

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geologie



Bc. Pavel Kohn

Prameny radioaktivních minerálních vod v oblasti tanvaldského granitu
Springs of the radioactive mineral waters on Tanvald granite

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Viktor Goliáš, Ph.D.

Praha, 2015

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 7.8. 2015

Podpis

Poděkování:

V první řadě patří mé poděkování mému školiteli **Mgr. Viktoru Goliášovi, PhD.**, za trpělivé vedení mé diplomové práce, pomoc při terénním průzkumu, vyhodnocení dat a především za nadšení pro projekt vyhledávání přírodních radioaktivních vod, jehož jsem měl tu čest být účasten.

Dále bych rád poděkoval doktorandce Mgr. Lence Hruškové za velmi užitečné rady týkající se práce v programu Arc Map 10.2 a za celkovou pomoc při psaní mé diplomové práce.

Mé poděkování patří také zaměstnancům Severočeských vodovodů a kanalizací a.s. panu Ing. Jakubu Průšovi a panu Miroslavu Linhartovi, kteří nám umožnili dostat se do jímacích objektů na Černostudničním hřbetu. Panu Linhartovi patří poděkování také za to, že nám poskytl velice užitečnou dokumentaci těchto objektů.

Za poskytnutí dokumentace k Schindlerovu prameni děkuji pracovníkům magistrátu statutárního města Jablonec nad Nisou. Za další informace o Schindlerově prameni děkuji také panu Josefu Šikolovi.

Dále bych rád poděkoval Lence Jílkové (PřF UK) a Ing. Haně Zámečnickové (ČZU) za provedení chemické analýzy vzorků vod.

Za umožnění bádání v archivu s.p. DIAMO ve Stráži pod Ralskem děkuji Ing. Lence Rychtaříkové a Mgr. Pavlu Veselému.

Závěrem bych rád poděkoval všem průzkumníkům, kteří se na terénním průzkumu podíleli:

Tomáš Černík, Michal Čurda, Martin Fanta, Michal Roll, Ivan Akimau, Tomáš Vrbický, Kristýna Jachnická, Markéta Cihlová, Jaroslava Medková, Karolína Fazekašová, Eva Haluzová, Ivan Větvička, Jitka Navrátilová, Michal Hošek, Gerelteseg Tumurkhuu, Michal Raisigl, Petra Šťastná, Jana Dolejší, Tomáš Žitný, Kristýna Kotková, Veronika Petráňová, Ondřej Šálek a hlavně Lenka Hrušková a Viktor Goliáš.

Projekt byl částečně financován z grantu GAUK 756213 a ze zdrojů Přírodovědecké fakulty UK v Praze.

Abstrakt

V letech 2014-2015 proběhl radiohydrogeochemický průzkum tělesa tanvaldského granitu. Tanvaldský granit je těleso dvojslídne žuly nacházející se na jižním okraji krkonošsko-jizerského plutonu v lužické části sasko-durynské zóny variského orogénu. Cílem průzkumu bylo nalezení radioaktivních vod, jejichž objemová aktivita ^{222}Rn přesahuje hodnotu 1500 Bq/l. Takovéto vody jsou podle zákona č. 164/2001 Sb. považovány za radioaktivní minerální vodu. Výsledkem bylo nalezení 20 vodních projevů splňujících tuto podmínku a mnoha dalších zdrojů blízkých se této hodnotě.

Z hlediska počtu nálezů je nejvýznamnější oblastí Dlouhý Most, kde bylo nalezeno 8 radioaktivních vodních zdrojů překračujících 1500 Bq/l. Nejvýznamnějším z nich je zde pravděpodobně zdroj TGR/11, jehož objemová aktivita ^{222}Rn činí 2449 Bq/l. Na Dlouhém Mostě se také nachází klastr vod s mírně zvýšenou konduktivitou (nad 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Chemický rozbor nejvýznamnějšího z nich (TG1/15) ukázal, že se jedná o vodu Na-Ca-Cl typu, pravděpodobně kontaminovanou splachem z dálnice, která je v zimě solena.

Další důležitou lokalitou je oblast kokonínského zlomu. Na této významné geologické struktuře se nachází celkem 4 radioaktivní prameny s objemovou aktivitou ^{222}Rn vyšší, než 1500 Bq/l, z nichž nejvýznamnějším zdrojem je vývěr TGR/33 - Schindlerův pramen (max. 2446 Bq/l). Impozantní průtok 0,42 – 0,45 l/s dělá tento pramen nejvýznamnějším objevem celého průzkumu a v jednání je jeho další využití.

Kromě 4 radioaktivních pramenů se na této významné geologické struktuře vyskytuje také klastr vod se zvýšenou konduktivitou. U 5 vodních projevů byla měřená konduktivita vyšší, než 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Studna TGR/35 má dokonce konduktivitu až 3900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, chemická analýza ukázala, že se jedná o vodu Na-Cl typu s celkovou mineralizací 1756 mg/l. Zvýšená mineralizace vod v této oblasti je však pravděpodobně důsledkem antropogenního znečištění těchto zdrojů.

Celkem 5 radioaktivních vodních projevů bylo nalezeno v oblasti Černostudničního hřbetu. Nejvýznamnějšími z nich jsou TG4/17 (max. 2125 Bq/l), který je součástí rozsáhlého jímacího území na severozápadním svahu Černostudničního hřbetu a na severním svahu v Nové Vsi nad Nisou vrt TG1/31, občasně využívaný jako zdroj vody na pití – max. 2185 Bq/l. Konduktivita vod je na severozápadním svahu Černostudničního hřbetu mírně zvýšená (nad 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$), avšak chemický rozbor TG4/17 ukázal, že se nejedná o vodu Na-Cl typu, ale o vodu typu Na-Si-Ca-Cl-SO₄. Mineralizace je v této oblasti pravděpodobně přirozeného původu.

3 radioaktivní minerální prameny byly nalezeny v oblasti Rádlo-Milíře. Nejvýznamnějším zdrojem je zde čistá a udržovaná studánka TG4/13 - Voňka (max. 3128 Bq/l), která je nejvíce radioaktivním známým zdrojem vody na tanvaldském granitu. Chemický rozbor ukázal, že voda v této studánce je slabě mineralizovaná (72 mg/l) a má nízký obsah dusičnanů (11 mg/l).

Byl potvrzen předpoklad výskytu radioaktivních minerálních vod na tanvaldském granitu, který se od svého okolí geologicky a geochemicky liší. Plocha o přibližné rozloze 17 x 2,5 km byla prozkoumána v dostatečné kvalitě i hustotě. Proběhlý průzkum lze označit jako úspěšný.

Summary

In the years 2014–2015 a radiohydrogeochemical survey was carried out in the Tanvald granite body. Tanvald granite is a two-mica granite body located on the southern edge of the Krkonoše-Jizera Pluton, in the Lusatian part of the Saxony and Thuringian zone of the Variscan orogenic belt. The aim of the survey was to find radioactive water, the ^{222}Rn volume activity of which exceeds 1500 Bq/l. Such water is – under the Act no. 164/2001 Coll. – considered as radioactive mineral water. The result was a found of 20 water sources meeting this condition and many other sources approaching this value.

In terms of the findings, the most important area is Dlouhý Most, where 8 of the radioactive water resources exceeding 1500 Bq/l were found. The most important of these is probably the source TGR/11 with the ^{222}Rn volume activity 2449 Bq/l. A cluster of water sources with a slightly higher conductivity (exceeding 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$) appears in the Dlouhý Most area. Chemical analysis of the most important of them (TG1/15) showed that it is water of the Na-Ca-Cl type, probably contaminated by a run-off from the motorway, which is salted in winter.

Another important site is the Kokonín fault area. At this important geological structure a total of four springs of radioactive water with the ^{222}Rn volume activity greater than 1500 Bq/l was discovered, of which the most important source is the spring TGR/33 (max. 2446 Bq/l). An impressive flow from 0.42 to 0.45 l/s makes this spring the most important discovery of the entire survey and further use of this spring is in discussion.

Besides the 4 radioactive springs, a cluster of water with increased conductivity also occurs at this important geological structure. Conductivity higher than 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ was measured in 5 water manifestations. The well TGR/35 has a conductivity even 3900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The chemical analysis showed that it is the Na-Cl water type with a total mineralization of 1756 mg/l. The increased water mineralization in this area is likely due to anthropogenic pollution of these resources.

A total of 5 symptoms of radioactive water was found on the Černostudniční ridge. The most important of them are TG4/17 (max. 2125 Bq/l), which is a part of an extensive catchment area on the north-west slope of the Černostudniční ridge, and the borehole TG1/31 on the northern slope of the Černostudniční ridge in Nová Ves nad Nisou, occasionally used as a source of drinking water – max. 2185 Bq/l. Conductivity of water on the north slope of the Černostudniční ridge is slightly elevated (above 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$), but chemical analysis of TG4/17 showed that it is not water of the Na-Cl type but an Na-Si-Ca-Cl-SO₄ water type. Mineralization in this area is probably of natural origin.

3 radioactive mineral springs were found in the area of Rádlo-Milíře. The most important source is a clean and well-kept spring TG4/13 – Voňka (max. 3128 Bq/l), which is the most radioactive source of water known in the Tanvald granite. Chemical analysis showed that the water in the well is slightly mineralized (72 mg/l) and has a low content of nitrate (11 mg/l).

This survey confirmed the assumption of radioactive mineral water occurrence in the Tanvald granite, which is geologically and geochemically different from its neighbourhood. Surface of an approximate area of 17 x 2.5 km was explored in a sufficient quality and density. The survey can be called as successful.

1. ÚVOD	1
2. RADIOAKTIVNÍ VODY	2
2.1. Radioaktivita	2
2.2. Radioaktivní záření a jeho vlastnosti	2
2.3. Radioaktivita vod	2
2.4. Výskyt radioaktivních vod ve světě	3
2.5. Radioaktivní vody v České republice	3
2.6. Využití radioaktivních vod v lázeňství a rizika spojená s ozařováním organismu	3
2.6.1 Radioaktivní vody v lázeňství.....	3
3. CHARAKTERISTIKY ZKOUMANÉHO ÚZEMÍ.....	5
3.1. Geologie zkoumaného území	5
3.1.1 Geologie Krkonoško-jizerského krystalinika a tanvaldského granitu	5
3.1.2 Uranový průzkum v oblasti a jeho výsledky	7
3.2 Geomorfologie a místopis zkoumaného území.....	7
3.3. Klimatická a hydrologická charakteristika zkoumaného území	8
4. METODIKA VYHLEDÁVÁNÍ RADIOAKTIVNÍCH MINERÁLNÍCH PRAMENŮ A MĚŘENÍ RADIOAKTIVITY VOD.....	9
4.1. Příprava ploch pro terénní průzkum	9
4.1.1 Elektronické mapové vrstvy použité pro průzkum území	9
4.1.2 Terénní mapy použité pro průzkum území	9
4.1.3 Terénní průzkum	9
4.2. Metodika vyhledávání pramenů v terénu	9
4.3. Metodika vzorkování vod	11
4.3.1. Metodika vzorkování vod pro stanovení aktivity rozpuštěného ²²² Rn	11
4.3.2. Metodika vzorkování vod pro chemické analýzy	11
4.4. Metodika měření aktivity rozpuštěného ²²² Rn vzorků vod	11
4.5. Metodika měření chemického složení vod.....	11
5. VÝSLEDKY PRŮZKUMU PROVEDENÉHO V LETECH 2014-2015	12
5.1. Výsledky vyhledávání radioaktivních vod a chemických rozborů vybraných vzorků	12
5.2 Popis významných zkoumaných lokalit	13
5.2.1 Zdroje radioaktivních vod v oblasti Dlouhého Mostu	13
5.2.2 Zdroje radioaktivních vod v oblasti Rádlo – Milíře	17
5.2.3 Zdroje radioaktivních vod v oblasti Černé Studnice	19
5.2.4 Zdroje radioaktivních vod v oblasti kokonínského zlomu a Schindlerův pramen	21
5.3 Výsledky měření konduktivity vod a chemické rozborů	24
6. DISKUZE	28

7. ZÁVĚR	31
8. POUŽITÁ LITERATURA.....	32
8.1 Odborné publikace	32
8.2 Internetové zdroje.....	34
8.3 Použitý software.....	34

Seznam obrázků

Obr. 1: Tanvaldský granit, pegmatitová partie s turmalínem.....	5
Obr. 2: Liberecký granit	5
Obr. 3: Pozice tanvaldského granitu v krkonošsko-jizerském krystaliniku.....	6
Obr. 4: Krajina na tanvaldském granitu.....	8
Obr. 5: Srovnávací měření RP 11 a RP 106	10
Obr. 6: Měření gama aktivity přístrojem RP 11 v terénu	10
Obr. 7: Aktivita vod na tanvaldském granitu.....	12
Obr. 8: TGR/5, Studánka u Kyksů	14
Obr. 9: TGR/8 - Macounova studna, stav v květnu 2014	14
Obr. 10: TGR/11 - Studna Oudrnických	15
Obr. 11: TGR/14 - U Sedmilháře	15
Obr. 12: TG4/9 - Pod Alejí.....	16
Obr. 13: TG1/15.....	16
Obr. 14: Aktivity vod a geologie v oblasti Dlouhého Mostu.....	17
Obr. 15: Aktivita vod v oblasti Rádlo – Milíře.....	18
Obr. 16: TG1/24, Pramen Prozřetelnosti.....	20
Obr. 17: TG4/17 - Objekt 16	20
Obr. 18: Radioaktivita vod na Černé Studnici.....	20
Obr. 19: Radioaktivita vod v oblasti kokonínského zlomu	21
Obr. 20: Intenzita gama záření v okolí Schindlerova pramene – TGR/33	22
Obr. 21: Instalace víčka v revizní šachtě Schindlerova pramene	23
Obr. 22: Vzhled výtoku Schindlerova pramene v červnu 2015	23
Obr. 23: Výsledky měření konduktivity vod	25
Obr. 24: Konduktivita vod v oblasti kokonínského zlomu	26
Obr. 25: Konduktivita vod na Dlouhém Mostě.....	26
Obr. 26: Konduktivita vod na Černé Studnici	30

Seznam tabulek

Tab 1: Statistický přehled výsledků stanovení radioaktivity vod.....	13
Tab 2: Statistické zhodnocení konduktivity měřených vzorků.....	25
Tab 3: Celkové výsledky chemických analýz vzorkovaných pramenů.....	27
Tab 4: Statistické zhodnocení radioaktivity vod na tanvaldském granitu a na okolních horninách	29

Seznam grafů

Graf 1: Korelace mezi aktivitou ^{222}Rn zdroje a dávkovým příkonem záření gama měřeným u vývěru pramene.....	29
--	----

Seznam příloh

Příloha I: Celkový přehled všech měřených zdrojů

Příloha II: Plán jímacích objektů SČVK na Černé Studnici

1. ÚVOD

Radioaktivní prameny jsou přírodní vývěry vod, v nichž jsou rozpuštěny radioaktivní prvky, zejména radon. Radon je radioaktivní plyn, který je znám od roku 1900. Jeho nejdůležitějším izotopem je ^{222}Rn , který je členem rozpadové řady ^{238}U . Jelikož se radioaktivita vod běžně neměří, jsou zdroje radioaktivních vod většinou neznámé. Jejich výskyt není plošně zmapován. Často se pak stane, že jsou na nich nevědomky vybudována lidská sídla, je z nich odebírána voda na pití, což může ohrožovat zdraví těch, kteří ji pijí. Nebo se naopak vyskytují na dobře přístupných místech, kde by mohly sloužit k léčebným účelům, ale nikdo o nich neví, neboť jejich radioaktivitu nelze ani vidět, ani cítit, lze ji pouze měřit.

Využití minerálních vod k léčebným účelům je velmi staré. O radioaktivitě se však nevědělo až do 19. století, tím méně pak o radioaktivitě vod. Po objevení radioaktivity byly postupně poznány také její účinky na lidské zdraví. Ty mohou být léčivé i škodlivé. Těch léčivých účinků je využíváno nejen v radioaktivních lázních, ale také při ozařování nádorů nebo v diagnostice mnoha onemocnění. V lázeňství jsou uplatňovány zejména radioaktivní koupele, existují však i další postupy, například pitné kúry nebo inhalace radioaktivního vzduchu. Nejstarší radioaktivní lázně na světě byly vybudovány v Jáchymově. Využívají zdrojů teplých radioaktivních vod, které jsou podchyceny v bývalých uranových dolech. Léčí se v nich lidé, kteří mají problémy s pohybovým aparátem, zejména s klouby. Léčení však pomáhá také při onemocnění periferního nervového systému a páteře, při kožních nemocech, vylepšuje stavy u nemocných cukrovkou nebo dnou a zlepšuje stavy po úrazech a operacích. V lázních působí specialisté na léčbu Bechtěrevovy choroby a mohou zde být léčeny také některé nemoci oběhového ústrojí.

Tyto skutečnosti motivují k vyhledávání a studiu přírodních radioaktivních vod. Jejich výskyt je podmíněn specifickými geologickými a hydrogeologickými poměry. Výzkumy ukazují, že se podmínky pro vznik radioaktivních vod nevyskytují pouze na Jáchymovsku, ale také v mnoha jiných oblastech České republiky. Radioaktivní vody byly nalezeny v Orlicko-Sněžnické klenbě, v Krkonoších a v neposlední řadě také v Jizerských horách. Jejich výskyt v oblasti tanvaldského granitu byl znám již před druhou světovou válkou. Od té doby však v této oblasti neproběhl žádný další výzkum a tak byly některé zdroje znehodnoceny, na jiné se zapomnělo. To ale neznamená, že by vývěry radioaktivních vod v této oblasti přestaly existovat. Současné výzkumy ukazují, že v tělesu Tanvaldského granitu se vyskytuje mnoho vod, jejichž radioaktivita je prokazatelně zvýšená, u několika objektů pak přesahuje hranici 1500 Bq/l, což z nich podle „lázeňského zákona“ dělá přírodní léčivý zdroj. Obeznamenost s těmito skutečnostmi pak umožňuje vyvarovat se dlouhodobému pití radioaktivních vod, které může být škodlivé, nebo tyto vody naopak využívat k léčbě těch, kteří ji potřebují.

2. RADIOAKTIVNÍ VODY

2.1. Radioaktivita

Radioaktivita je jev vznikající v důsledku nestability jader některých prvků. Byla objevena Henry Becquerelem v roce 1896. Jádra nestabilních prvků se samovolně rozpadají, vznikají stabilnější nuklidy za emise radioaktivního záření. Samovolná přeměna jader probíhá několika různými způsoby.

Alfa rozpadem se z mateřského jádra odštěpí alfa částice, neboli jádro ${}^4\text{He}$, atomové číslo dceřiného jádra klesne o 2, nukleonové číslo klesne o 4.

Beta rozpad probíhá několika různými způsoby. Rozpad Beta^- spočívá v rozpadu neutronu v jádře na proton, elektron a antineutrino. Dceřiné jádro má pak atomové číslo větší o 1, přičemž jeho nukleonové číslo zůstává stejné. Rozpad Beta^+ spočívá v přeměně protonu na neutron a pozitron. Dceřiné jádro má nukleonové číslo opět stejné, ale jeho atomové číslo se zmenší o 1. Poslední formou Beta rozpadu je tzv. záchyt elektronu. Nestabilní jádro si přitáhne elektron z K-slupky elektronového obalu, ten reaguje s protonem za vzniku neutronu. Nukleonové číslo dceřiného jádra se opět nemění, zatímco jeho atomové číslo se zmenší o 1.

Další formou radioaktivního rozpadu je spontánní štěpení. Je typické pro jádra těžkých prvků, například jádra ${}^{238}\text{U}$. Takové nestabilní jádro se spontánně rozdělí na 2 lehčí jádra, přičemž jsou emitovány neutrony. Ty pak mohou narážet do okolních jader a vyvolat další, vyzvané štěpení (Košler a kol., 1997).

2.2. Radioaktivní záření a jeho vlastnosti

V důsledku výše popsaných jaderných přeměn je emitováno radioaktivní záření. Alfa záření je tvořeno proudem letících jader ${}^4\text{He}$. Je silně ionizující, vzniká alfa rozpadem například ${}^{226}\text{Ra}$ nebo ${}^{222}\text{Rn}$. Dá se snadno zachytit například papírem, nebo jakýmkoliv těžším materiálem. Dolet alfa částic ve vzduchu je jen několik cm.

Záření Beta je tvořeno proudem letících elektronů nebo pozitronů. Vzniká Beta rozpadem například ${}^{40}\text{K}$. Je podstatně pronikavější, než alfa záření, dá se ale snadno stínit například hliníkem, nebo těžšími kovy.

Dceřiná jádra jsou po alfa nebo beta přeměně často v excitovaném stavu. Deexcitací těchto jader vzniká elektromagnetické záření gama, které je mnohem pronikavější. Ionizující účinky gama záření nejsou způsobeny nabitými částicemi (gama záření jsou fotony), ale jsou způsobeny kinetickou energií gama kvant. Gama záření se dá stínit například vrstvičkou olova, je také plně pohlceno vodním sloupcem o mocnosti 1 m nebo vrstvou půdy či horniny o mocnosti 40 cm.

Záření neutronové vzniká na Zemi zejména spontánním štěpením. Je silně pronikavé, zastavit se dá materiály s vysokým podílem lehkých prvků, například vodíku. Síla tohoto záření na Zemi však není vysoká, neboť spontánní štěpení není tak časté, jako jiné druhy radioaktivního rozpadu a zemská kůra neobsahuje tak velké množství těžkých prvků (ve srovnání s například ${}^{40}\text{K}$ je toto množství zanedbatelné).

2.3. Radioaktivita vod

Radioaktivitu vod způsobují radionuklidy, které jsou ve vodách rozpuštěny. Základními dvěma typy radioaktivních vod jsou vody s radioaktivitou trvalou a vody s radioaktivitou přechodnou. Trvalá radioaktivita vod je způsobena radionuklidy s dlouhým poločasem rozpadu, například ${}^{226}\text{Ra}$, nebo ${}^{234}\text{U}$. Radioaktivita přechodná je způsobena nuklidy s krátkým poločasem rozpadu, zejména pak ${}^{222}\text{Rn}$.

2.4. Výskyt radioaktivních vod ve světě

Radioaktivní vody jsou známy po celém světě. Na rozdíl od nerostných surovin a jiných komodit však v současné době nejsou (až na několik výjimek) cíleně vyhledávány a zkoumány. Proto se radioaktivní vody zdají být vzácné, byť v určitých oblastech může být opak pravdou. Mishra (1993) uvádí zvýšené radioaktivity termálních pramenů v Indii, Íránu, Rakousku a v Jugoslávii, přičemž hodnoty z Indie a z Jugoslávie jsou velmi nízké, naopak v Rakousku představují až 4500 Bq/l ^{222}Rn a v Íránu až 400 Bq/l ^{226}Ra , jedná se tedy o vodu s velmi vysokou trvalou radioaktivitou. Slané radioaktivní prameny se nacházejí v Německu (Baden-Baden), radioaktivní prameny teplé až 89°C v Itálii (Abano Terme). V Maďarsku, proslulém mnoha termálními prameny, se radioaktivní vody vyskytují například v lázních paši Arnauta u městečka Eger (<http://madarsko.orbion.cz/stat/pruvodce/termalni-lazne-1107/>). Wagner (1931, 1942) uvádí velmi radioaktivní vody na Slovensku ve Vysokých Tatrách. Cadigan a kol. (1977) navrhuje možnost průzkumu uranových rud na základě měření izotopů U, Th, Ra a ^{214}Bi v pramenech a v sedimentech vysrážených kolem pramenů v Utahu, Coloradu, Arizoně a v Novém Mexiku ve Spojených státech amerických.

2.5. Radioaktivní vody v České republice

Výskyt radioaktivních vod je v České republice zdokumentován podstatně lépe, než v jiných částech světa. První lázeňské využití radioaktivních vod v dole Svornost v Jáchymově je uváděno v roce 1906 (www.laznejachymov.cz). Systematickým měřením radioaktivity vod se již ve 30. a 40. letech 20. století zabýval Wagner (1942), radioaktivní vody objevil zejména v horách tzv. Sudet, jež geologicky náleží Sasko-durynské zóně variského horstva a skládají se ze Saxoturingika a z Lugika. Další radioaktivní vody byly nalezeny při vyhledávání a průzkumu ložisek uranu v tehdejší Československu v 50. - 80. letech 20. století. V současné době se systematickým vyhledáváním přírodních radioaktivních vod v České republice zabývá Goliáš a kol. (2007, 2010, 2013). Radioaktivní vody s objemovou aktivitou ^{222}Rn vyšší, než 1500 Bq/l (tato hodnota je pro radioaktivní minerální vody stanovena Lázeňským zákonem č. 164/2001 Sb., jenž byl naposledy novelizován v roce 2015), byly nalezeny v Orlicko-Sněžnické klenbě (20 vodních projevů, maximální aktivita 5175 Bq/l), v oblasti Janských lázní a Těsného dolu (3 prameny, maximální aktivita 4725 Bq/l), v Horní Malé Úpě v Krkonoších (12 vodních projevů, maximální aktivita 5253 Bq/l), v okolí Lázní Libverda, kde bylo nalezeno 20 vodních projevů s maximální aktivitou pramene Michael 6215 Bq/l, což je nejvíce radioaktivní známý pramen v České republice, který vytéká na povrchu (Hrušková 2013), a v oblasti Chrastava – Bogatynia, kde bylo nalezeno dokonce 30 radioaktivních vodních projevů s objemovou aktivitou ^{222}Rn přesahující 1500 Bq/l, z nichž nejaktivnější pramen dosahoval hodnoty 3345 Bq/l (Černík in prep). V této oblasti byly nalezeny také vývěry radon-chloridových vod nedaleko Albrechtic u Frýdlantu (Goliáš a kol. 2014).

2.6. Využití radioaktivních vod v lázeňství a rizika spojená s ozařováním organismu

2.6.1 Radioaktivní vody v lázeňství

Zdá se, že již před 2500 lety využívali radioaktivní vody staří Řekové na ostrově Ischia (Hrušková 2013). O moderních radioaktivních lázních v tomto případě nelze mluvit, neboť v té době nebyla známa ani radioaktivita, na druhou stranu byly účinky těchto vod známy a využívány, byť se o jejich důvodu v té době nevědělo. Prvními moderními radioaktivními lázněmi na světě byly lázně Jáchymov, kde se s využíváním radioaktivních vod začalo v roce 1906 (www.laznejachymov.cz). V té době se již o radioaktivitě vědělo a během 20. století bylo učiněno mnoho objevů využívajících radioaktivity. Ne všechny tyto objevy a vynálezy byly dobré, avšak radioaktivní lázně patří k tomu nejlepšímu, co nám radioaktivita přináší.

Je-li lidské tělo přechodně ozařováno nízkými dávkami radioaktivity (například v Jáchymovských lázních je k tomu využíváno 10-24 koupelí trvajících 20 minut ve vodě o aktivitě 4500 – 5500 Bq/l),

dochází k celé řadě jevů. Nejdůležitějším z nich je tzv. radiolýza, neboli rozštěpení molekul radioaktivním zářením. Radiolýze v buňkách podléhá například voda, sacharidy, aminokyseliny, enzymy, bílkoviny a také DNA a RNA. Tím vznikají tzv. volné radikály, neboli nabitě částice, které potřebují neutralizovat svůj náboj reakcemi s jinými částicemi. Tyto radikály tedy silně narušují prostředí v buňce, což může vést k poškození různých částí buňky, k mutacím, případně to může vyvolat buněčnou smrt. Jelikož život vznikal od počátku v radioaktivním prostředí, dokázal se na tyto problémy adaptovat. Díky tomu mají všechny organismy (včetně člověka) reparační mechanismy, které tělo do určité míry chrání před negativními účinky radioaktivního záření. Těmito reparačními mechanismy jsou: 1. Rekombinace volných radikálů. Spočívá v reakci nabitých částic s opačným nábojem za vzniku neutrální molekuly. To může platit i v případě poškození DNA – poškozená molekula DNA je „opravena“ do původní podoby. 2. Dojde k poškození DNA, které je opraveno, ne však dokonale. V tom případě se buď nestane nic (poškozený gen není důležitý), nebo dochází k mutaci. Ta může být vyeliminována dalšími reparačními mechanismy, může ale dojít také k rakovinnému bujení. K tomu je nutné dodat, že ve všech organismech k mutacím dochází a některé mutace jsou nutnou součástí evoluce. Dojde-li tedy k mutaci, není možné předem říct, jaké následky bude tato mutace mít. 3. možností je poškození molekuly DNA takové, že molekula již nemůže být opravena. V tom případě nastává buněčná smrt (Jandová 2008, Calabrese 2004).

Lidské tělo na tato poškození prokazatelně reaguje. Kromě již výše zmíněných oprav molekuly DNA na buněčné úrovni dochází ke spuštění reparačních mechanismů na úrovni celého organismu. Dochází ke tvorbě nových, mladých buněk, jež mají nahradit buňky zničené radioaktivním zářením, což na úrovni organismu znamená regeneraci mnoha poškozených tkání. Žlázy s vnitřní sekrecí produkují různé kortikosteroidy, které ovlivňují celou řadu tělesných funkcí, například některé z těchto kortikosteroidů mají silné protizánětlivé účinky. Neboť se tělo, které je poškozováno radioaktivním zářením, může stát zranitelnější, reaguje aktivací svého imunitního systému. Webové stránky Jáchymovských lázní uvádějí také analgetické účinky na pacienty trpícími bolestmi (www.laznejachymov.cz, Šimek 2001).

Výše popsané pozitivní účinky na organismus se souhrnně nazývají „radiační hormeze“ a vycházejí ze správného dávkování radioaktivních koupelí, díky němuž je regenerace organismu v konečném důsledku silnější, než poškození způsobené radioaktivním zářením (Jandová 2008, Calabrese 2004).

3. CHARAKTERISTIKY ZKOUMANÉHO ÚZEMÍ

3.1. Geologie zkoumaného území

Průzkum radioaktivních vod proběhl na území tzv. tanvaldského granitu a v jeho nejtěsnějším okolí. Tanvaldský granit je žulové těleso, které se nachází v Lugiku.

Lugikum je velká geologická jednotka náležící k sasko-durynské zóně variského orogénu (Faryad a Kachlík 2013, Žák a kol. 2013). Rozkládá se na severním okraji České republiky, jižním okraji Polska a ve Spolkové republice Německo na hranicích s Českou republikou a s Polskem. Má velice pestré složení, složitý vývoj a příkrovovou stavbu. Na západě a na jihu je Lugikum omezeno labskou zónou, na východě hraničí s moravsko-slezskou oblastí a na severu se zanořuje pod nemetamorfované sedimenty paleozoika až kenozoika.

Lugikum se skládá z několika dílčích geologických jednotek: Lužická antiklinální zóna, Krkonoško-jizerské krystalinikum, krystalinikum Kaczawských hor, devon až sp. karbon Swiebodzické deprese, Soví hory, devon až sp. karbon Bardských hor, proterozoikum až devon kladského krystalinika a orlicko-sněžnická klenba. Nejvíce metamorfované jsou Soví hory, v jejichž horninách (migmatity, granulity a jiné...) se vyskytují budiny eklogitů. Soví hory jsou navíc nejsvrchnější jednotkou Lužické oblasti díky její příkrovové stavbě. Lugikum je zčásti překryto sedimenty české křídové pánve a sedimenty permokarbonských pánví. Je proráženo permokarbonskými i třetihorními vulkanity.

3.1.1 Geologie Krkonoško-jizerského krystalinika a tanvaldského granitu

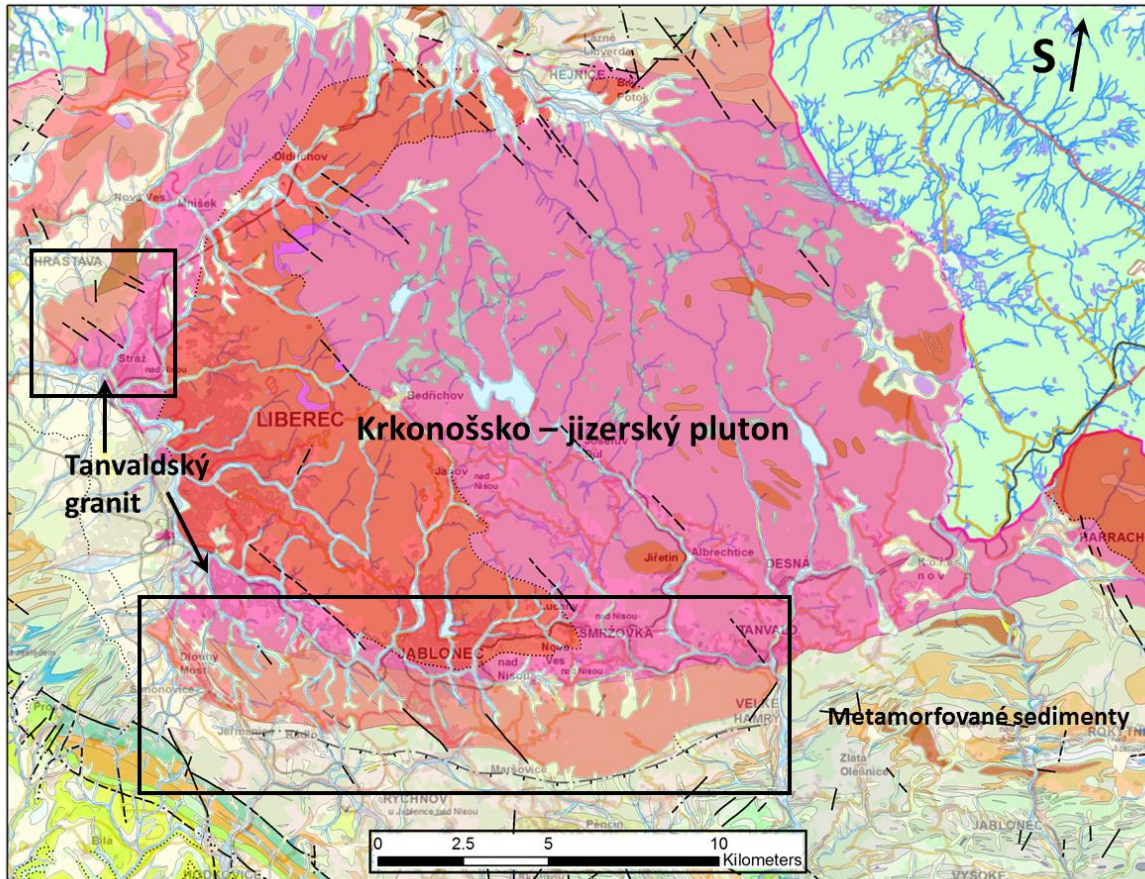
Krkonoško-jizerské krystalinikum je geologicky velice významnou jednotkou. Je plošně rozsáhlé, litologicky pestré a je porušeno několika důležitými zlomy. Skládá se především z krkonoško-jizerského plutonu, a z jeho metasedimentárního obalu. Obal je na jihu tvořen především fylity, jejichž protolit je devonského stáří, ale na západě také devonskými vápenci a kvarcitu vystupujícími především ve kře ještědského krystalinika i kře proterozoických konglomerátů machnínské skupiny.



Obr. 1: Tanvaldský granit, pegmatitová partie s turmalínem, Foto: Viktor Goliáš



Obr. 2: Liberecký granit, Foto: Lenka Hrušková



Obr. 3: Pozice tanvaldského granitu v krkonošsko-jizerském krystaliniku, Geologická mapa 1 : 50000 ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>)

Krkonošsko-jizerský pluton je protáhlé intruzivní těleso skládající se z několika typů granitoidů. Ve středu plutonu se nachází granit krkonošský. Ten je obklopen harrachovským granitem, jehož stáří je $315 \text{ Ma} \pm 2,7 \text{ Ma}$. Směrem ze středu k okraji plutonu následuje Jizerský granit ($320,1 \pm 3,0 \text{ Ma}$ a $319,3 \pm 3,7 \text{ Ma}$), v němž se nachází několik enkláv jiných, nepojmenovaných granitoidů. Následuje granit liberecký (Obr. 2) se stářím $319,5 \pm 2,3 \text{ Ma}$ (jedná se o „I“ typ), v němž je enkláva hybridního fojtského granodioritu ($318,4 \pm 2,3 \text{ Ma}$). Na jižním a západním okraji plutonu se pak nachází dvojslídny tanvaldský granit („S“ typ), jehož stáří je $317,3 \pm 2,1 \text{ Ma}$ (Obr. 1). Datování bylo provedeno na zirkonech metodou U-Pb pomocí techniky LA - ICP-MS (Žák et. al. 2013). Vzhledem ke statistické odchylce se posloupnost intruzí jednotlivých těles nedá určit s naprostou jistotou, ale zdá se, že středové části plutonu jsou nejstarší, okraje jsou mladší a nejmladší je harrachovský granit, který pravděpodobně intrudoval do již chladnoucího nebo vychladlého plutonu. Bylo by jistě zajímavé datovat stejnou metodou také granit krkonošský, který se nachází ve středu celého plutonu obklopen granitem harrachovským. Krkonošsko-jizerský pluton je postižen několika zlomovými systémy V-Z směru, S-J směru, SVS-JZJ směru, SV-JZ směru a SZ-JV směru. Machninský zlom odděluje plutonický komplex od Machninské skupiny (SZ-JV) a intrasudetský zlom (Z-V) od Kaczawského metamorfovaného komplexu. Velice důležitou strukturou je kokonínský zlom (SZ-JV), posouvající tanvaldský granit o 1 km. Tanvaldský granit je dvojslídny žula alkalického složení (na rozdíl od většiny plutonu, který má vápenato-alkalické složení). Výsledky radiometrického datování (Žák a kol. 2013) indikují, že tato hornina je mladší než další části plutonu, přímá pozorování kontaktů těchto hornin však prokazují jeho vyšší stáří (Klomínský a kol. 1969, 2006, 2007, 2010). Čerstvá hornina má převážně bílou barvu, která časem „rezne“ a tím získává teplý žlutý odstín. Díky svým mechanickým vlastnostem a příjemné barvě je v oblasti hojně využívána jako stavební a dekorační kámen. V současné době je tanvaldský granit těžen pouze lomem na Černé Studnici, ale v terénu lze najít mnoho menších lomů a lůmků, kde byla tato pěkná hornina v minulosti těžena. Pro výskyt radioaktivních pramenů je zajímavý poměr U/Th který je větší než 1, což je pro žulu poměrně

neobvyklé (Černík & Goliáš 2014). Těleso tanvaldského granitu je ze severu omezeno granitem libereckým, z jihu a z východu je omezeno horninami jihokrkonoského metamorfovaného komplexu a ze západu je omezen ještědským krystalinikem (Obr. 3).

3.1.2 Uranový průzkum v oblasti a jeho výsledky

V 50. a 60. letech proběhl v krkonosko-jizerském krystaliniku vyhledávací průzkum uranových rud. Rudy uranu byly vyhledávány radiometricky a to buď emanometricky, nebo terénním měřením úhrnné gama aktivity. Výsledkem průzkumu bylo nalezení desítek radiometrických anomálií různé intenzity, z nichž některé byly dále zkoumány průzkumnými rýhami nebo průzkumnými šachticemi. Na několika místech byly nalezeny uranové minerály (lokality klasifikované jako „rudní výskyt“) a bylo nalezeno i několik malých ložisek uranu, z nichž nejznámějším ložiskem je dnes již vytěžené ložisko Medvědin. V oblasti související s tanvaldským granitem se pak jednalo o rudní výskyt Rádlo, kde bylo v rámci průzkumu vytěženo 31,3 kg uranu. Vzdálenější pak byl rudní výskyt Příchovice, rovněž těžený v rámci průzkumu (Kadlčíková 1972), který se však nachází dále od tělesa tanvaldského granitu. Uranové rudní výskyty se nikdy neobjevují přímo v tělese tanvaldského granitu, ale buď na kontaktu s metamorfovanými sedimenty, nebo až ve vzdálenějším exokontaktu tanvaldské žuly, což ale není nijak překvapující. Ve zprávách Československého uranového průmyslu jsou obě lokality označovány jako ložiska, z dnešního pohledu však o tomto označení nelze uvažovat, neboť ložisko je takový rudní výskyt, který lze prozkoumat, vytěžit a prodat se ziskem. V době nalezení těchto výskytů však neexistoval běžný trh s uranem a těžba uranu byla v tehdejší Československu bohatě dotována státem (Kohn 2013, Pluskal a kol. 1993).

Současné výsledky terénní práce však ukazují, že uranový průzkum byl proveden v nedostatečné kvalitě, na což upozorňuje již Kadlčíková (1972). Vyhledávací průzkum byl sice prováděn v perspektivní oblasti krkonosko-jizerského plutonu a v jeho exokontaktu, což je chvályhodné, ale průzkumné profily nebyly vedeny kolmo na hlavní geologické struktury, což je metodickou chybou. Kadlčíková (1972) dále upozorňuje na ztrátu původní dokumentace některých úseků, neprovedení systematického odběru vzorků a detailizačních měření. Odebrané vzorky navíc nebyly analyzovány. V oblastech s vyšší mocností kvartérního pokryvu pak je kritizováno použití metod s dosahem kratším, než mocnost pokryvu vyžaduje (autogama průzkum). Dále je upozorněno na použití přístrojů s nižší citlivostí (PPR-5 s GM detektorem). Z těchto důvodů lze v oblasti očekávat výskyt dosud neobjevených uranových mineralizací.

3.2 Geomorfologie a místopis zkoumaného území

Tanvaldský granit je podlouhlé těleso srpkovitého tvaru prohnuté směrem k jihu. Začíná na jihu Liberce a táhne se přes Dlouhý Most, Milíře, severní okraj Rádla, jižní okraj Jablonce nad Nisou, Vrkoslavice, severní část Kokonína, Novou ves nad Nisou, Horní a Dolní Černou Studnici a Smržovku až k jihozápadnímu okraji Tanvaldu. Jelikož je tanvaldský granit poměrně tvrdá hornina, vystupuje z měkkých fylitů, které lemují jeho jižní okraj. V západní části tělesa je nejvyšším bodem vrch Císařský kámen (637 m n. m.), ve východní části pak jednoznačně dominuje Černostudniční hřbet s nejvyšším vrcholem Černá studnice (869 m n. m.). Území je lesnaté, převažují vysázené smrkové monokultury s příměsí listnatých stromů a jedle, v menší míře se však vyskytují i smíšené a listnaté lesy. Díky vyšší nadmořské výšce celého území (zhruba 400 – 869 m n. m.) se v krajině téměř nevyskytují obdělávaná pole, častěji se vyskytují sečené a nesečené louky (Obr. 4).



Obr. 4: Krajina na tanvaldském granitu, Foto: Lenka Hrušková

3.3. Klimatická a hydrologická charakteristika zkoumaného území

Těleso tanvaldského granitu se celé nachází v Libereckém kraji. ČHMÚ pro rok 2014 v tomto kraji uvádí celkový úhrn srážek 683 mm, přičemž nejméně srážek bylo v únoru (6 mm), nejvíce pak přišlo v květnu a v červenci (117 a 110 mm). To jsou v rámci České republiky hodnoty průměrné, dlouhodobý průměr ČR je 674 mm srážek za rok. Průměrná teplota ovzduší v Libereckém kraji byla v tomto roce 9,0 °C, což ukazuje na teplotně nadprůměrný rok (dlouhodobý průměr v tomto kraji je 6,4 °C). V rámci ČR to je pro rok 2014 teplota mírně podprůměrná (celorepublikový průměr byl v tomto roce 9,4 °C), ale dlouhodobý průměr v ČR je 7,4 °C. Průměrná roční teplota vzduchu často odpovídá teplotě podzemní vody.

Tělesem tanvaldského granitu neprotéká žádná významná řeka. Největším potokem je na východě Kamenice, sever tělesa je pak lemován Lužickou Nisou.

4. METODIKA VYHLEDÁVÁNÍ RADIOAKTIVNÍCH MINERÁLNÍCH PRAMENŮ A MĚŘENÍ RADIOAKTIVITY VOD

4.1. Příprava ploch pro terénní průzkum

Terénní průzkum nelze kvalitně provést bez důkladné předchozí přípravy. Nejprve bylo nutno stanovit nové průzkumné území. To bylo na tanvaldském granitu stanoveno ze dvou důvodů:

1. O radioaktivních pramenech v tanvaldském granitu se zmiňuje již Wagner (1931, 1942).
2. Kromě hlavního tělesa tanvaldského granitu, ležícího mezi Libercem a Tanvaldem, se menší křídla této žuly vyskytuje také SV od Liberce. Tato část byla prozkoumána v rámci předchozího průzkumu na území Chrastava – Bogatynia s pozitivními výsledky (Černík in prep., Goliáš a kol. 2014). Na základě těchto výsledků bylo předpokládáno, že i v hlavním tělese tanvaldského granitu budou nalezeny radioaktivní prameny.

4.1.1 Elektronické mapové vrstvy použité pro průzkum území

Podkladové mapy pro průzkum území byly připraveny v programu Arc Map 10.2. Jako datové informační vrstvy byly použity tyto mapy: geologická mapa České republiky dostupná na webových stránkách ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>) v měřítku 1:50 000 a topografická mapa ČR v měřítku 1:50 000 získaná na serveru CENIA www.geoportal.gov.cz/arcgis/services. Dále byla použita mapa lineárních prvků podle dálkového průzkumu země – tzv. fotolineace (Lysenko, 2007). Do těchto map pak byly v programu Arc Map 10.2 rektifikovány skeny leteckých gama spektrometrických map (Sedlák a kol. 2005) pro K, U, Th a mapa úhrnné gama aktivity. Jako další informační vrstva byla použita mapa lokalizace radiometrických anomálií (Krištiak a Záliš 1994). Každá radiometrická anomálie má také svoji evidenční kartu, v níž jsou popsány údaje o povaze této anomálie. Tyto karty radiometrických anomálií byly studovány v archivu s.p. DIAMO ve Stráži p. Ralskem. Všechny tyto mapy jsou ukotveny a v prostředí GISu užívány v jednotném trigonometrickém systému Křovákově (JTISK).

4.1.2 Terénní mapy použité pro průzkum území

Pro terénní průzkum byly zakoupeny topografické mapy území ZM 1:10 000 (CUZK). Do těchto map byly ručně zakreslovány vzorkované prameny (se zvýšenou gama aktivitou u vývěru) i vodní projevy nevzorkované, bez zvýšené aktivity.

4.1.3 Terénní průzkum

Takto připravené území pak bylo terénně systematicky zkoumáno, přičemž perspektivnější části území (například Dlouhý Most, Černá Studnice nebo kokonínský zlom) byly zkoumány podrobněji a intenzivněji, než potenciálně méně perspektivní části tanvaldského granitu. Díky tomu, že terénní průzkum proběhl ve třech desetidenních etapách (23.5.-1.6. 2014, 19.9.-28.9. 2014 a 12.6.-21.6. 2015), se nakonec podařilo prozkoumat celé těleso tanvaldského granitu v dostatečné hustotě a kvalitě.

4.2. Metodika vyhledávání pramenů v terénu

Prameny radioaktivních vod byly vyhledávány metodou indikačního měření gama záření u vývěrů podzemních vod. K tomu byly použity přístroje RP-11 a RP-106, které měří dávkový příkon záření gama. Gama aktivita je měřena v imp/s a je odečítána na analogovém měřidle, kde je možno nastavit měření aktuální hodnoty (v tom případě ručička udává aktuální intenzitu záření gama, ale hodnota jí silně ovlivněna fluktuacemi radioaktivního rozpadu), nebo jsou fluktuace potlačeny delší dobou měření. Detektory v sondách RFS-05 a RS-107 se skládají ze scintilačního krystalu NaI(Tl) a z fotonásobiče. Diskriminační hladina je stanovena na úroveň 60 keV. Terénním průzkumem bylo objeveno také 6 „suchých“ gama anomálií, tedy anomálií, které nejsou způsobeny vývěrem

radioaktivních vod. U „suchých“ gama anomálií a u Schindlerova pramene byly k měření celkové gama aktivity a ke gamaspektrometrickému měření použity gamaspektrometry GT32T a GT30.

Přístroj RP-106 se sondou RS-107 byl kalibrován na povrchovém uranovém standardu na základně státního podniku DIAMO ve Stráži pod Ralskem. Podle něj je pak odvozena citlivost ostatních sond metodou, kdy je měřen jeden bod všemi sondami zároveň (Obr. 5). Hodnoty pak jsou vzájemně porovnány a je pro každou sondu stanovena citlivost v imp/s na nGy/h.

Přístroje i sondy jsou zabudovány v pevném a vodotěsném kovovém obalu a pro práci v náročném terénu se velmi osvědčily.



Obr. 5: Srovnávací měření RP 11 a RP 106,
Foto: Lenka Hrušková



Obr. 6: Měření gama aktivity přístrojem RP 11
v terénu, Foto: Lenka Hrušková

Gama aktivitu u vývěru vod ovlivňuje několik faktorů. Prvním z nich je celková objemová aktivita ^{222}Rn pramene. Čím je vyšší, tím více rozpadových produktů ^{222}Rn , které jsou gama zářiči, se objeví u vývěru pramene. Druhým faktorem je množství organické hmoty a Fe, Mn oxidů a hydroxidů u vývěru. Jelikož gama aktivní produkty rozpadu ^{222}Rn jsou především izotopy Pb a Bi, zachycují se tyto prvky právě na mrtvé organické hmotě, která zajišťuje redukční prostředí, které je vhodné pro srážení těchto prvků. S organickou hmotou mohou tyto prvky vytvářet také organokovové sloučeniny nebo se na ni mohou jen sorbovat. Fe, Mn oxidy a hydroxidy jsou také vynikajícími sorbenty. Kromě mrtvé organické hmoty a Fe, Mn oxidů a hydroxidů je ještě velmi dobrým zachytávačem radioaktivních prvků živý mech. Zda je to tím, že jím radioaktivní voda jen neprotéká, ale že mech tuto vodu aktivně nasává, nebo tím, že se jen velmi dobře hodí pro sorpci radioaktivních prvků, zatím není prozkoumáno. Třetím faktorem je průtok. I slabě radioaktivní pramen o vysokém průtoku dokáže „naaktivovat“ například organickou hmotu nebo oxidy železa tak, že se pramen zdá být velice radioaktivní, ačkoliv je jeho aktivita ^{222}Rn poměrně nízká. Čtvrtým důležitým faktorem je geometrie měření. Ideální je, je-li detektor sondy zasunut do centra aktivované zóny (doprostřed bahna nad vývěrem, do střední hloubky vody nad vývěrem apod.), pak je geometrie měření nejlepší a detektor zachytí nejsilnější signál.

Obecně platí, že vyšší gama aktivita u vývěru predikuje vysokou aktivitu ^{222}Rn , ale pokud jsou velmi příznivé podmínky pro zachycení gama zářičů, může být měřená gama aktivita vysoká, aniž by byl pramen silně radioaktivní. Naopak, jsou-li podmínky pro zachycení gama zářičů nepříznivé, může i malé zvýšení gama aktivity predikovat vysoce radioaktivní pramen.

Jiná situace je u studen. Tam se nejde spoléhat na organickou hmotu (je-li studna řádně udržovaná) ani na Fe a Mn minerály. Rozhodující je tedy geometrie měření a průtok (je-li známý nebo alespoň viditelný). Měření ve studnách může ovlivnit také granitové obložení studny. Zkušený průzkumník

dokáže v terénu všechny tyto faktory odhadnout a následně rozhodnout, zda je dobré odebrat vzorek vody pro měření alfa aktivity, nebo zda je to zbytečné.

4.3. Metodika vzorkování vod

Potenciálně radioaktivní vody byly vzorkovány pro stanovení radioaktivity. Radioaktivita byla měřena již na terénní základně. Kromě radioaktivity byla na základně stanovena také konduktivita vod ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxidačně redukční potenciál (mV) a pH za pomoci přístrojů HI 928201 (oxidačně redukční potenciál) a HI 98129 (konduktivita, pH a teplota). Přístroje byly před každým měřením kalibrovány. Dále bylo vybráno 10 vodních projevů, které byly vzorkovány pro chemické analýzy. Zdroje byly vybrány na základě radioaktivity, ale také na základě konduktivity tak, aby bylo známo chemické složení radioaktivních vodních projevů nejen s vysokou konduktivitou, ale i se střední a nízkou konduktivitou.

4.3.1. Metodika vzorkování vod pro stanovení aktivity rozpuštěného ^{222}Rn

Vzorky vod jsou odebírány do skleněných lahví s gumovým uzávěrem. Ty zajišťují, aby radon z vody neunikal. Vzhledem k tomu, že se radon rozpadá, je nutné zapsat přesný čas odběru, díky němuž je dopočtena původní aktivita vody při odběru, neboť aktivita je při měření na základně nižší. Vzorky jsou odebírány tak, aby voda tekla lineárně, pokud možno nevířila a byla celkově co nejméně v kontaktu se vzduchem, neboť kontaktem se vzduchem se radon z vody uvolňuje.

4.3.2. Metodika vzorkování vod pro chemické analýzy

Vybrané zdroje byly vzorkovány několik dní před koncem poslední terénní akce, aby byly do laboratoře přivezeny čerstvé. Pro měření aniontů byly použity lahve z vysokohustotního polyetylénu (HDPE) o objemu 0,25 l. Pro měření kationů byly použity tmavé skleněné lahve o objemu 0,1 l, okyselené 2 ml koncentrované vysoce čisté kyseliny dusičné (HNO_3).

4.4. Metodika měření aktivity rozpuštěného ^{222}Rn vzorků vod

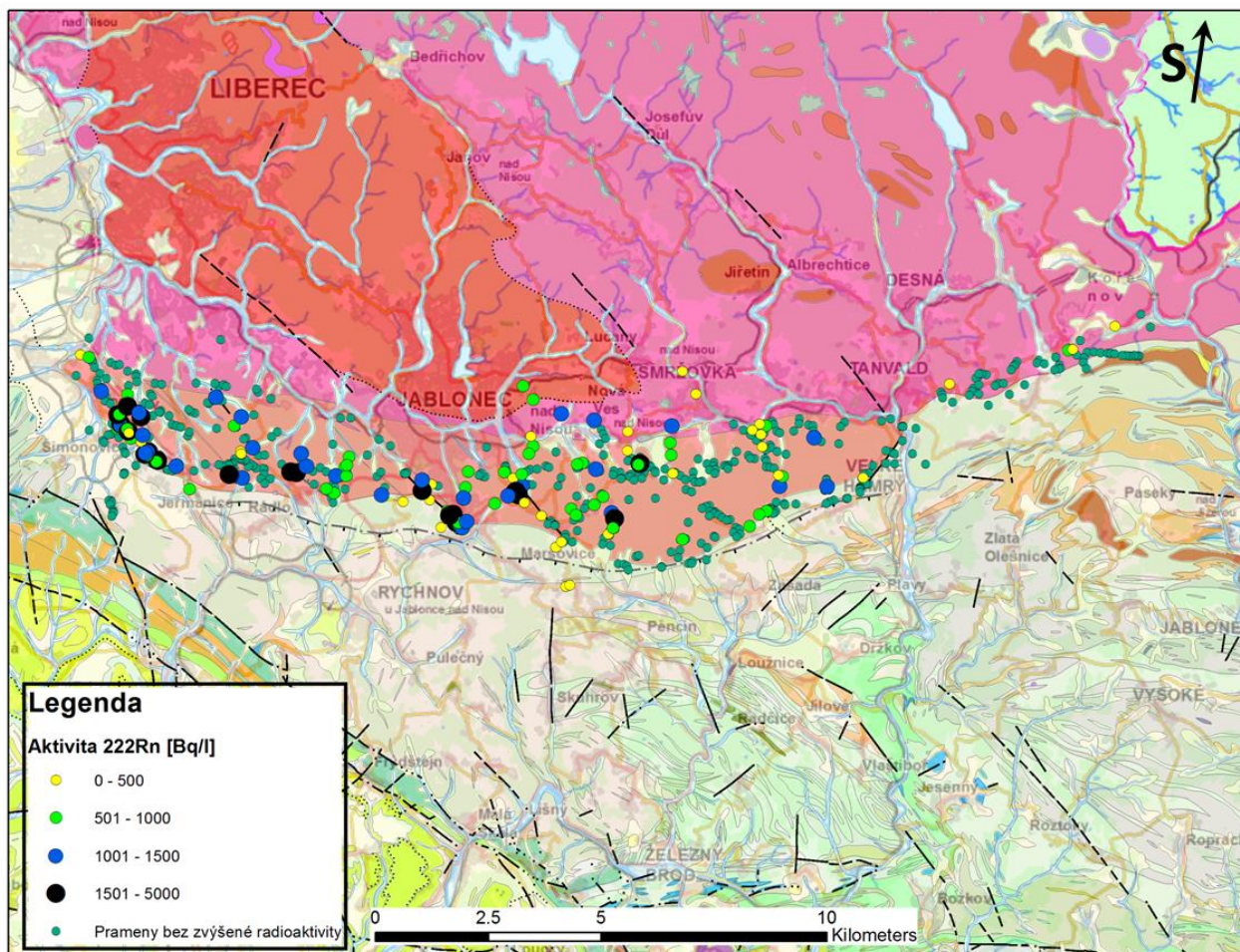
Vzorky jsou na základně měřeny tzv. emanační metodou přístrojem RP-25. 0,5 l vzorku je přelito do skleněné lahve s gumovým uzávěrem o celkovém objemu 0,85 l (objem vzduchu je tedy 0,35 l). Vzorek je poté důkladně protřepán, aby radon rozpuštěný ve vodě přešel do plynné fáze. Poté je vzduch probublávaný přes měřenou vodu po dobu 4 minut hnán ručním čerpacím balónkem do uzavřeného okruhu přístroje, kde prochází ionizační komorou a poté se vrací zpět do vzorku. Plášť ionizační komory je anodou, elektroda uprostřed komory je katodou. Pokud vzduchem v ionizační komoře proletí alfa částice, vzduch se ionizuje a obvodem přístroje začne protékat elektrický proud. Výsledek měření je odečten v emanech (eman je historická jednotka radioaktivity). Poté je výsledek přepočten na Bq/l za pomoci kalibrační konstanty, která byla stanovena kalibrací solí ^{226}Ra o známé aktivitě. Přístroj je kalibrován periodicky, správnost výsledků byla opakovaně ověřena v sesterské laboratoři wrocławské polytechniky na sadě společných standardů.

4.5. Metodika měření chemického složení vod

Koncentrace kationtů byly stanoveny metodou ICP-OES v chemické laboratoři katedry Agroenvironmentální chemie a výživy rostlin na České zemědělské univerzitě. Koncentrace aniontů byly stanoveny kapalinovým chromatografem v chemické laboratoři Ústavu geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů Univerzity Karlovy v Praze.

5. VÝSLEDKY PRŮZKUMU PROVEDENÉHO V LETECH 2014-2015

Průzkum proběhnuvší v letech 2014 – 2015 přinesl několik významných a také několik překvapivých výsledků. Úplný přehled výsledků se nachází v Příloze 1, kde jsou uvedeny údaje o poloze, gama i alfa aktivitě, průtok a naměřené fyzikální parametry všech měřených vzorků. Obr. 7 ukazuje rozložení radioaktivních zdrojů a jejich aktivitu.



Obr. 7: Aktivita vod na tanvaldském granitu, Geologická mapa 1 : 50000 ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>)

5.1. Výsledky vyhledávání radioaktivních vod a chemických rozborů vybraných vzorků

Vyhledávací průzkum radioaktivních vod byl na tělese tanvaldského granitu a v přilehlém okolí realizován v letech 2014-2015 a byl rozdělen do tří desetidenních etap (květen až červen 2014, září 2014, červen 2015). Bylo měřeno celkem 647 vodních projevů. U 136 z nich byla měřena objemová aktivita ^{222}Rn na základě zvýšené gama aktivity u vývěru zdroje, nebo také na žádost majitelů studní a vrtů, kteří chtěli znát radioaktivitu svého zdroje. U 102 z těchto zdrojů byla objemová aktivita ^{222}Rn vyšší, než 500 Bq/l, z nich právě jedna polovina (51 zdrojů) měla aktivitu vyšší než 1000 Bq/l. 20 z těchto vodních projevů pak přesáhlo hranici 1500 Bq/l, kterou stanovuje „Lázeňský zákon“ jako hranici pro radioaktivní minerální vodu (Tab 1).

Tab. 1: Statistický přehled výsledků stanovení radioaktivity vod

Měřeno vodních projevů celkem	647
měřena objemová aktivita ²²² Rn	136
více než 500 Bq/l	102
více než 1000 Bq/l	51
více než 1500 Bq/l	20

5.2 Popis významných zkoumaných lokalit

5.2.1 Zdroje radioaktivních vod v oblasti Dlouhého Mostu

Obec Dlouhý Most je v celostátním měřítku unikátním případem kdy lidé vybudovali své sídlo (nevědomky a dlouho před objevem radioaktivity) přímo na místě vývěřů radioaktivních vod a tyto vývěry využili jako vodní zdroje. Z dnešního pohledu radiohygieny je to věc přinejmenším problematická, i když obdržená dávka je ve většině případů malá a organismus má schopnost se na zvýšenou hladinu radioaktivity adaptovat (Disnayake 2005). Námi nalezené radioaktivní vodní zdroje v této lokalitě jsou zobrazeny na Obr. 13.

Vysoká aktivita vod na Dlouhém Mostě je dlouho známa. Uvádí ji u více zdrojů vod jak Wagner (1942), tak znovu upozorňují Martinec a Havlík (1980). Novým impulsem byl dopis obvodní lékařky MUDr. Olgy Zaplatílkové (nedatováno), která upozorňuje na zvýšený počet úmrtí na zhoubné nádory v obci Dlouhý Most. Uvádí „38 % výskyt zhoubných nádorů“; normální incidence je však 30 %. Dále uvádí, že jsou v obci lokality, kde „často celé rodiny zemřely na zhoubný nádor“ (Zaplatílková, nedatováno). (Při našich rozhovorech s obyvateli toto uváděli ústně, ukazovali však do částí obce, kde se žádné zdroje radioaktivních vod nevyskytují.) Na základě iniciativy obyvatel byl v roce 1990 informován krajský hygienik, který zadal v obci plošné měření (Kasal 1990). To objevilo množství zdrojů s vysokými aktivitami (max. 1993 Bq/l, zdroj Macounova studna). Nejbohatší klastr byl nalezen v části obce uzavřené v zákrutu železniční trati, chovající zdroje TGR/4, 5, 8 a další.

Pro omezení ozáření obyvatel byla obec v r. 1993 napojena na dálkový vodovod. Zdroje vod se zvýšenou radioaktivitou jsou většinou nadále využívány pouze pro technické účely (praní prádla, splachování WC, zalévání zahrady apod.); některé však využity již nejsou a postupně zpustly. Několik zdrojů radioaktivních minerálních vod je veřejně přístupných, další zdroje jsou na soukromých pozemcích.

Díky ochotě současné starostky obce ing. Běly Ivanové se podařilo dohledat některé významné radioaktivní objekty uváděné krajským hygienikem (Kasal 1990) a díky jediné žijící pamětnici pí. Jarešové, čtoucí plynule německý kurent Wagnerova (1942) článku se podařilo ztotožnit některé objekty s historickým popisem. Tak mohou být popsány nejvýznamnější z nich:

TGR/4 - Pramen U Železniční trati je první z vývěřů radioaktivních minerálních vod v obci Dlouhý Most. Přeliv pramene vyvěrá z rezavé ocelové trubky ve svahovém odřezu trati, přibližně 15 m od pěšičiho přechodu železnice. Pramen je vzpomínán v dobových materiálech (Wagner 1942) jako "Quelle an der Eisenbahn", s historicky naměřenou aktivitou 1485 Bq/l ²²²Rn. Podle ústního podání místních obyvatel byl pramen dlouho využíván jako oblíbený vodní zdroj. Po vybudování studny s pumpou a zapuštěným čerpadlem nad pramenem (nachází se za vysokým dřevěným plotem) prý zanikl. Voda z této studny napájela dnes již bývalé zdravotní středisko obce (1887 Bq/l, Martinec a Havlík 1980). Při šetření v květnu 2014 byl přeliv znovu nalezen; v zásypu pocházejícího z čištění železničního svršku byla obnažena trubka s vytékající vodou. Pramen je relativně velmi silný; roztekl se znovu pravděpodobně z důvodu nízkého odběru ze studny po připojení okolních objektů na veřejný

vodovod. V květnu 2014 byla naměřena aktivita vody 1880 Bq/l při průtoku 0,1 l/s, v červnu 2015 pak byla naměřena aktivita 1644 Bq/l při průtoku 0,038 l/s. Výše zmíněná soukromá studna s pumpou (za plotem u č.p. 335) chová vodu podobných parametrů: Zdroj TGR/17 „U Elegána“, aktivita 1424 Bq/l. Nižší Eh zdrojů TGR/4 i TGR/17 (110 a 97 mV) hovoří o mírném znečištění vody, pravděpodobně infiltrací splašků z blízkého povrchového trativodu - splaškovodu. TGR/4 je voda typu Ca-Na-Si-HCO₃-Cl-SO₄-NO₃ o celkové mineralizaci 243 mg/l. Znečištění nasvědčuje také vysoký obsah dusičnanů (48,9 mg/l). Fyzikální parametry obou zdrojů jsou uvedeny v příloze 1. Celkové chemické složení je uvedeno v tabulce 3.

TGR/5 – Studánka u Kyksů (Obr. 8) leží v zahradě pod domem č.p. 130, nad širokou klenutou propustí pod železniční tratí. Je zachycena do povrchové jímky vyzděné z žulových hranolů. Voda se užívá k zalévání zahrady. Historicky byla naměřena aktivita 1511 Bq/l (Kasal 1990). V květnu 2014 byla naměřena aktivita 2059 Bq/l při průtoku 0,05 l/s, v červnu roku 2015 byla zastižena při aktivitě 1694 Bq/l a průtoku 0,04 l/s. Parametry zdroje jsou uvedeny v příloze 1. Voda je typu Si-Ca-SO₄-HCO₃-NO₃ o celkové mineralizaci 94 mg/l. Celkové chemické složení je uvedeno v tabulce 3.



Obr. 8: TGR/5, Studánka u Kyksů, Foto: Viktor Goliáš



Obr. 9: TGR/8 - Macounova studna, stav v květnu 2014, Foto: Viktor Goliáš

TGR/8 - Macounova studna (Obr. 9) je legendární zdroj zmiňovaný již v dobových pramenech (Wagner 1942) jako "Macoun-Brunnen" s historicky naměřenou aktivitou v rozmezí 1917-2430 Bq/l. Podle ústní informace místních obyvatel se zde dokonce uvažovalo o výstavbě radioaktivních lázní. V květnu 2014 byla naměřena aktivita 2076 Bq/l. Studna se nachází v uličce nad bývalým Schillerovým hostincem (č.p. 195), v proluce za domem č.p. 3. Pramen velmi nízkého průtoku je zachycen mělkou studnou do kamenné stavbičky - haltýře. Na odtoku k hlavní silnici vedle domu č.p. 222 má průtok pouze 0,005 l/s. V červnu roku 2014 byl pramen v méně uspokojivém stavu. Studna nebyla dlouho čištěna, takže byla zanesena kalem, dřevěná vrátka byla rozpadlá. V červnu roku 2015 byl objekt znovu navštíven. Nový majitel mezitím pramen vyčistil a přetvořil do podoby klasické otevřené, v žulových kamenech (liberecký granit) zděné studny s horním odběrem. Podle jeho

informace bude dále instalovat rumpál s okrasným džberem. Voda měla dne 19. 6. 2015 aktivitu 1791 Bq/l a teplotu 10,6 °C. Parametry zdroje jsou uvedeny v příloze 1.

TGR/11 - Studna Oudrnických (Obr. 10) je pravděpodobně nejvýznamnějším zdrojem radioaktivní minerální vody v obci Dlouhý Most. Je vyhloubena přímo v relativně plochém prameništi v uzávěru údolí před č.p. 215. Voda z pumpy má aktivitu 2418 Bq/l ²²²Rn (květen 2014), resp. 2449 Bq/l (červen 2015), což je nejvyšší aktivita naměřená v této obci. Voda chutnající po železe pravděpodobně byla dříve využívána k zásobování č.p. 215, kde částečně vyčerená měla aktivitu ještě 1332 Bq/l (Kasal 1990). Několik metrů vedle hranaté studny s pumpou je umístěna ještě historická zděná studna z žulových kvádrů. Voda z této studny nebyla odebírána. Celkový odtok prameniště je 0,05 l/s (červen 2015). Parametry zdroje jsou uvedeny v příloze 1. Voda je chemického typu Si-Ca-Na-Cl-SO₄-HCO₃-NO₃ o celkové mineralizaci 248 mg/l a má vysoký obsah dusičnanů (55 mg/l). Celkové chemické složení tohoto zdroje je uvedeno v tabulce 3.



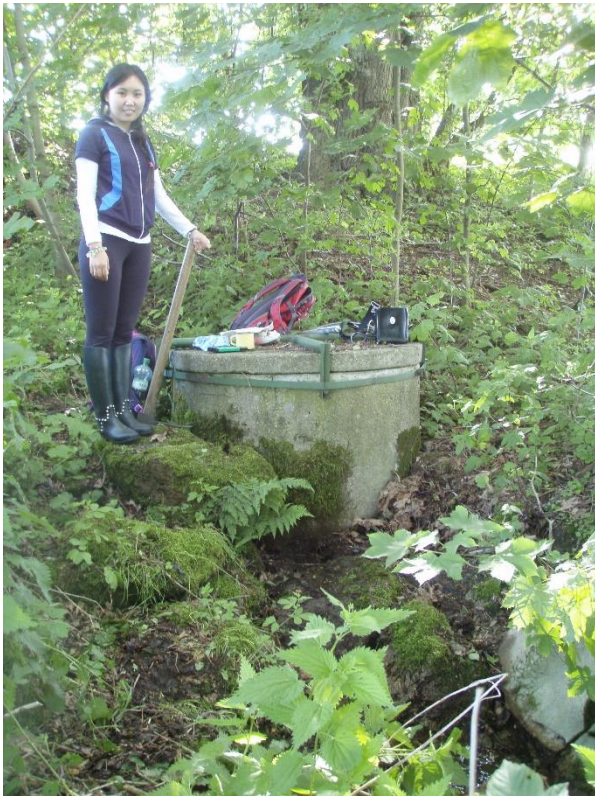
Obr. 10: TGR/11 - Studna Oudrnických, Foto: Viktor Goliáš



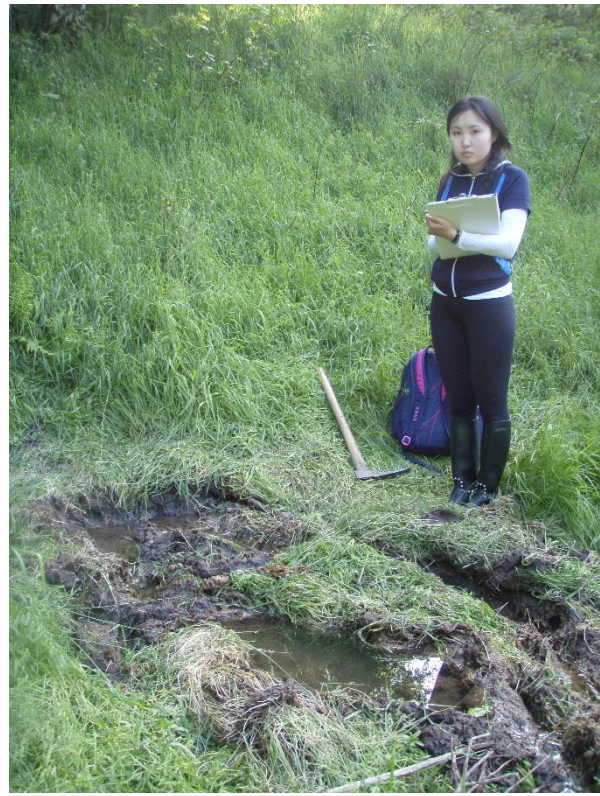
Obr. 11: TGR/14 - U Sedmilháře, Foto: Viktor Goliáš

TGR/14 – studánka U Sedmilháře (Obr. 11) leží v romantické lokalitě na okraji obce pod svahem, u soukromého rekreačního objektu – roubenky č.p. 7 (pod hostincem „U Hastrmánka“). Pramen je zachycen do kamenného haltýře s dřevěnými vratky. Má aktivitu 1529 Bq/l (květen 2014) resp. 1135 Bq/l (červen 2015); hranici 1500 Bq/l tedy překonává jen v některých obdobích. Podle informace majitelů se voda ze studánky se zapuštěným čerpadlem užívá k plnění venkovního bazénu, 4 m³ údajně dotečou za 10 hodin, což odpovídá výkonu 0,11 l/s. Parametry zdroje jsou uvedeny v příloze 1.

TG4/9 - Studna Pod Alejí (Obr. 12) je dalším z veřejně přístupných zdrojů radioaktivních minerálních vod v obci Dlouhý Most. Nachází se pod Císařskou alejí, nad dálnicí, v remízku při silničce k osadě Dolní Podlesí (něm. Buschloch). Je to pravděpodobně zdroj zmiňovaný v dobových materiálech (Wagner 1942) jako pramen napájející bývalý, dnes již zaniklý Seidelův mlýn v Dolním Podlesí s historicky naměřenými aktivitami v rozmezí 1647-2659 Bq/l ^{222}Rn . Podle ústního podání místních obyvatel se i zde uvažovalo o výstavbě radioaktivních lázní. Dnes je v prameništi umístěn jímač (studna) a voda napájí jako "pitná" dva rekreační objekty v téže osadě. Studna je uzamčena. Výkon zdroje je však tak velký, že voda mocně prosakuje v okolí skruže a odtéká potůčkem. Voda nabraná z průsaku (přepadu) v blízkosti skruže mezi velkými kameny má aktivitu 1795 Bq/l a průtok 0,015 l/s (květen 2014), resp. 1937 Bq/l a průtok 0,012 l/s (červen 2015). Skutečný výkon zdroje je však pravděpodobně vyšší. Podle fyzikálních parametrů voda není nijak znečištěna, ani k lokální rozvodnici se zde nevyskytuje takřka žádné lidské sídlo či jiný rizikový objekt. Je pravděpodobné, že blízké objekty studna Pod Alejí a studna Oudrnických leží na společné tektonické linii severovýchodního směru. Parametry zdroje jsou uvedeny v příloze 1. Voda je chemického typu Si-Ca-SO₄-HCO₃-NO₃, celková mineralizace činí 131 mg/l.

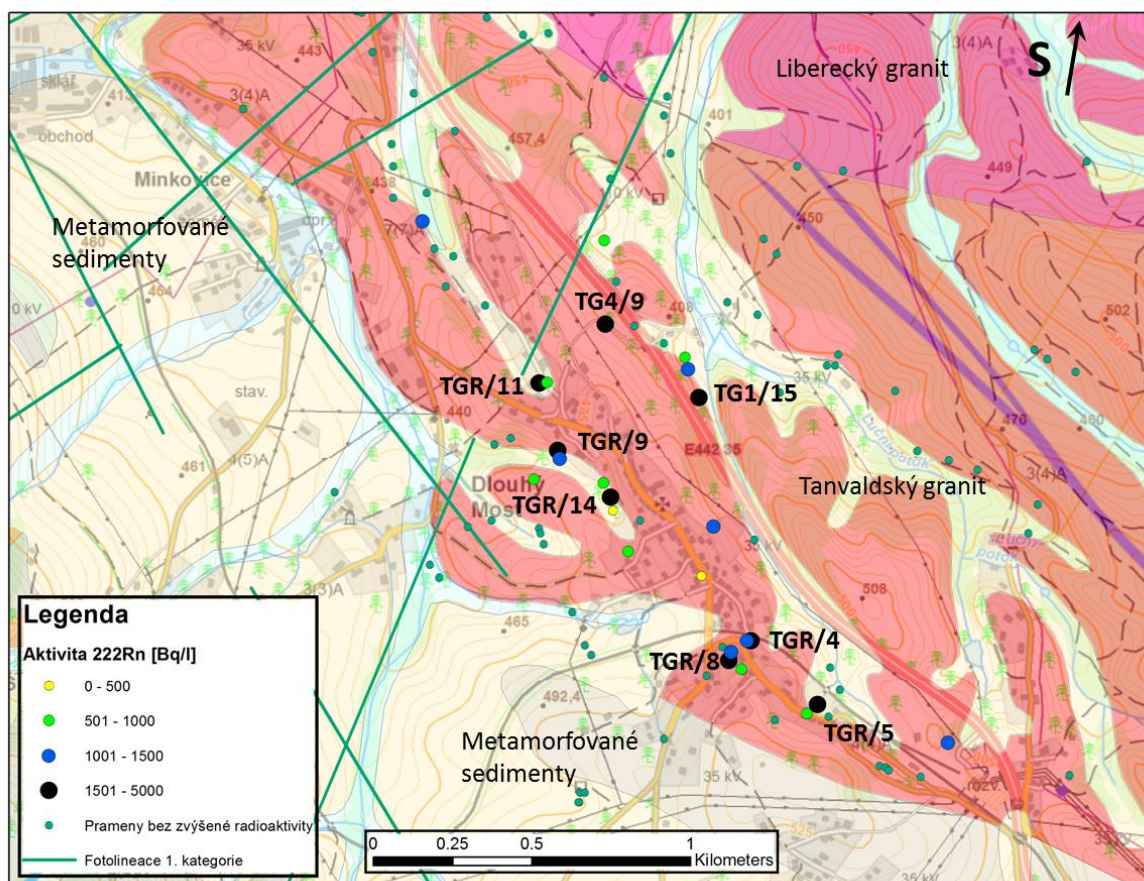


Obr. 12: TG4/9 - Pod Alejí, Foto: Viktor Goliáš



Obr. 13: TG1/15, Foto: Viktor Goliáš

TG1/15 – „Tomův & Pavlův výron“ se nachází v osadě Dolní Podlesí (něm. Buschloch), na jejím jihozápadním konci, kde tvoří jeden z významných příronů do širokého podmačeného území. Relativně silný pramen vyvěrá přímo na patě vysokého náspu dálnice R35 (Obr. 13). Má aktivitu 2223 Bq/l při průtoku 0,15 l/s (květen 2014), resp. 2155 Bq/l při průtoku 0,11 l/s (červen 2015). Voda má silně zvýšenou konduktivitu 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Z chemické analýzy pramene vyplývá, že se jedná o vodu typu Na-Ca-Cl o celkové mineralizaci 436 mg/l. Vysoký obsah chloridů (234 mg/l) je způsoben pravděpodobně zasáklými solemi ze zimní údržby dálnice. To dokumentuje relativně mělké oběhy radioaktivních minerálních vod na tomto území. Parametry zdroje jsou uvedeny v příloze 1, výsledky chemické analýzy v tabulce 3.



Obr. 14: Aktivity vod a geologie v oblasti Dlouhého Mostu, Geologická mapa 1 : 50000 ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>)

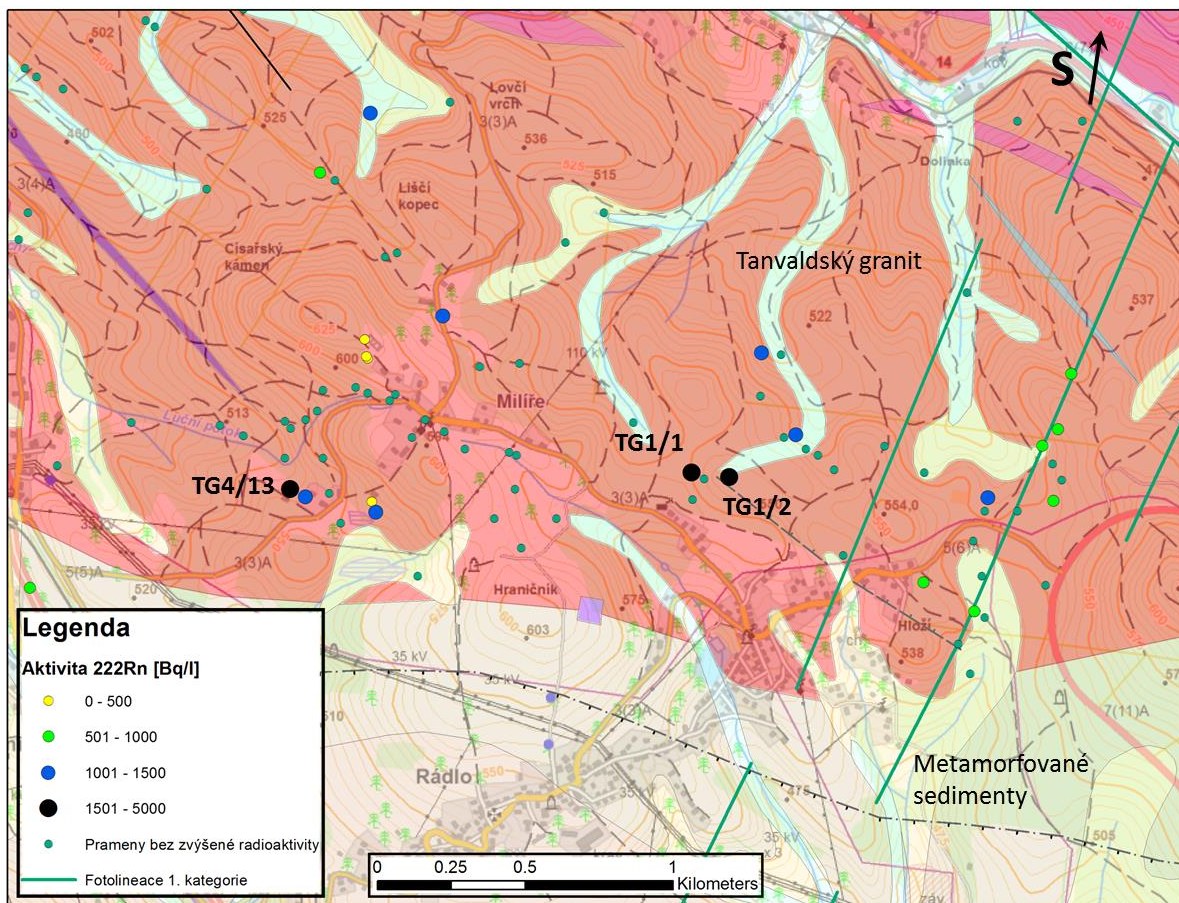
5.2.2 Zdroje radioaktivních vod v oblasti Rádlo – Milíře

Oblast Rádlo – Milíře byla zkoumána intenzivně. V této oblasti byla dříve nalezena celá řada radiometrických anomálií a na kontaktu tanvaldského granitu s devonskými metasedimenty také uranový rudní výskyt Rádlo, kde bylo v rámci průzkumu vytěženo 31,3 kg uranu při produktivitě 0,15 kg kovu na m^2 (Kadlčíková 1972). V této oblasti byly nalezeny celkem 3 prameny s radioaktivitou přesahující 1500 Bq/l (TG4/13, TG1/1 a TG1/2) a řada dalších vývěřů, jejichž objemová aktivita ^{222}Rn se pohybuje mezi 1000 – 1500 Bq/l. (Obr. 15). V této lokalitě se také našel celkově nejaktivnější radioaktivní pramen z celé zkoumané oblasti tanvaldského granitu – TG4/13 s maximální objemovou aktivitou ^{222}Rn 3205 Bq/l. Praměny TG1/1 a TG1/2 jsou zajímavými zdroji radioaktivních vod pramenící na vrchovišti nad Milíří, avšak vzhledem k tomu, že se nenacházejí na atraktivních místech, pravděpodobně nemají praktického významu. Během první terénní akce (Květen – Červen 2014) zde také byla v obci Milíře naše terénní základna, což se ukázalo být velmi

dobrym strategickym mistem pro pruzkum teto oblasti. Bohuzel se ani pres to nepodařilo na Milirich nalazit obecnı studnu – „Gemeidebrunnen“ uvadenou Wagnerem (1931, 1942).

TG4/13 – studanka Voňka je vıvēr s nejvyšší objemovou aktivitou ^{222}Rn známý na tanvaldském granitu. Má aktivitu až 3205 Bq/l (květen 2014), resp. 3128 Bq/l (červen 2015) při předpokládaném průtoku 0,02 l/s a teplotě 7,8 °C. Nachází se jihozápadně od obce Rádlo na okraji řidkého lesıka. Nad studánkou se nachází rekreační chata, která využívá tohoto zdroje jako pitnou vodu. Samotná studánka je umístěna v dolıku s kvartérním pokryvem, v němž lze najít mnoho skleněných korálků, které byly vyráběny (mačkány) nedaleko odsud. Studánka je čistá a je vzorně udržovaná. Dle uživatelů studánka nikdy nevysychá, zdroj vody je stálý. Podle popisu majitelů rekreačního objektu byl při vyčerpání a čištění pozorován přítok ze dna pramennı jımkı. Vzhledem k předpokládanému mocnému kvartérnímu pokryvu (nachází se v ose široké ploché nivy) je pravděpodobné, že aktivita samotného vıvěru bude ještě vyšší, neboť při průtoku kvartérem se voda může částečně deaktivovat.

Pramen Voňka je neaktivnější zdroj z linie pramenů TG4/11 (1297 Bq/l) – TG4/12 (1484 Bq/l) – TG4/13 (3205 Bq/l), aktivita zdrojů roste směrem na západ. Z chemické analýzy vyplývá, že se jedná o velice nízce mineralizovaný zdroj (72 mg/l) typu Si-Ca-SO₄-HCO₃. Voda má nízký obsah dusičnanů (11 mg/l).



Obr. 15: Aktivita vod v oblasti Rádlo – Milíř, Geologická mapa 1 : 50000 ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>)

5.2.3 Zdroje radioaktivních vod v oblasti Černé Studnice

O radioaktivních zdrojích na Černostudničním hřbetu se zmiňuje již Wagner (1931, 1942) a tento údaj je přejat i do vynikajícího kompendia Hynieho (1963) a dalších literárních zdrojů. Tyto zdroje vod jsou tedy legendární a bylo zapotřebí historické údaje ověřit a zdroji se zabývat. Ve východní části Černostudničního hřbetu byla významná prameniště později užita jako rozsáhlá jímací území, která dříve zásobovala vodou Jablonec nad Nisou, název „Studnice“ je tedy zcela oprávněný. V 70. a 80. letech 20. století však byl Jablonec nad Nisou přepojen na vodovod vedoucí vodu z přehrady Souš a jímací objekty přestaly být používány. To však neznamená, že by přestaly existovat. S pomocí plánek, získaných na Severočeských vodovodech a kanalizacích (dále jen SČVK) se podařilo část těchto již nepoužívaných objektů najít a otevřít. Tyto objekty navíc leží v blízkosti geologické struktury SZ-JV směru. Stejným směrem, o 2 km západněji probíhá významný kokonínský zlom.

V SZ oblasti hřbetu bylo vybudováno celkem 73 jímacích objektů (Příloha 2). Všechny objekty mají velice podobný charakter. Jedná se o studny vyžděné betonovými skružemi malých průměrů o hloubce zhruba 1 m až několik metrů, které jsou překryty kovovým poklopem se zarezlými zámky. U řady těchto objektů poklop chybí, čímž se stávají i nebezpečnými, což dokládají nálezy několika uhynulých zvířat v nezakrytých studnách. Objekty jsou navíc v lese téměř neviditelné (často se nacházejí v houští a nad terén vystupují jen minimálně nebo vůbec) a bez starého plánu (archiv SČVK, pobočka Jablonec n. Nisou) by nemohly být nalezeny. Tyto studny jsou napojeny na svodná potrubí, jenž svádí vodu do tzv. přerušovacích nádrží a tlakových komor, což jsou v prvním případě nadzemní zděné zastřešené objekty s volnou hladinou, která přerušuje celkový spád vodovodu a tím snižuje tlak vody ve vodovodu.

Nakonec byly v bývalých jímacích objektech nalezeny 3 zdroje, jejichž aktivita přesahuje 1500 Bq/l (TG4/17, TG4/19 a TG4/20), z nichž nejvyšší radioaktivitu měl vývěr označený jako „Objekt č.16“, námi kódovaný jako TG4/17 – 2125 Bq/l (Obr. 17). Voda tohoto zdroje je typu Na-Si-Ca-Cl-SO₄ při celkové mineralizaci 202 mg/l. Celkové chemické složení zdroje je uvedeno v tabulce 3. Bohužel se podařilo se SČVK účinně vyladit až během poslední terénní akce (Červen 2015), takže zdaleka nebylo prozkoumáno všech 73 jímacích objektů, které se na Černé Studnici vyskytují, ale pouze 31 objektů. Zdá se však, že to byla část z hlediska radioaktivity vod perspektivní. V této lokalitě se však jistě dají očekávat další zajímavé objevy. Dle ústního sdělení pana Miroslava Linharta, zaměstnance SČVK v Jablonci nad Nisou, který nám vstup do těchto objektů umožnil, jsou tyto objekty bohužel určeny k odpisu a k likvidaci. V současné době veškerá voda z jímacích objektů na Černé Studnici vytéká z trubky vyústěné nad objektem vodárny SČVK (zdroj TG3/16). Výtok se vyznačuje vysokou gama aktivitou (4664 nGy/h) v meších při relativně nízké objemové aktivitě ²²²Rn (663 Bq/l). Pravděpodobně je to v důsledku vyčerení vody při průtoku potrubím na Černé Studnici, primární zdroje však jsou nejspíše velice radioaktivní. Pozice všech nalezených zdrojů je zobrazena na Obr. 18.

Další pramen, jehož aktivita přesahuje 1500 Bq/l, spadající do lokality Černá Studnice, byl nalezen na Horní Černé Studnici na JZ svahu Černostudničního hřbetu (TG1/24, pojmenovaný pramen Prozřetelnosti). Pramen Prozřetelnosti je hranatá betonová studna se zapuštěnými dvěma čerpadly, zásobující vodou pravděpodobně dům s č.p. 123 na Horní Černé Studnici (Obr. 16). Jeho aktivita byla v září 2015 1624 Bq/l, v červnu 2015 pak 1198 Bq/l. Aktivita pravděpodobně závisí nejen na průtocích způsobených suchem či deštěm, ale také na intenzitě čerpání zdroje (je-li zdroj čerpán pravidelně, má relativně stálou radioaktivitu odpovídající aktivitě samotného vývěru, pokud delší dobu čerpán není, ²²²Rn vymře a aktivita zdroje klesá). Pramen je nízké mineralizovaný (51 mg/l) typu Si-Ca-SO₄-HCO₃, celkový chemický rozbor je uveden v tabulce 3.

Další radioaktivní vodní zdroj pak byl nalezen na severním svahu Černostudničního hřbetu v Nové Vsi nad Nisou v oblasti Nová Mýtina (TG1/31 – 2185 Bq/l). Zdrojem je vrt u domu č.p. 457, který je dle slov majitele 16 m hluboký a je situován do tektonické struktury. Vodou z vrtu je zásobován zmíněný

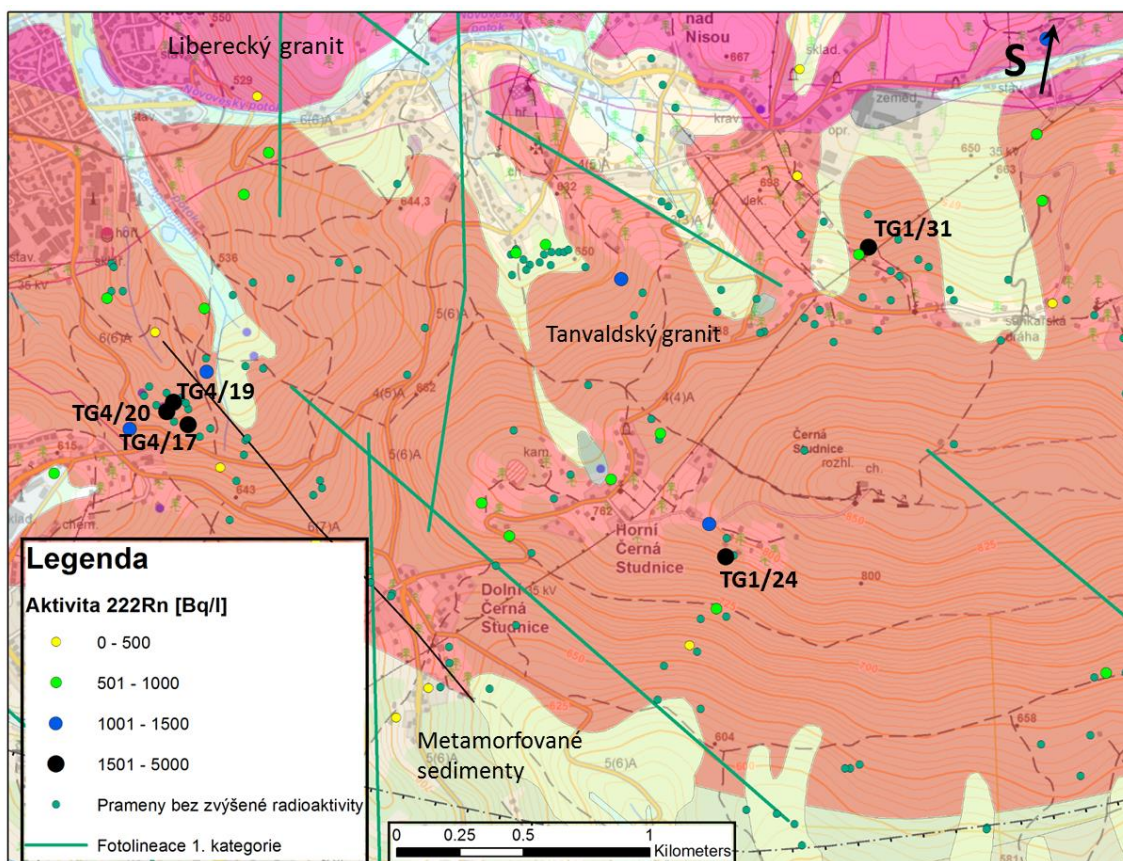
dům, který je ale využíván jen jako rekreační chata. Obyvatelé tedy nepijí tuto vodu po celý rok, ale jen po několik víkendů ročně. Voda byla odebrána z vodovodního kohoutku v domě, aktivitu u vývěru v hloubce 16 metrů lze očekávat ještě vyšší.



Obr. 16: TG1/24, Pramen Prozřetelnosti, foto: Viktor Goliáš



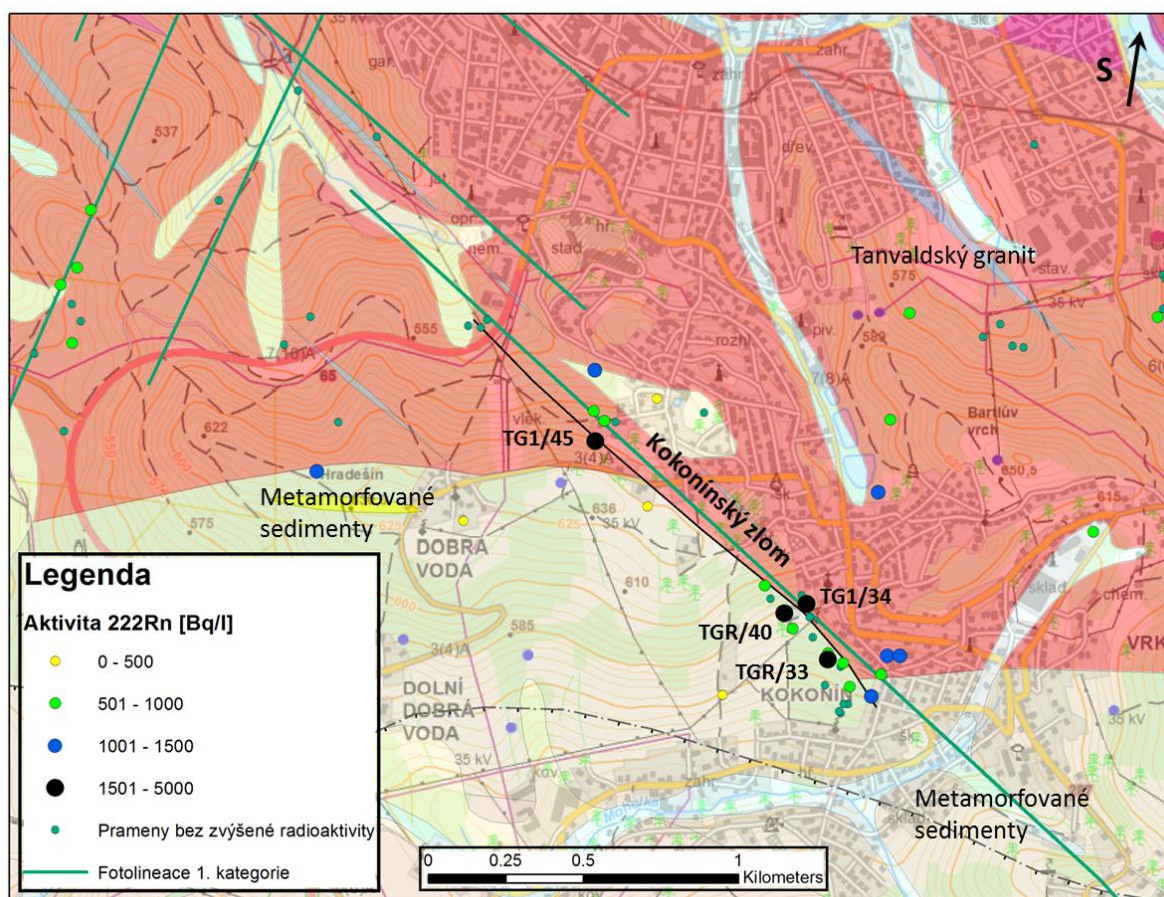
Obr. 17: TG4/17 - Objekt 16, Foto: Viktor Goliáš



Obr. 18: Radioaktivita vod na Černé Studnici, Geologická mapa 1 : 50000 ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>)

5.2.4 Zdroje radioaktivních vod v oblasti kokonínského zlomu a Schindlerův pramen

Kokonínský zlom je velice významná tektonická porucha posouvající kontakt tanvaldského granitu se spodnopaleozoickými metasedimenty o 1 km. Významu této poruchy pak odpovídají celkem 4 radioaktivní prameny s aktivitou převyšující 1500 Bq/l (TGR/33, TGR/40, TG1/34 a TG1/35), které se v této lokalitě nacházejí. Dále se zde nachází několik pramenů se zvýšenou radioaktivitou, která je ale nižší, než 1500 Bq/l a také linie pramenů, jejichž radioaktivita sice zvýšená není, ale výstižně kopíruje směr kokonínského zlomu (Obr. 19).



Obr. 19: Radioaktivita vod v oblasti kokonínského zlomu, Geologická mapa 1 : 50000 ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>)

Pramenní vývěr TGR/33 – Schindlerův pramen je nejvýznamnější objekt nalezený na zkoumaném území v oblasti tanvaldského granitu. Má dostatečnou aktivitu i velmi vysoký průtok. Nachází se na velmi pěkném místě v lesoparku města Jablonec n. Nisou, části Kokonín, nedaleko od pěší cesty.

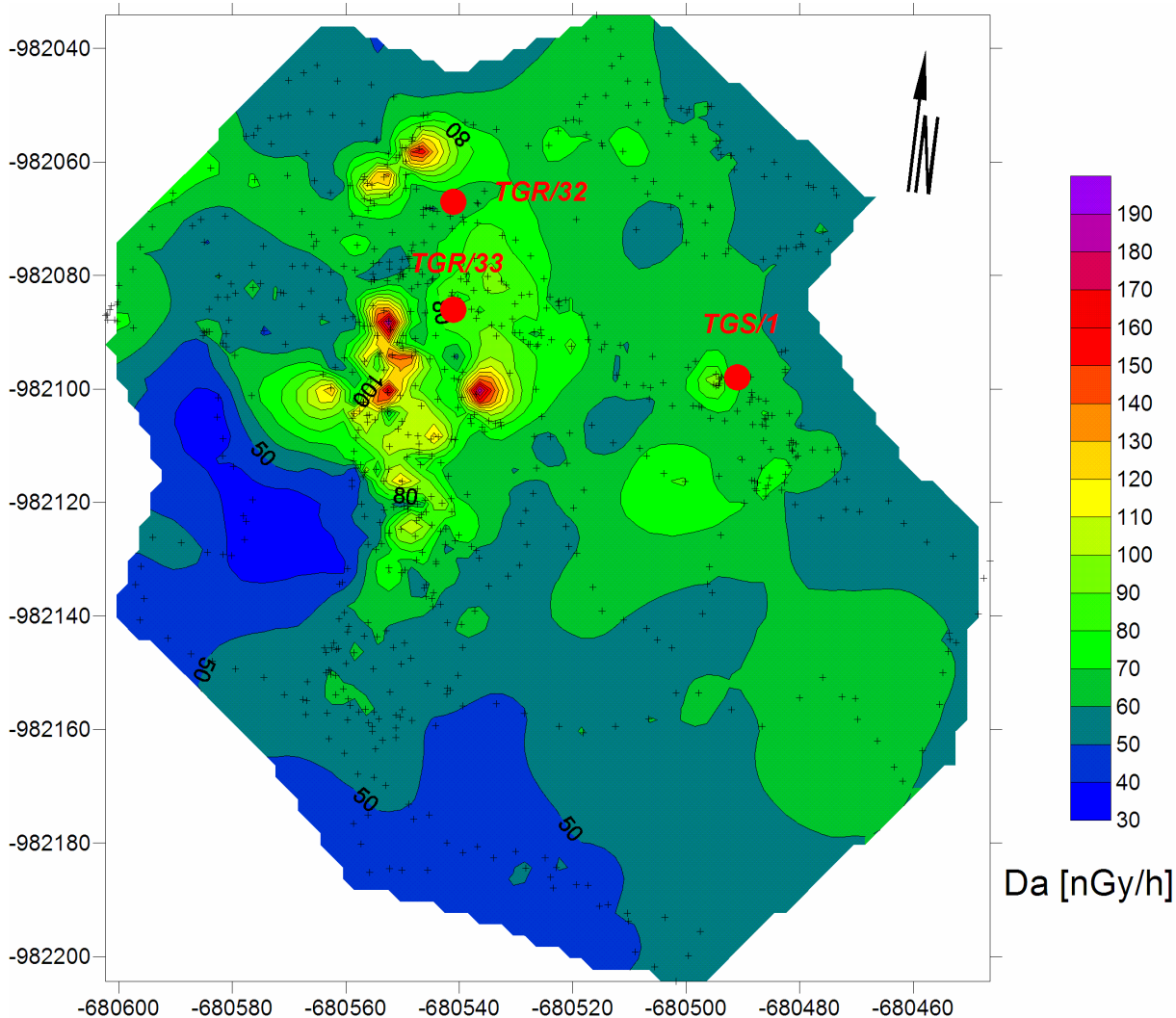
Tento silný pramen byl vodárensky zachycen pro zásobování Kokonína pitnou vodou a využíván do 70. let 20. století (Miroslav Linhart, SČVK, pobočka Jablonec n. N., úst. sděl.). O jeho vysoké radioaktivitě nebyly informace, ta byla rozpoznána až naším výzkumem v září roku 2014.

Pramen TGR/33, byl pojmenován podle Jabloneckého rodáka Josefa Schindlera, vodoléčitele a pokračovatele Vincenze Priessnitze, který působil po smrti genia jako ředitel jesenických lázní na Grafenbergu a postavil Priessnitzovy metody na vědecký základ.

Podle podkladů poskytnutých pracovníky magistrátu města Jablonec byl pramen původně sveden do monolitického betonového, částečně zahloubeného vodojemu, s nadzemní částí krytou zásepem, ze

kterého bylo vedeno zásobovací potrubí. Jímka byla podélně dělena na dvě komory. Výkresy hovoří o vtokové trubce vedoucí ze severozápadu od „sběrné jímky“ nacházející se nad vývěrem TGR/32, snad od objektu nazývaného „odkyselovací stanice“ v Kavanově ulici před č.p. 11, zásobované sběrnou studnou na zahradě domu v Kavanově ul. č.p. 8. Voda v této studni má však aktivitu „pouze“ 1635 Bq/l (objekt TGR/40), tedy nižší než samotný Schindlerův pramen a nemůže tak být jeho zdrojem. Pozice vývěru Schindlerova pramene tedy ve skutečnosti není známa.

Podle radiometrické situace (obraz povrchové gama aktivity, Obr. 20) je současný výtok jedním ze tří blízkých radiometricky výrazných anomálií (vývěry TGR/32, TRG/33 a TGS/1); v širším okolí studny TGR/40 žádné zvýšení gama pole naměřeno nebylo. Vtoková trubka míří z prostoru nedalekého povrchového vývěru TGR/32 o výrazně nižší aktivitě, což může být částečně deaktivovaný přirozený přeliv a vývěr Schindlerova pramene leží tedy někde v blízkosti původního vodojemu.



Obr. 20: Intenzita gama záření v okolí Schindlerova pramene – TGR/33. 722 bodů bylo měřeno gamaspektrometrem GT32T, měřil Ondřej Šálek, zpracoval Viktor Goliáš a Gerelteseg Tumurkhuu. Vzhledem k nepřesnosti GPS mohou být pozice maxim oproti vývěrům mírně posunuty; do 10 metrů

Objekt vodojemu Schindlerova pramene byl bohužel nedlouho před našim objevem demolován vlastníkem, kterým je Severočeská vodárenská společnost (SVS) jako nepotřebný, resp. nebezpečný. V roce 2013(?) byla podle projektu (Vrbata 2008) provedena demolice nadzemní betonové části vodojemu, který byl ubourán a nahrnut dovnitř komor; „sběrná jímka“ nad vodojemem byla zasypana kačírky, kryta geotextilií a zeminou. Prostor byl dále srovnán s okolním terénem. Byla položena tři

jímací potrubí z PVC průměru 135 mm: západní větev od „sběrné jímky“, střední větev od levé komory vodojemu a východní od pravé komory vodojemu (při pohledu od výtoku). Tato sběrná potrubí se setkávají v plastové revizní šachtě cca 3 metry nad současným výtokem, který byl obezděn bazaltovými kameny spojenými betonem. Projekt také počítal s odpojením již nefunkčního přívodu od „odkyselovací stanice“.

Objekt byl námi poprvé navštíven dne 26. 9. 2014, kdy měla vyčereňaná voda na výtoku aktivitu 1829 Bq/l. Voda proudila v široké plastové trubce, s výtokem v podstatě na úrovni dna kamenné niky. Bylo tedy velmi nesnadné vodu nabrat i měřit průtok. O den později byla nalezena plastová revizní šachta, kdy bylo zjištěno, že voda přitéká pouze z východní větve sběrného potrubí a rozstříkuje se o zde instalovaný velký kámen. Ostatní dvě větve jsou trvale bez vody.

Méně vyčereňaná voda z východní větve měla aktivitu již 2255 Bq/l při průtoku 0,42 l/s.

Při následující terénní akci v červnu roku 2015 bylo na východní průtočnou větev instalováno víčko s průchodkou a redukcí na HDPE trubku průměru 25 mm (Obr. 21). Ta byla od revizní šachty protažena vnitřkem výtokové trubky a přisponkována při horní části jejího vyústění. Tak je z velké části zabráněno čerění radonu z vody a je zde možno odebírat vodu o aktivitě 2156 – 2446 Bq/l při průtoku 0,42 – 0,45 l/s (Obr. 22).



Obr. 21: Instalace víčka v revizní šachtě Schindlerova pramene, Foto: Viktor Goliáš



Obr. 22: Vzhled výtoku Schindlerova pramene v červnu 2015, Foto: Viktor Goliáš

Na upraveném jímání byla také realizována stoupačí zkouška pro zjištění současné přelivové úrovně pramenního výtoku. Na vyvedenou 25 mm HDPE trubku byl napojen prodlužovací kus a byl sledován časový vývoj hladiny při nulovém průtoku: Hladina je pravděpodobně díky odporu redukce ihned 137 cm nad úroveň současného výtoku. Za 4,2 minuty dosáhla pouze na úroveň 140 cm a dále se její tlaková výšková úroveň nezvyšovala. I když byla dosažená tlaková úroveň relativně vysoko nad

úrovni okolního terénu, neobjevil se nikde v okolí povrchový průsak vody. V čase 11,3 minut se objevil slabý přítok ze střední větve sběrného potrubí. V této chvíli byla stoupací zkouška ukončena. Přítok ze střední větve do deseti minut postupně ustal.

Provedená stoupací zkouška prokázala, že současné „odkanalizování“ pramene je relativně dobře těsné a voda zřejmě protéká pouze pravou komorou vodojemu. Při nevelkém zvýšení hladiny pak přetéká voda do levé komory, která je nyní za normálního stavu bez výtoku. Ač tedy situace není v žádném případě ideální a pramenní jímání bylo demolicí zle poničeno bez možnosti snadné rekonstrukce, je a bude možno jako náhradní řešení odběru radioaktivní minerální vody využít současný „kanalizační“ záchyt.

Z geologického hlediska se nachází Schindlerův pramen v „ideální“ pozici. Vyvěrá z kokonínského zlomu severozápadního směru, který je nejvýznamnější tektonickou strukturou celého tělesa tanvadského granitu. kokonínský zlom dislokuje kontakt granitu s okolními metasedimenty na vzdálenost jednoho kilometru (!). Schindlerův pramen vyvěrá v místě, kde kokonínský zlom opouští granitové těleso a setkává se zde s předpokládanými východozápadními strukturami vzniklými přesmykem metasedimentů přes jižní okraj krkonoško-jizeského plutonu (Chaloupský a kol. 1989). Na styku obou významných tektonických systémů se mohou vytvořit volné průtočné kanály, kde dochází k soustředěnému výstupu vod. K aktivaci vody radonem zřejmě dochází stykem s uranovou mineralizací, která je v tomto úseku pravděpodobně vyvinuta. Provedený radiometrický průzkum (Tumurkhuu in prep.) však neprokázal na tomto místě její přítomnost na povrchu; byla však námi nalezena na několika místech v severnější části kokonínského zlomu.

V okolí se kromě Schindlerova pramene nachází několik dalších vývěrů se zvýšenou aktivitou a nižším průtokem, z nichž dva je také možno klasifikovat jako zdroje radioaktivních minerálních vod. Další zdroj (TG1/45) se nachází v „zrcadlové pozici“ na severním úbočí hřbetu, kde kokonínský zlom opouští kontakt a míří hlouběji do granitového tělesa (Obr. 19).

Chemická analýza základních rozpuštěných komponent Schindlerova pramene je uvedena v tabulce 3. Voda je studená (8,5 °C), neutrální (pH 6,95), středně mineralizovaná (347 mg/l), chemický (molární) typ vody je Na-Ca-Cl.

O objevu tohoto významného zdroje minerálních vod byl informován primátor města Jablonec n. Nisou ing. Petr Beitl. Velký zájem projevila také občanská iniciativa Spolek Kokonín, jmenovitě zástupce spolku pan Josef Šíkola. V současné době probíhá veřejná diskuse o budoucím využití Schindlerova pramene. Jako první krok je v záměru výstavba pramenního altánu spojená s revitalizací přiléhající části parku, v úvahách je také vybudování lázeňského provozu.

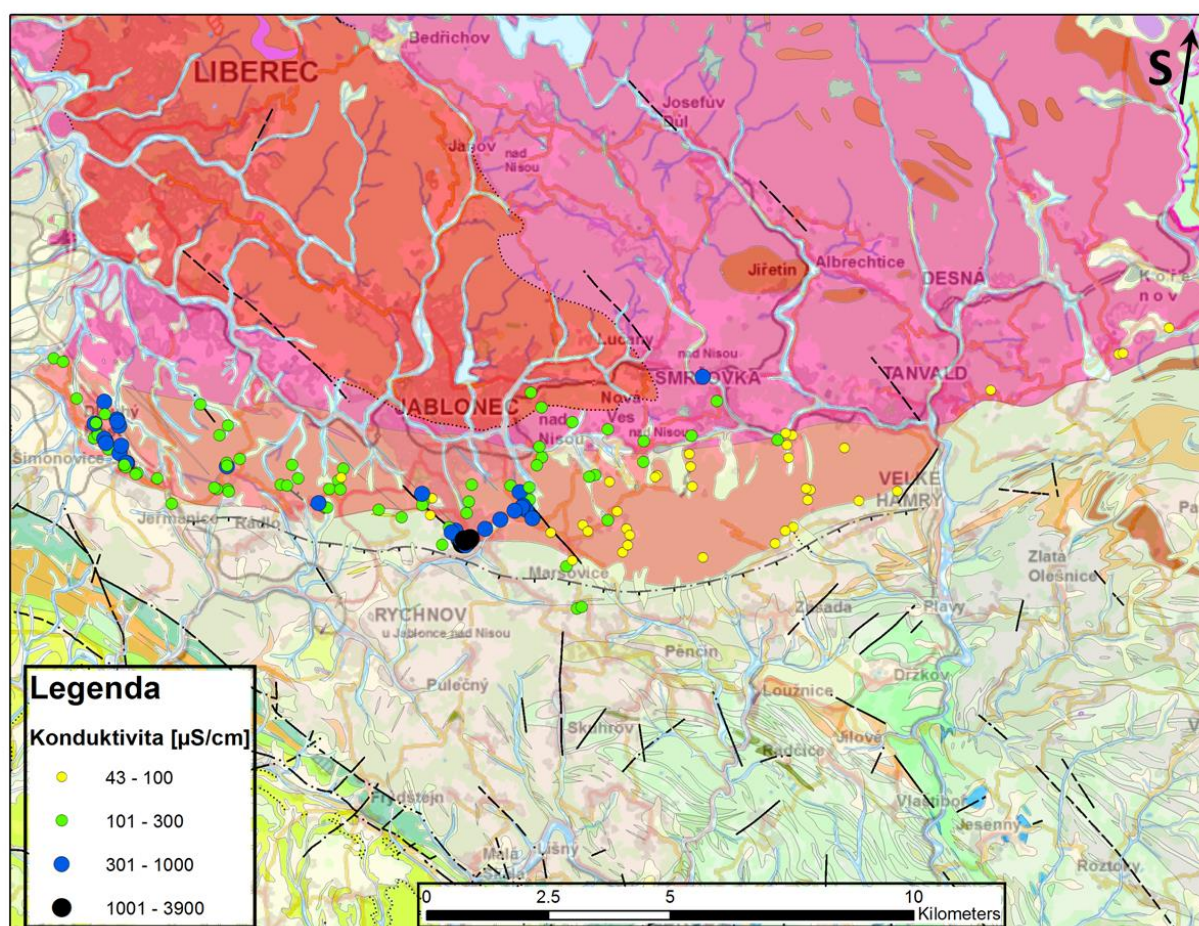
5.3 Výsledky měření konduktivity vod a chemické rozbory

U vod, jejichž vzorky jsou odebrány, jsou na základě kromě radioaktivity měřeny další parametry: pH, Eh [mV] a konduktivita [$\mu\text{S}/\text{cm}$]. Konduktivita tak byla měřena u každého zdroje odebraného na měření radioaktivity a u několika neodebraných zdrojů v Kokoníně, tedy celkem u 139 vodních projevů (Obr. 23). 103 z těchto vodních projevů mělo konduktivitu vyšší, než 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Z toho 37 vodních projevů mělo konduktivitu vyšší, než 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 5 z nich překročilo hranici 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tab. 2). U jednoho pramene byla dokonce změřena konduktivita 3900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (TGR/35). Objev vod se zvýšenou konduktivitou byl do jisté míry překvapující a stal se motivací k odebrání deseti vzorků vod pro chemické analýzy (Tab. 3).

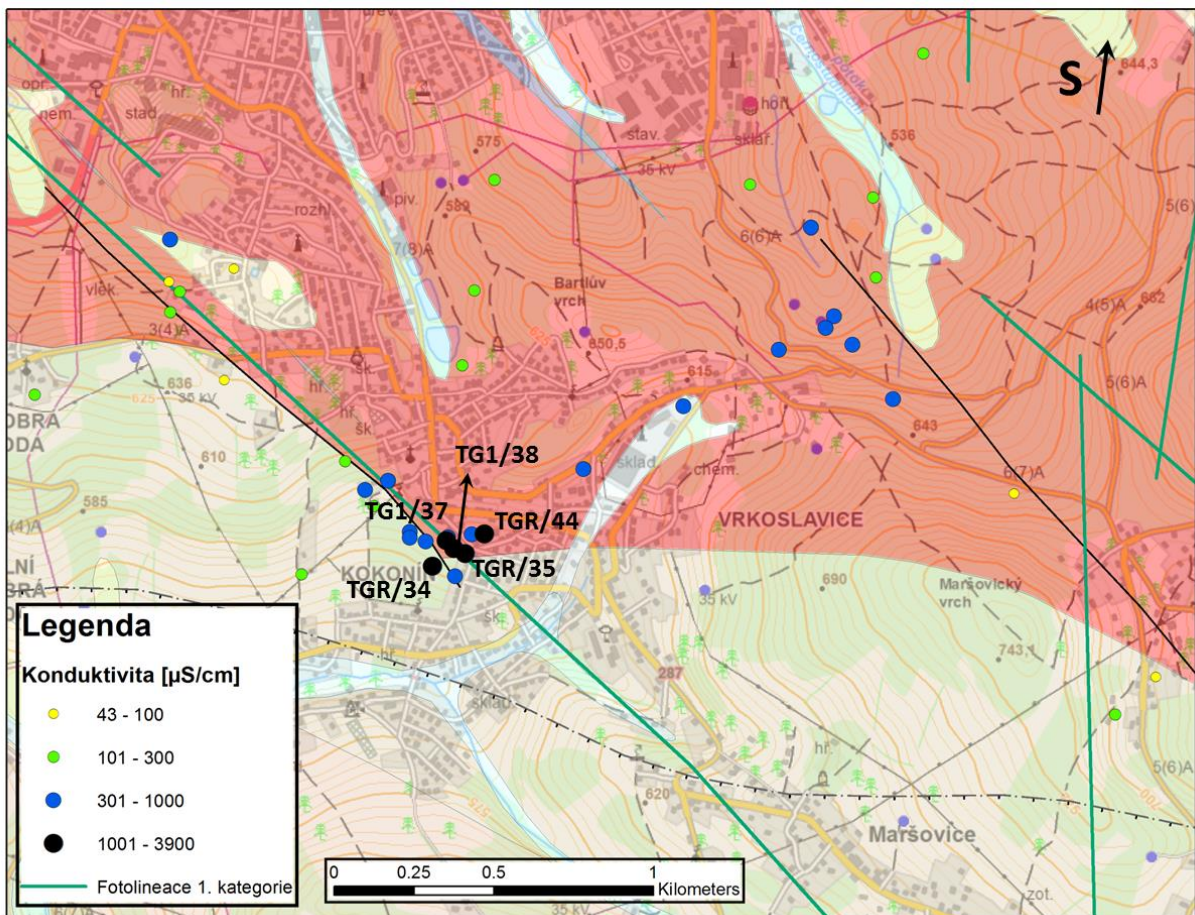
Tab. 2: Statistické zhodnocení konduktivity měřených vzorků

nalezeno vodních projevů celkem	647
měřena konduktivita	139
více než 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	103
více než 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$	37
více než 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	5

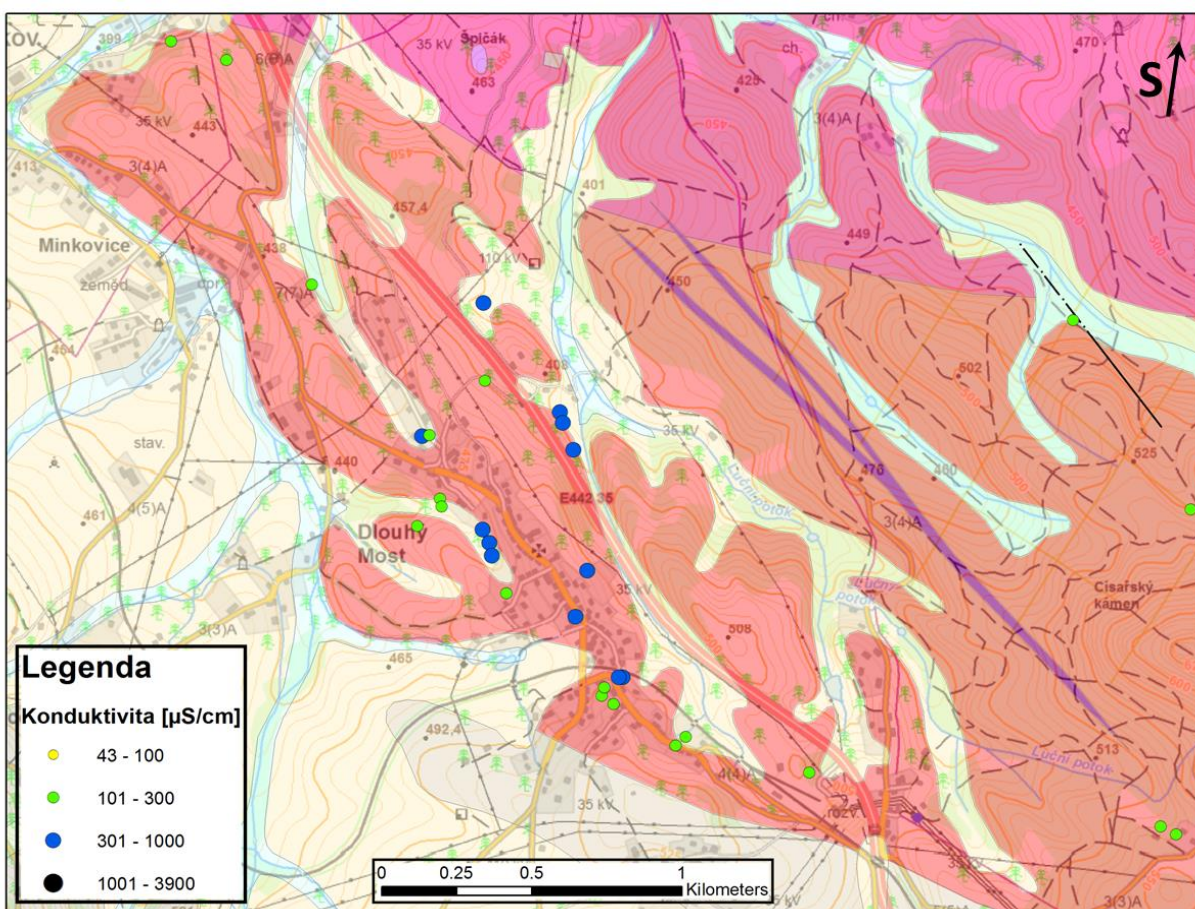
Naprosto nejzajímavější oblastí z hlediska zvýšené konduktivity vod je oblast kokonínského zlomu. Nachází se zde všech 5 zdrojů s konduktivitou překračující 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Obr. 24). Chemické rozborů TGR/33 a TGR/35 ukazují, že se jedná o vody Na-Ca-Cl typu, respektive Na-Cl typu. Nejpravděpodobnější vysvětlení vysoké mineralizace těchto vod a jejich složení je kontaminace posypovou solí. Dle ústního sdělení místních obyvatel se silnice vedoucí z Jablonce nad Nisou Kokonínem na Maršovice a Železný Brod v zimě solí často a hodně. Přesto jsou takto vysoké koncentrace chloridů zvláštní a je možné, že takto vysoké obsahy chloridů mají i jiný původ. Ve stínu chloridů stojí zvýšené koncentrace dusičnanů (TGR/35 – 29,9 mg/l, TGR/33 – 43,2 mg/l), které rovněž naznačují, že by voda mohla být antropogenně znečištěna.



Obr. 23: Výsledky měření konduktivity vod, Geologická mapa 1 : 50000 ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>)



Obr. 24: Konduktivita vod v oblasti kokonínského zlomu, Geologická mapa 1 : 50000 ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>)



Obr. 25: Konduktivita vod na Dlouhém Mostě, Geologická mapa 1 : 50000 ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>)

Další oblastí se zvýšenými konduktivitami vod je oblast Dlouhého Mostu (Obr. 25). Zde však žádný vodní zdroj nepřekračuje hodnotu 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nejvyšší konduktivitu má pramen TG1/15 (850 $\mu\text{S}/\text{cm}$). I v této oblasti se však pravděpodobně jedná o antropogenní kontaminaci zdrojů.

Mírně zvýšené konduktivity mají také vody na Černé Studnici. Zde byly odebrány vzorky TG1/24 a TG4/17. Jedná se o vody typu Si-Ca-SO₄-HCO₃ respektive Na-Si-Ca-Cl-SO₄ s nízkými obsahy dusičnanů (8,4 mg/l a 4,9 mg/l).

Celkově se vody na tanvaldském granitu vyznačují různými typy chemického složení, od typu Na-Cl (TGR/35) až po vody typu Si-Ca-SO₄-HCO₃ (TG1/24), velice variabilní konduktivitou 42 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 3900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, teplotami 7,1 – 10,2 °C a pH 4,7 – 8,0.

Tab. 3: Celkové výsledky chemických analýz vzorkovaných pramenů

Označení vzorku		TG 1/15	TG 1/24	TG 4/9	TG 4/13	TG 4/17	TGR /4	TGR /5	TGR /11	TGR /33	TGR /35
Kationty											
Al	[mg/l]	<0.05	0.162	0.104	<0.05	0.467	<0.05	<0.05	<0.05	0.183	1.51
As	[mg/l]	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Ba	[mg/l]	0.021	0.019	0.026	0.026	0.043	0.012	0.033	0.022	0.056	0.176
Ca	[mg/l]	33.4	6.58	17.2	8.02	16.3	30.0	12.9	27.7	31.1	99.8
Co	[mg/l]	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.008	0.042
Cu	[mg/l]	0.008	0.012	0.011	0.012	0.009	0.009	0.006	0.015	0.069	0.108
Fe	[mg/l]	0.047	0.080	0.082	0.033	0.041	0.047	0.039	2.62	0.056	0.046
K	[mg/l]	3.46	1.39	2.89	1.56	1.90	11.4	2.62	14.4	6.97	13.5
Li	[mg/l]	0.0064	<0.005	0.0051	<0.005	0.0070	<0.005	<0.005	<0.005	0.015	0.029
Mg	[mg/l]	5.37	0.89	2.96	1.51	3.36	4.05	1.81	4.41	6.82	21.4
Mn	[mg/l]	0.030	0.029	0.024	0.010	0.182	0.005	0.006	0.040	0.443	5.13
Na	[mg/l]	91.3	4.31	7.52	5.27	30.4	21.9	6.52	23.1	58.0	448
Ni	[mg/l]	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.008	0.008	0.026
Si	[mg/l]	9.33	5.99	10.4	6.95	6.67	6.04	6.00	10.4	5.78	6.35
Sr	[mg/l]	0.107	0.022	0.054	0.029	0.080	0.087	0.044	0.094	0.140	0.401
Ti	[mg/l]	0.0038	0.0025	0.0040	0.0014	0.0019	0.0013	0.0017	0.0038	0.0010	0.0008
Zn	[mg/l]	0.045	0.051	0.036	0.024	0.014	0.035	0.066	0.115	0.148	0.245
Kationty celkem	[mg/l]	143.1	19.5	41.3	23.4	59.5	73.6	30.0	82.9	109.8	596.8
Anionty											
F ⁻	[mg/l]	<0.2	<0.2	n.a.	n.a.	0.20	<0.2	n.a.	n.a.	<0.2	0.45
Cl ⁻	[mg/l]	234	2.24	10.1	3.53	80.5	35.5	7.33	38.9	136	1086
Br ⁻	[mg/l]	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
SO ₄ ⁻	[mg/l]	29.5	15.9	30.6	23.4	52.0	43.6	24.5	46.3	39.5	43.3
NO ₃ ⁻	[mg/l]	18.4	8.41	31.1	11.0	4.90	48.9	18.1	55.0	43.2	29.9
PO ₄ ⁻	[mg/l]	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
HCO ₃ ⁻	[mg/l]	10.7	4.58	18.3	10.7	4.58	41.2	13.7	27.5	18.3	0
Anionty celkem	[mg/l]	292.7	31.1	90.1	48.6	142.2	169.2	63.7	167.8	237.2	1159.8
Celková mineralizace	[mg/l]	435.8	50.6	131.4	72.0	201.7	242.8	93.7	250.7	347.0	1756.5
Teplota	[°C]	8.4	7.1	10.2	7.8	7.1	9.6	9.5	8.9	8.5	8.9
Eh	[mV]	219	225	202	199	233	218	201	198	260	273
pH		6.85	7.19	7	7.4	6.85	6.68	7.12	6.53	6.25	5.7
konduktivita	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	850	126	198	125	360	385	155	419	640	3393

6. DISKUZE

Radioaktivní prameny byly v této oblasti známy již před druhou světovou válkou. Kromě Wagnera (1931, 1942) a dalších je zmiňuje také Ota Hynie – legenda československé hydrogeologie. Ten uvádí, že „V Jizerských horách je dávno známa radioaktivita 160 M.J. (Macheových jednotek, 1 Macheova jednotka = 13,5 Bq/l) pitné vody ve vodovodu z Černé Studnice, a v blízké „železniční studánce“ v sedle k Ještědskému pohoří dokonce 600 M.J.“ (Hynie 1963). Tato tajemná „železniční studánka“ však námi nebyla nalezena a je otázkou, zda nemohlo při měření či interpretaci dojít k nějakému překlepu či jiné chybě, neboť na tělese tanvaldského granitu nebyl nalezen žádný vývěr se srovnatelnou aktivitou. Je velmi pravděpodobné, že Hyniem (nikoli však Wagnerem 1931 i 1942) popisovaná extrémně aktivní „železniční studánka“ (600 Mj = 8100 Bq/l) je ve skutečnosti vzorkovaný vývěr TGR/4 „U Železniční trati“ uváděný Wagnerem (1942) jako "Quelle an der Eisenbahn", s historicky naměřenou a námi potvrzenou aktivitou 1485 Bq/l ²²²Rn. Železniční studánka“ tak pravděpodobně skutečně existuje, má však výrazně nižší aktivitu než uvádí Hynie (1963).

Otázkou také zůstává, jakým způsobem se voda vlastně aktivuje. Ačkoliv je rozpustnost radonu ve vodě vysoká (a jeho rozpustnost v nepolárních rozpouštědlech ještě vyšší), radon se z vody na kontaktu se vzduchem velmi rychle uvolňuje, neboť vzduch je oproti radioaktivní vodě radonem silně nenasycen. Moor (1984) navrhuje průchod radonu přes nanopóry, které v hornině předpokládá, do makroskopických puklin a jeho následné rozpouštění ve vodě. Existence nanopórů v hornině však není spolehlivě ověřena, navíc aktivity některých vod jsou velice vysoké. Lze si proto těžko představit, že by se tyto vody aktivovaly pouze tímto mechanismem. K aktivaci by mohlo docházet také kontaktem s uranovou nebo radiovou mineralizací na puklinách, jimiž voda protéká. Tomu by nasvědčovalo také nepravidelné rozmístění zdrojů radioaktivních vod. Zároveň by to ale znamenalo, že by každý vysoce radioaktivní zdroj musel souviset s nějakou poruchou, na níž se vyskytuje uranem nebo radiem bohatá mineralizace. V současné době tyto mechanismy naše výzkumná skupina studuje, je tedy možné, že bychom se v budoucnosti mohli o pronikání radonu do vody dozvědět více.

S tím souvisí vztah radioaktivních zdrojů ke geologii, který je ne vždy úplně jasný. Ačkoliv bylo těleso tanvaldského granitu prozkoumáno poměrně podrobně, bylo všech 20 radioaktivních vodních projevů s objemovou aktivitou vyšší, než 1500 Bq/l, nalezeno v centrální a v západní části tělesa. Ani jeden radioaktivní pramen s objemovou aktivitou vyšší, než 1500 Bq/l, nebyl nalezen v části východní, ačkoli i ta byla prozkoumána ve srovnatelné hustotě. Nachází se zde pouze několik vývěrů, jejichž objemová aktivita je vyšší než 1000 Bq/l.

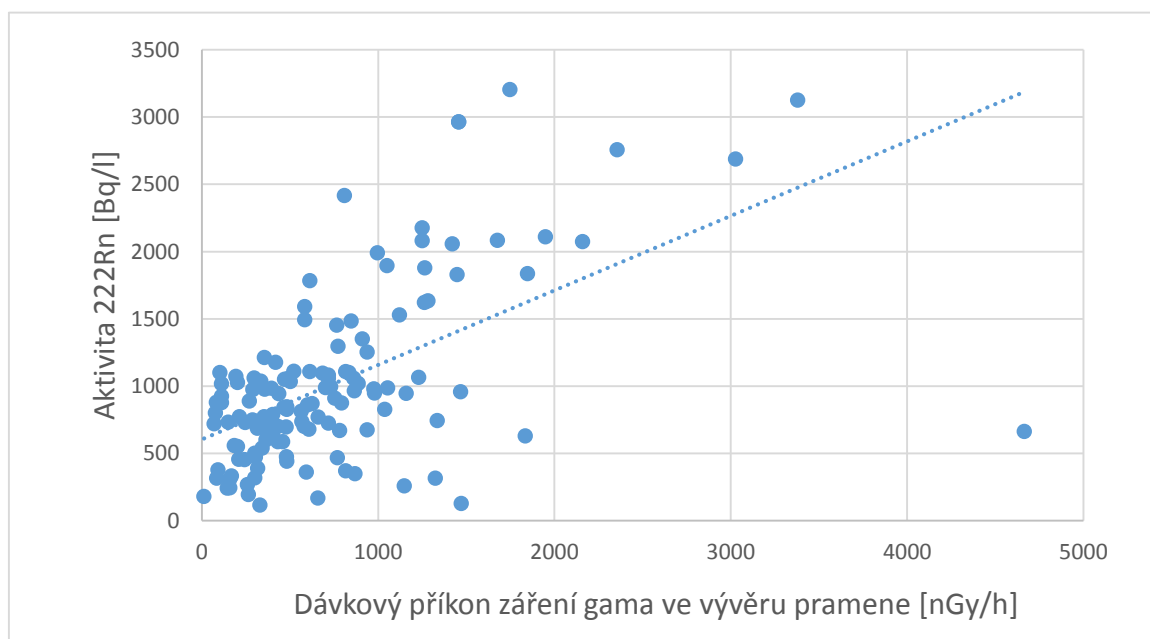
Velmi intenzivně byl na východě tělesa zkoumán „trojný bod“ u města Tanvald, tedy místo, kde se nachází kontakt tanvaldského granitu s granitem libereckým a s metamorfovanými sedimenty. V tomto místě však nebyl nalezen ani jeden vývěr s gama aktivitou zvýšenou tak, že by stál alespoň za odebrání vzorku.

Přesto, že se radioaktivní prameny nenacházely vždy tam, kde byly očekávány, jejich silná vazba na specifické geologické podmínky se nedá popřít. Ačkoliv má tanvaldský granit přibližně stejný obsah uranu, jako granit liberecký a jizerský (Černík a Goliáš 2014), vazba radioaktivních pramenů na granit tanvaldský byla jednoznačně prokázána. V průběhu průzkumu byly odebrány a měřeny vzorky nejen na granitu tanvaldském, ale také na libereckém i jizerském granitu, a několik vzorků bylo odebráno v metamorfovaných sedimentech v blízkosti kontaktu s tanvaldským i libereckým granitem (Tab. 4).

Tab 4: Statistické zhodnocení radioaktivity vod na tanvaldském granitu a na okolních horninách

Tanvaldský granit		Liberecký a jizerský granit		Metamorfované sedimenty v exokontaktu plutonu	
počet měřených pramenů:	112	počet měřených pramenů:	14	počet měřených pramenů:	9
průměrná aktivita měřených pramenů [Bq/l]	1026.9	průměrná aktivita měřených pramenů [Bq/l]	610.1	průměrná aktivita měřených pramenů [Bq/l]	249
minimální aktivita měřených pramenů [Bq/l]	31	minimální aktivita měřených pramenů [Bq/l]	106	minimální aktivita měřených pramenů [Bq/l]	19
maximální aktivita měřených pramenů [Bq/l]	3205	maximální aktivita měřených pramenů [Bq/l]	1179	maximální aktivita měřených pramenů [Bq/l]	745
medián změřených hodnot	957.5	medián změřených hodnot	474	medián změřených hodnot	168

Vztah mezi gama aktivitou u vývěru pramene a objemovou aktivitou ^{222}Rn ukazuje graf 1. Ačkoliv závislost mezi těmito dvěma projevy radioaktivity je zřejmá, odlehle hodnoty dokazují, že specifické podmínky u vývěru pramene mohou velmi ovlivnit intenzitu záření gama u vývěru a z této intenzity tedy nelze ani odhadnout skutečnou objemovou aktivitu ^{222}Rn vývěru (graf 1).



Graf 1: Korelace mezi aktivitou ^{222}Rn zdroje a dávkovým příkonem záření gama měřeným u vývěru pramene.

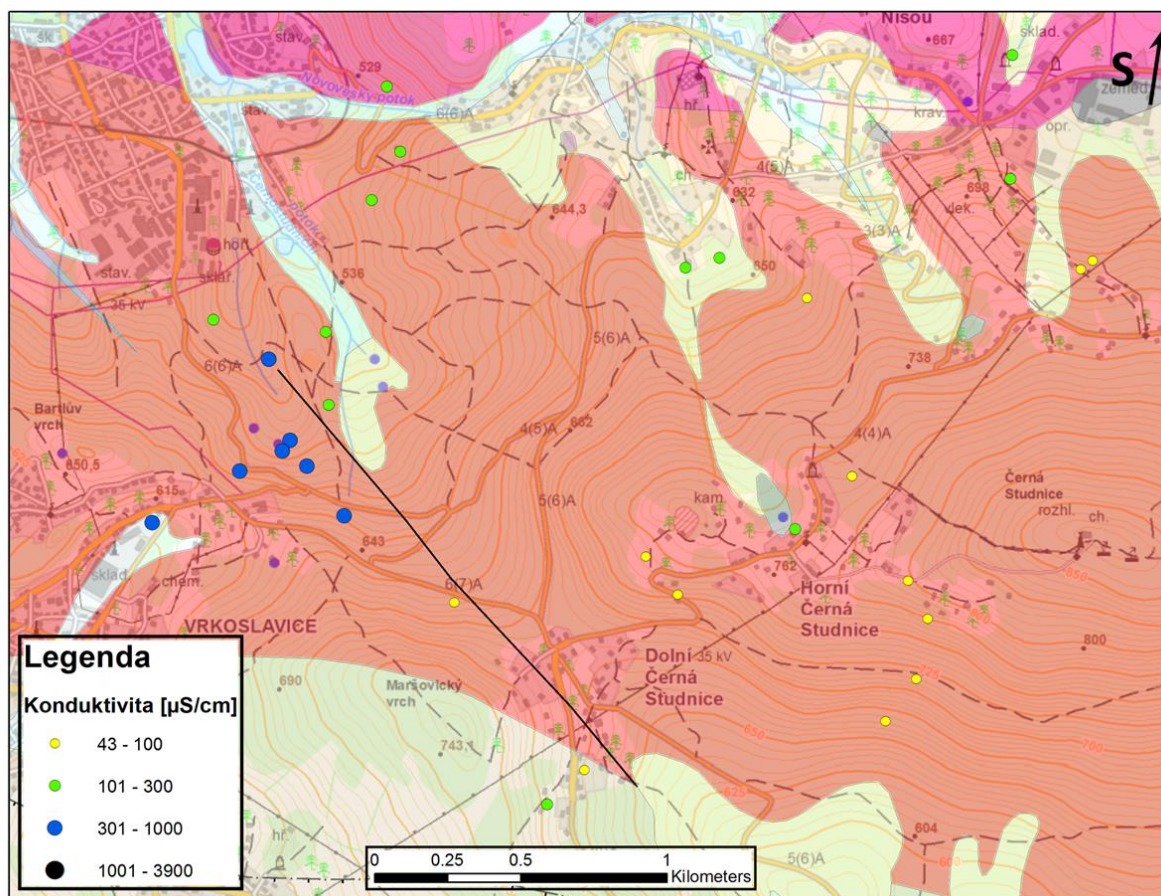
Další dosud nevysvětlenou otázkou je původ chloridových vod v oblasti kokonínského zlomu, Dlouhého Mostu a vod s mírně zvýšenou konduktivitou na Černé Studnici. Nejpravděpodobnějším zdrojem chloridů je antropogenní znečištění těchto vod. Avšak v západní části luga, poblíž Albrechtic u Frýdlantu, byly také objeveny vody typu Na-Ca-Cl s celkovou mineralizací vyšší, než

1 g/l (Goliáš a kol. 2014). Zde se však nepodařilo najít antropogenní zdroj chloridů tak silný, aby dokázal kvantitativně pokrýt tak silně mineralizovaný zdroj, je tedy pravděpodobné, že v tomto případě jsou chloridy přírodního původu.

Na území tanvaldského granitu však všechny vody s vysokou konduktivitou, jejichž vzorky byly odebrány na chemické analýzy, měly kromě vysokých koncentrací chloridů také zvýšené koncentrace dusičnanů. Je tedy vysoce pravděpodobné, že se jedná o vody mělkého oběhu kontaminované lidskou činností, jako jsou zemědělství, solení silnic, jak bylo prokázáno i v jiných oblastech (Panno et. al. 2006, Williams et. al. 2000). Přesto je zajímavé, že nejvyšší koncentrace chloridů (TGR/35 – 1086 mg/l Cl⁻), se vyskytují v těsné blízkosti kokonínského zlomu což je významná geologická struktura, na poměrně malém klastru (Obr. 24). I mineralizovanější Schindlerův pramen v uvažované infiltrační oblasti žádné významné komunikace nemá. Zdroj TGR/35 je zajímavý také zvýšeným obsahem hořčíku (21,4 mg/l Mg²⁺), což je hodnota, která je oproti ostatním měřeným vodám tří až čtyřnásobná.

Také vody s mírně zvýšenou konduktivitou na Černé Studnici leží v blízkosti zlomu, který je rovnoběžný se zlomem kokonínským a kopírují jeho směr (Obr. 26). Vzorek odebraný v této lokalitě (TG4/17) neměl zvýšené množství dusičnanů (pouze 4,9 mg/l) a voda ze studny TG4/17 není typu Na-Cl, ale Na-Si-Ca-Cl-SO₄. Pravděpodobně se tedy jedná o přírodní vody s mírně zvýšenou mineralizací.

Na tanvaldském granitu se vyskytují vody pestrého chemického složení, z nichž některé jsou navíc velmi radioaktivní. Je možné, že kdyby bylo na chemické analýzy odebráno více, než 10 vzorků, byly by výsledky ještě pestřejší.



Obr. 26: Konduktivita vod na Černé Studnici, Geologická mapa 1 : 50000 ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>)

7. ZÁVĚR

Průzkum zaměřený na vyhledávání radioaktivních pramenů na tělese tanvaldského granitu v letech 2014-2015 odhalil celkem 20 vodních projevů, jejichž objemová aktivita ^{222}Rn přesahuje 1500 Bq/l, což z nich podle „Lázeňského zákona“ č. 164/2001 Sb., dělá radioaktivní minerální vody. Všechny radioaktivní zdroje se nacházejí v západní a v centrální části tohoto tělesa, ve východní části tělesa nebyly nalezeny žádné prameny s radioaktivitou překračující hodnotu 1500 Bq/l.

Nejvíce radioaktivních vodních projevů se nachází v oblasti Dlouhého Mostu. Nejvýznamnějším z nich je zdroj TGR/11 – studna Oudrnických s aktivitou 2449 Bq/l. Další radioaktivní minerální vody byly nalezeny jižně od Jablonce n. Nisou v oblasti kokonínského zlomu. Zde vyvěrá v kokonínském lesoparku zcela nejvýznamnější zdroj celé oblasti tanvaldského granitu – Schindlerův pramen (TGR/33) s aktivitou 2446 Bq/l a imponantním průtokem 0,42 – 0,45 l/s. V jednání a úvahách je další využití tohoto zdroje. Potvrzena byla i vysoká radioaktivita zdrojů dříve užívaných pro jablonecký vodovod. Nejradioaktivnějším nalezeným zdrojem celé oblasti tanvaldského granitu je pramen Voňka v osadě Milíře (TG4/13) s aktivitou 3205 Bq/l.

Chemické složení vod je velmi pestré. V případě více mineralizovaných vod se objevují chemické typy Na-Cl a Na-Ca-Cl svědčící o kontaminaci lidskou činností, i když v některých případech je ve hře i přirozený původ této mineralizace.

Vyhledávací průzkum radioaktivních pramenů na tanvaldském granitu úspěšně navázal na průzkumy provedené v letech předchozích a opět potvrdil správnost vyhledávací metody indikačního měření gama záření u vývěrů pramene. Zároveň byl potvrzen i předpoklad výskytu radioaktivních vod na tělese tanvaldského granitu, který se od svého okolí geochemicky a geologicky liší. Při průzkumu byly zúročeny zkušenosti získané při průzkumech radioaktivních vod v letech předchozích a získány další zkušenosti, které mohou být využity v letech následujících, bude-li tento zajímavý projekt pokračovat. Na tanvaldském granitu se prokazatelně vyskytují zdroje radioaktivních minerálních vod, které mají potenciál být lázeňsky využity.

8. POUŽITÁ LITERATURA

8.1 Odborné publikace

Cadigan, R. A., & Felmlee, J. K. 1977. Radioactive springs geochemical data related to uranium exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 8(1), 381-395.

Calabrese EJ, Baldwin LA, 2003: Toxicology rethinks its central belief. *Nature* 421: 691-692.

Chaloupský J., Červenka J., Jetel J., Králík F., Líbalová J., Píchová E., Pokorný J., Pošmourný K., Sekyra J., Shrbený O., Šlanský K., Šrámek J., Václ J. (1989): *Geologie Krkonoš a Jizerských hor*. ÚÚG, Academia Praha, 288s.

Černík T. & Goliáš V., 2014: Radioaktivita granitoidů krkonošsko-jizerského plutonu: Statistické zhodnocení archivních údajů. *Zprávy o geologických výzkumech roce 2013*, Česká geologická služba, Praha, 103-106.

Dissanayake Ch. 2005: Stones and Health: Medical Geology in Sri Lanka. *Science* 5 (5736), pp. 883-885.

Faryad, S. W., & Kachlík, V. 2013. New evidence of blueschist facies rocks and their geotectonic implication for Variscan suture (s) in the Bohemian Massif. *Journal of Metamorphic Geology*, 31(1), 63-82.

Goliáš V., 2007: Vývěry léčivých radioaktivních vod v Janských Lázních – Těsném dole. In: Štursa J., Knapík R. (eds), Geoekologické problémy Krkonoš. Sborn. Mez. Věd. Konf., říjen 2006, Svoboda n. Úpou. *Opera Corcontica*, 44/1:161–169

Goliáš, V., Przylibski, T. A., Lipanský, T., Dohnal, J., Mista, W., Nowakowski, R. a Jáně, Z. 2010: Prameny radioaktivních minerálních vod na území Kowary-Horní Malá Úpa/Springs of the radioactive mineral groundwaters in the Kowary-Horní Malá Úpa area. *Opera Corcontica*, (47), 75.

Goliáš, V., Hrušková, L., Przylibski, T. A., Lipanský, T., & Černík, T. 2013: Radioactive springs of the Krkonoše Mts and Jizera Mts as geological phenomena, healing sources and tourist attractions. *Opera Corcontica*, 50, 135-142.

Goliáš V., Hrušková L., Černík T., Bruthans J., Nakládal P., Churáčková Z., Kula A. 2014: Albrechtický chloridový okrsek. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2013*, Česká geologická služba. Praha, 165-170.

Hrušková L. 2013: *Prameny radioaktivních minerálních vod v oblasti Lázně Libverda-Świeradów-Zdrój*. MS diplomová práce, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha, 68 str., 30 příloh.

Hynie O., 1963: *Hydrogeologie ČSSR II Minerální vody*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.

Jandová D., 2008: *Balneologie*. GRADA, 440 str.

Kadlčíková E., 1972. *Zpráva o zakódování radiometrických anomálií z ještědsko-krkonošské oblasti masivů v západní části Západosudetské soustavy*. MS. ČSUP – oborový podnik Příbram.

Kasal J. 1990 *Přirozená radioaktivita vod ve studních v Dlouhém Mostě, Liberec 36*. Dopis krajského hygienika. MS., archiv OÚ Dlouhý Most. 1s, 1 příl.

Klominsky, J. 1969: Krkonošsko-jizerský granitoidní masiv. – *Sbor. geol. Věd, Geol.* 15, 7–132.

Klominsky, J., Fediuk, F., Schovanek, P., Jarchovský, T. 2009: Tanvaldský masiv – reliktní magmatického tělesa v krkonošsko-jizerském kompozitním masivu. *Zpr. geol. Vyzk. v Roce 2008*, 158–161.

- Klominsky, J., Jarchovsky, T., Rajpoot, G.S. 2010: *Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif. 4. LUGICUM.* – 78 str. Čes. geol. služba, Praha.
- Klominsky, J., Schovaneck, P. – Jarchovsky, T., Sulovsky, P., Toužimsky, M. 2007: Kontakt tanvaldskeho a libereckeho granitu u Jablonce nad Nisou. *Zpr. geol. Vyzk. v Roce 2006*, 24–29.
- Kohn P., 2013: *Uran v České republice ve světle oživení zajmu o tuto surovinu.* MS. (bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha). 29 str.
- Křištiak J., Záliš Z. 1994: *Databáze radioaktivních objektů ČSÚP pro účely životního prostředí.* MS, Geofond Praha.
- Košler J., Jelínek E., Pačesová M., 1997: *ZÁKLADY IZOTOPOVÉ GEOLOGIE A GEOCHRONOLOGIE RADIOGENNÍ IZOTOPY*, Univerzita Karlova, Praha, 115 str.
- Lysenko, V. 2007: Morfotektonická analýza Krkonoš pomocí dálkového průzkumu Země. *Opera Concorica 44.*, Správa KRNAP Vrchlabí.
- Martínek M., Havlík B. 1980: Přirozená radioaktivita pitných vod okresu Liberec. *ČS. HYG*, 25, č. 4. Avicenum. 185-192.
- Mishra U. C., 1993: *Exposures due to high natural radiation background and radioactive springs around the world.* IAEA, 7 str.
- Moore, W. S. 1984: Mechanism of transport of U-Th series radioisotopes from solids into ground water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(2), 395-399.
- Panno, S. V., Hackley, K. C., Hwang, H. H., Greenberg, S. E., Krapac, I. G., Landsberger, S., & O'Kelly, D. J. 2006: Characterization and Identification of Na-Cl Sources in Ground Water. *Groundwater*, 44(2), 176-187.
- Pluskal O., Holub F., Pertold Z., Pešek J., Raus M., René M., Stuchlikova K., Frolikova I., Goliaš V., Petr V., Valek J. 1993. *Surovinové zdroje uranu České republiky.*, MS Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 99 str.
- Sedlák J. a kol., 2005: *Letecké geofyzikální mapování radioaktivních zátěží Liberecka. Závěrečná zpráva*, MS Miligal s.r.o., Brno.
- Šimek J., 2001: Jáchymovské radonové koupele. *Lékařské listy, příloha zdravotnických novin č. 42.*
- Vrbata L. 2008: Vodojem Kokonín 30m³. *Technická zpráva – dokumentace odstraňovaných staveb.* MS. fy. GAPA, Archiv stavebního odboru MÚ Jablonec n. N. 3s., 5příl.
- Wagner A., 1931: *Radioaktivität und radioaktive Quellen in den Sudetenlandern.* Sammlung Gemeinnütziger Vorträge, 1931, Praha.
- Wagner A. 1942: Radioaktivität der Quellen im Sudetenland. *Firgenwald 13*: 94–111.
- Williams, D. D., Williams, N. E., & Cao, Y. (2000). Road salt contamination of groundwater in a major metropolitan area and development of a biological index to monitor its impact. *Water Research*, 34(1), 127-138
- Zaplátílková O. (nedatováno): *Orientační hodnocení výskytu zhoubných nádorů na Dlouhém Mostě.* Dopis OÚNZ Liberec, zdravotní obvod 23, Liberec 25 – Vesec. MS., Archiv OÚ Dlouhý Most. 1s.
- Žák J., Verner K., Sláma J., Kachlík V., Chlupáčová M. (2013): Multistage magma emplacement and progressive strain accumulation in the shallow-level Krkonoše-Jizera plutonic complex, Bohemian Massif. *Tectonics*, 32, 1493–1512.

8.2 Internetové zdroje

<http://madarsko.orbion.cz/stat/pruvodce/termalni-lazne-1107/>, 7.8. 2015

www.laznejachymov.cz, 7.8. 2015

www.mapy.geology.cz, 7.8. 2015

www.geoportal.gov.cz/arcgis/services, 7.8. 2015

8.3 Použitý software

Arc Map 10.2