnost Vincenze Priessnitze, z.s.* 135 s.
- Lázeňský zákon (2001): Zákon č. 164/2001 Sb., Zákon o přírodních léčivých zdrojích, zdrojích přírodních minerálních vod, přírodních léčebných lázních a lázeňských místech a o změně některých souvisejících zákonů (Lázeňský zákon).

Michalíček M., Maník R., Procházková V. (1993): Geochemie vybraných přírodních léčivých a stolních vod ČR – ověřovací etapa. MS. ČGÚ Brno.

Müller V. ed. (2003): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1 : 50 000. Listy 04-43 Bílý Potok, 04-44 Javorník, 14-21 Travná, 14-22 Jeseník. ČGS Praha. 80s.

Opletal M. (2015): Revize geologické a tektonické stavby v okolí Lázní Jeseník, MS. 5s.

Pates J.M., Mullinger N.J. (2007): Determination of  $^{222}\text{Rn}$  in fresh water: Development of a robust method of analysis by  $\alpha/\beta$  separation liquid scintillation spectrometry. *Appl Radiat Isot* 65. 92-103.

Pazdírková J., Zedník J., Špaček P., Pecina V., Sýkorová Z., Krumlová H. (2013): Zemětřesení v Hrubém Jeseníku 14. 6. 2012. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 20(1-2)

Quitt E. (2003): Bioklima Priessnitzových přírodních léčebných lázní Jeseník. MS 107 s.

Řezníček V., Kuklová K., Aichler J. (1994): Výsledky hydrogeologických vrtů BVJ-301 až 305 (Lipová lázně, Bobrovník). *Geol. Výzk. Mor. Slez.* v r. 1993, 96-97.

Selinger E. (2014): Životní příběh Vincenze Priessnitze. *Společnost Vincenze Priessnitze, z.s.* Přeložil: MUDr. Alois Kubík, 124 s.

Skácel J. (1978a): Základní geologická mapa ČSSR 1: 50 000 M-33-71-A-b v meziměřítku 1: 25 000, listy B-a, b, c, d (překreslené do nových topografických podkladů). MS Geofond Praha. 1978a.

Ward J. (1963): Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58. 236-244.

Wood W. W., Kraemer T. F., Shapiro A. (2004): Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) in Ground Water of Fractured Rocks: A Diffusion/Ion Exchange Model. *Ground Water* 42/4: 552-567.

Internetové zdroje:

[http://mapy.geology.cz/geocr\\_50/](http://mapy.geology.cz/geocr_50/). 2017. *Geologická mapa 1:50 000*. [Online] 14. říjen 2017.

IAEA/WMO (2015): Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database (on line) <http://isohis.iaea.org>