

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky



Prameny radioaktivních minerálních vod v orlicko-sněžnické klenbě

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Tomáš Lipanský

Vedoucí: Mgr. Viktor Goliáš, PhD.

Praha, květen 2007

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a že všechna publikovaná literatura i nepublikované zprávy, jejichž poznatky jsem využil, jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Praze, květen 2007

Tomáš Lipanský

Prameny radioaktivních minerálních vod v orlicko-sněžnické klenbě

Abstrakt

V oblasti jádra orlicko-sněžnické klenby budované ortorulami byl proveden terénní radiohydrogeochemický vyhledávací průzkum, zaměřený na vývěry radioaktivních vod. Z více než 350 měřených pramenů byla v 57 zjištěna aktivita ^{222}Rn větší než 1000 Bq/l, 20 vývěrů splňuje kritéria zařazení do kategorie minerálních vod (aktivitou $^{222}\text{Rn} > 1500$ Bq/l). Maximální aktivita radonu 5175 Bq/l byla zjištěna ve vodě přetokového vrtu KSS-1 v Dolní Hedči u Králík. Naopak diskreditovány byly údajně „radioaktivní“ prameny Rudolf u Severomoravské chaty a pramen P. Marie la Salette v Travné, které zákonem dané hranice zdaleka nedosahují.

Nejvíce vývěrů radioaktivních minerálních vod bylo objeveno v okolí obcí Stříbrnice, Dolní Hedeč, Mladkov, v údolí Mlýnského potoka a na dalších lokalitách.

Plošné rozmístění vývěrů radioaktivních minerálních vod je velmi nerovnoměrné, bodové, vázané na tektonicky porušené partie podložních hornin. Radioaktivitu pramenů nelze zobecňovat plošně.

Byla prokázána vhodnost použití měření intenzity záření gama v sedimentech vývěrů jako velmi citlivé a nenáročné metody indikace zvýšených aktivit ^{222}Rn ve vodách. Kontrolními měřeními T. Przylibského (Wroclaw) byla ověřena správnost naměřených hodnot při použití emanometrické metody měření objemové aktivity radonu ^{222}Rn ve vodách.

Mezi objemovou aktivitou radonu ve vodě a jejími ostatními makrochemickými, mikrochemickými ani radiochemickými složkami nebyla nalezena žádná závislost.

Z hydrochemického hlediska se jedná o vody chladné, málo mineralizované, slabě kyselé až neutrální reakce, jejichž jedinou výrazně zvýšenou složkou je obsah rozpuštěného radonu ^{222}Rn .

Vybrané významné radioaktivní prameny byly nově podchyceny (Čtrnáctka, Marie a Jakubův ve Stříbrnici a prameny Šalamoun a Karolína v Mladkově).

Perspektivní pro další průzkum a případné balneologické využití jsou prameny v Dolní Hedči (přetokový vrt KSS-1 s aktivitou 5175 Bq/l, Opukový pramen a další vývěry radioaktivních minerálních vod, včetně relativně bohatého ložiska vzácných radioaktivních peloidů) a pramen Marie u Stříbrnice (velmi rozsáhlá emanometrická anomálie vzniká pravděpodobně v důsledku rozptýlení radioaktivity (deemanace) velmi silného zdroje radonových vod).

Radioactive mineral springs in Orlica-Sněžník Dome

Abstract

Radiohydrogeochemical research focused on radioactive waters was carried out in parts of the Orlica-Sněžník Dome (North-East part of the Czech Republic), build by orthogneisses.

Radioactivity of more than 350 springs was measured, activity of dissolved radon ^{222}Rn higher than 1000 Bq/L was found in 57 springs, 20 springs fulfil the criteria for mineral waters due to activity of dissolved radon ($^{222}\text{Rn} > 1500$ Bq/L). The highest activity (5175 Bq/L) was found in an overflowing well in the area of Králíky - Dolní Hedeč. Some of the previously suspected of being „radioactive“ springs were discredited, the observed activity of radon is significantly lower than the criteria for radioactive mineral water.

The majority of radioactive mineral springs were found in the area of Stříbrnice, Dolní Hedeč, Mladkov, in the valley of Mlýnský potok and others.

Spatial distributions of radioactive mineral springs are very irregular, springs are connected to tectonically fractured zones.

Suitability of gama-ray intensity measurements in springbed sediments was proved as a sensitive and easily operable method for the indication of high radon activities in spring water. If the values are correctly obtained by emanometrical measurement of radon activity was proved by control sampling and measurements performed by T. Przylibski (Technical University, Warszawa, Poland).

No correlation between high activity of dissolved radon and other macrochemical, microchemical and radiochemical components of spring waters was found. All the sampled waters are cold, very low-mineralised, with slightly acid or neutral reaction. The only significant component is dissolved radon ^{222}Rn .

Some of radioactive mineral springs (Čtrnáctka, Marie, Jakub's springs near Stříbrnice, Šalamoun and Karolína in Mladkov) were recently adjusted for drinking and inhalation therapy.

Perspective for further research and balneological exploitation may be the springs in Dolní Hedeč area - overflowing well KSS-1 - 5175 Bq/L, other radioactive mineral springs and rare radioactive peloids deposit. Another perspective area is the radioactive spring Marie near Stříbrnice, flowing out from very wide-ranging emanometrical anomaly produced presumably by deemanation of very strong radioactive source.

Poděkování:

- vedoucí diplomové práce Mgr. Viktor Goliáš, PhD.

- terénní pracovníci:

Lenka Benešová, Tereza Dupalová, Rajit Goel, Kateřina Holendová, Hana Chudáčková, Petr Jarka, Martin Karáč, Jiří Kopáč, Miloš Kratochvíl, Pavel Kratochvíl, Jitka Macáková, Petr Nakládal, Barbora Paterová, Daniela Pittauerová, Jakub Plášil, Radek Procházka, Tomáš Svoboda, Pavel Škácha, Václav Tejnecký, Dagmar Trpkošová, Zdeněk Třískala, Ivan Větvička

- místní podpora:

Miloš Kamp, Aleš Kryl, oddíl skautů vedený Janem Hutařem, pension U Kampů a další příznivci

- s.p. DIAMO:

RNDr Jaromír Ondřík, RNDr Juraj Mištarka, Ing. Karel Hlisnikovský

- laboratoře:

Vodní Zdroje a.s., Aquatest a.s., Laboratoře geologických ústavů PŘF UK

- firma Watersystem - Pavel Lipanský

Obsah:

1. Úvod	8
2. Radioaktivita vod	8
2.1 Radon v životním prostředí a v podzemních vodách	8
2.2 Způsoby pronikání radonu do vody	10
2.3. Příhodné oblasti pro výskyt vod se zvýšeným obsahem radonu	12
3. Obecná charakteristika území	13
3.1 Vymezení oblasti.....	13
3.2 Geomorfologie.....	13
3.3 Klimatická charakteristika	14
3.4 Hydrologie zkoumaného území	15
3.5 Hydrogeologie zkoumaného území	15
3.6 Geologické poměry	17
3.6.1 Tektonika.....	18
3.6.2 Geologický vývoj oblasti	18
3.6.3 Geologické jednotky	19
3.6.4 Uranové zrudnění a mineralizace v orlicko-sněžnické klenbě:	24
4. Prozkoumanost území – zaměření na radioaktivitu	26
4.1. Nejstarší měření aktivity pramenů	26
4.2 Průzkum radioaktivních surovin (ČSSR)	28
4.3 Radiohydrogeologický průzkum v rámci vyhledávání radioktivních surovin	29
4.4 Databáze hydrogeologických objektů Geofond	32
4.5 Databáze Státního úřadu radiální ochrany	32
5. Archivní rešerše radiometrických anomálií	33
6. Metodika terénních prací provedených v roce 2005	33
6.1 Radiohydrogeochemický průzkum	33
6.2 Vzorkování pramenů.....	36
6.3 Přístroje a způsob měření	37
6.3.1 Emanometr RP-25 - měření aktivity ²²² Rn	37
6.3.2 Měřič dávkového příkonu záření gama RP-11	38
7. Výsledky	39
7.1. Aktivita radonu ve vodách.....	39
7.1.1 Úsek Stříbrnice	39
7.1.2 Úsek Stříbrnice-jih - Hynčice	46
7.1.3 Úsek Králický Sněžník	47
7.1.4 Úsek Mlýnský potok	48
7.1.5 Úsek Trojmórski Wierch	50
7.1.6 Úsek Vojtíškov	51
7.1.7 Úsek Svatá Trojice.....	52
7.1.8 Úsek Vysoký potok	53
7.1.9 Úsek Králíky-Dolní Hedeč	53
7.1.10 Úsek Horní Orlice.....	56
7.1.11 Úsek Orličky.....	56
7.1.12 Úsek Mladkov - Těchonín	57
7.1.13 Úsek Říčky.....	60
7.1.14 Úsek Rychlebské hory	62
7.2. Chemické rozbory	65
8. Diskuse	69
9. Závěr	71
10. Literatura	73

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Vybrané prameny s vysokou aktivitou radonu ^{222}Rn ve světě

Tabulka 2: Srážky v zájmovém území v roce 2005

Tabulka 3: Radioaktivita vybraných pramenů (Holluta 1929)

Tabulka 4: Aktivita ^{222}Rn ve srovnávacích vzorcích

Tabulka 5: Statistika počtu měřených objektů a zjištěných aktivit.

Tabulka 6: Prameny s aktivitou ^{222}Rn větší než 1500 Bq/l.

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Regionálně geologické jednotky

Obrázek 2: Zjednodušená geologická mapa orlicko-sněžnického krystalinika

Obrázek 3: Prozkoumanost území orlicko-sněžnické klenby (Stárková, Zrůstek 1976)

Obrázek 4: Mapa úseků radiohydrogeologického průzkumu

Obrázek 5: Graf intenzity gama záření přirozeného pozadí

Obrázek 6: Terénní radiohydrogeologický průzkum - práce s radiometrem RP-11 a přístrojem GPS

Obrázek 7: Graf korelace záření aktivity radonu ^{222}Rn ve vodě a intenzity gama záření v sedimentech pramenů

Obrázek 8: Úsek Střbřnice - Výřez mapy radiometrických anomálií (archiv DIAMO)

Obrázek 9: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Střbřnice

Obrázek 10: Pramen Marie po úpravě, aktivita ^{222}Rn 2300 Bq/l

Obrázek 11: Pramen Čtrnáctka po podchycení aktivních vývěrů, aktivita ^{222}Rn 2415 Bq/l

Obrázek 12: Jakubův pramen po úpravě

Obrázek 13: Úsek Střbřnice-jih - Výřez mapy radiometrických anomálií (archiv DIAMO)

Obrázek 14: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Střbřnice-jih

Obrázek 15: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Králický Sněžník

Obrázek 16: Úseky Mlýnský potok a Trojmórski Wierch - Výřez mapy radiometrických anomálií

Obrázek 17: Mapa radioaktivity pramenů - úseky Mlýnský potok a Trojmórski Wierch

Obrázek 18: Pramen MP-5 na východním svahu údolí Mlýnského potoka, aktivita ^{222}Rn 2128 Bq/l

Obrázek 19: Úsek Vojtíškov - Výřez mapy radiometrických anomálií (archiv DIAMO)

Obrázek 20: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Vojtíškov

Obrázek 21: Mapa radioaktivity pramenů - úseky Svatá Trojice a Vysoký potok

Obrázek 22: Úseky Králíky - Dolní Hedeč a Horní Orlice - Výřez mapy radiometrických anomálií

Obrázek 23: Mapa radioaktivity pramenů - úseky Králíky - Dolní Hedeč a Horní Orlice

Obrázek 24: Přetokový vrt KSS-1 na okraji Dolní Hedeče u Králík, aktivita ^{222}Rn 5175 Bq/l

Obrázek 25: Opukový pramen v Dolní Hedeči u Králík, aktivita ^{222}Rn až 2415 Bq/l

Obrázek 26: Úsek Orličky - Výřez mapy radiometrických anomálií (archiv DIAMO)

Obrázek 27: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Orličky

Obrázek 28: Úsek Mladkov - Těchonín - Výřez mapy radiometrických anomálií (archiv DIAMO)

Obrázek 29: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Mladkov - Těchonín

Obrázek 30: Prameny Karolína a Šalamoun u Madkova po úpravě, aktivity ^{222}Rn 5175 Bq/l

Obrázek 31: Inhalační bod na prameni Karolína, aktivita radonu ve vzduchu 1360 Bq/l

Obrázek 32: Úsek Říčky - Výřez mapy radiometrických anomálií (archiv DIAMO)

Obrázek 33: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Říčky

Obrázek 34: Úsek Rychlebské hory - Výřez mapy radiometrických anomálií (archiv DIAMO)

Obrázek 35: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Rychlebské hory

Obrázek 36: Pramen Panny Marie La Salette u Travné, aktivita radonu pouze 265 Bq/l

Obrázek 37: Mapa radioaktivity pramenů nově nalezených či ověřených v orlicko-sněžnické klenbě

Obrázek 38: Graf závislosti aktivity radonu na koncentraci fluoridů

Obrázek 39: Graf závislosti mezi aktivitou radonu a a) aktivitou radia, b) koncentrací uranu, c) koncentrací thoria

Seznam příloh:

Příloha 1: Tabulka radioaktivity pramenů

Příloha 2: Tabulka chemických rozborů

Příloha 3: Detailizační mapa anomálie 014 – pramen Čtrnáctka

Příloha 4: Detailizační mapa anomálie 003 – pramen Marie

1. Úvod

Radioaktivní minerální vody, v České Republice známé především z Jáchymova, jsou pro léčivé účinky rozpuštěného vzácného plynu radonu (izotop ^{222}Rn) již více než 100 let úspěšně využívány pro léčbu poruch pohybového aparátu, imunitního systému, nemocí periferního nervového systému a řady dalších onemocnění. Radonové vody mají stimulační a analgetický účinek na lidský organizmus a další velmi zajímavé léčivé vlastnosti (Deetjen et al. 2005).

Problematicke vzniku a výskytu radioaktivních minerálních vod v České Republice přesto byla v minulosti věnována velmi malá pozornost. Jedním z důvodů mohlo být přísné utajení výsledků velmi podrobného vyhledávacího průzkumu uranových rud. Tyto dokumenty byly odtajněny po roce 1989, odborné veřejnosti jsou však stále málo známé.

Prvním iniciátorem nově provedeného vyhledávání pramenů radioaktivních minerálních vod byl Ing. Oskar Pluskal, bývalý hlavní geolog průzkumné organizace ČSUP v Novém Městě n. Mor., jenž v 60. letech realizoval jednu z etap vyhledávacího průzkumu radioaktivních surovin v orlicko-sněžnické klenbě. Ing. Pluskal v době svého působení na Přírodovědecké fakultě UK upozornil Mgr. Viktora Goliáše, PhD., na hojně výskytu radioaktivních vod v oblasti orlicko-sněžnické klenby. Zpracování tohoto zajímavého úkolu v málo probádané oblasti hydrogeologie se stalo námětem k řešení v rámci této diplomové práce.

Cílem diplomové práce bylo prostudovat dostupné materiály o výskytech radioaktivních vod v orlicko-sněžnické klenbě, v terénu vyhledat a mapovat výskytu pramenů se zvýšeným obsahem rozpuštěného radonu, vody hydrogeochemicky charakterizovat a pokusit se interpretovat původ radonu ve vodách a prostorové rozmístění vývěřů radioaktivních vod.

2. Radioaktivita vod

2.1 Radon v životním prostředí a v podzemních vodách

Radon, $_{86}\text{Rn}$, je bezbarvý nehořlavý vzácný plyn bez chuti a zápachu, v přirozených podmínkách nereaktivní. Chemické sloučeniny tvoří podobně jako krypton a xenon pouze vzácně s kyslíkem nebo fluorem. Sloučeniny radonu jsou velmi nestálé a jsou extrémně silnými oxidačními činidly. Relativní atomovou hmotností 222 je nejtěžší ze skupiny vzácných plynů a patří zároveň mezi nejtěžší známé plyny - hustota radonu je $9,73 \text{ kg/m}^3$.

Radon je velmi dobře rozpustný ve vodě i dalších tekutinách (nafta, benzen, hexan, alkoholy, tuky). Rozpustnost závisí na parciálním tlaku plynného radonu nad tekutinou, na teplotě, pH a mineralizaci vody.

Radon byl objeven roku 1900 německým chemikem Friedrichem Ernestem Dornem při jeho výzkumu radioaktivního chování radia. Objevený radioaktivní plyn byl nazýván niton. Dorn zjistil, že rozpadající se radium se mění na plynný radon, ten dále na polonium.

Ve stejné době se výzkumem radioaktivních přeměn zabýval anglický fyzik Ernest Rutherford. Popsal radioaktivní plyn thoron (izotop ^{220}Rn), vznikající rozpadem thoria. Podobné plyny vznikající radioaktivním rozpadem jsou dále nazývány obecně emanace. Třetí přirozený izotop radonu - ^{219}Rn (aktinon) objevili v roce 1904 Geisel a André Luis Debiernovi. Název radon byl přijat mezinárodním kongresem o radioaktivitě v roce 1923 (Przylibski 2005). Přítomnost radonu ve vodách minerálních pramenů byla zjištěna již v roce 1902.

Radon vzniká radioaktivním rozpadem radia a uranu. V současnosti je známo 20 izotopů radonu, všechny dále podléhají radioaktivnímu rozpadu. Nejstabilnějším izotopem s poločasem rozpadu 3,823 dne je izotop ^{222}Rn (radon), vznikající rozpadem radia ^{226}Ra

v rozpadové řadě uranu ^{238}U . Izotop ^{220}Rn (thoron, poločas rozpadu 55,6 sekund) vzniká alfa-rozpadem radia ^{224}Ra v rozpadové řadě thoria ^{232}Th . Izotop ^{219}Rn (aktinon, poločas rozpadu 3,96 sekund) vzniká alfa-rozpadem radia ^{223}Ra v rozpadové řadě uranu ^{235}U (aktiniové). Izotopy radonu se dále rozpadají emisí jader helia (přeměna alfa), konečným prvkem jsou stabilní izotopy olova (^{206}Pb , ^{208}Pb , ^{207}Pb).

Účinky radonu byly známy již dávno před jeho objevením. Agricola v polovině 16. století popisuje častá úmrtí horníků v Krušných horách na choroby plic, nazývané *Bergkrankheit*. Rakovina plic byla objevena roku 1879 a v roce 1921 byla vyslovena domněnka o souvislosti rakoviny s pobytem v prostředí se zvýšenými koncentracemi radonu a s ukládáním rozpadových produktů radonu v dýchacích cestách. Od 80. let 20. století je monitorována přítomnost radonu v budovách v mnoha státech.

Léčivé vlastnosti některých pramenů jsou známy již od středověku. Vysvětlení původu léčivých vlastností řady těchto vod, které se podle dobových chemických analýz nelišily od vod prostých, přineslo až objevení radonu a měření jeho přítomnosti ve vodách. Cíleně byly radonové vody poprvé terapeuticky využity v roce 1906 v Jáchymově, ve 20. a 30. letech se objevují domácí emanátory radonu, založené na rozpadu radia.

Vztah dávka-účinek je u radonu podobný jako u většiny běžně používaných léčiv. V přiměřených dávkách se projevují pozitivní účinky medikamentů, vysoké dávky jsou škodlivé a mohou způsobovat nevratné poškození organismu nebo smrt. Tento jev bývá nazýván hormeze.

V současnosti jsou účinky radonu využívány ve formě koupelí (Jáchymov), inhalací, pitných kúr nebo pobytů v jeskyních či štolách s vysokou koncentrací radonu ve vzduchu (Inhalatorium Radonowe v polských Kowarech).

Koncentrace radonu v přírodě (atmosféra, hydrosféra, litosféra) jsou velmi nízké, chemickými analytickými metodami je není možné stanovit. Pro zjištění koncentrací radonu se velmi úspěšně využívá jeho radioaktivního rozpadu při němž jsou emitovány částice α . Pasivní měření koncentrací radonu je založeno na změně struktury některých materiálů (depolymerizace) při ozáření částicemi α . Tyto „stopy“ rozpadů radonu jsou následně sčítány pomocí počítačové analýzy mikroskopického obrazu polymerové detekční destičky.

Měření okamžité koncentrace (aktivity) radonu využívá ionizačních účinků α -částic emitovaných při rozpadu jader radonu. Při použití scintilační metody jsou dopadajícími α -částicemi z vhodného materiálu na stěnách měřicí komory (Lucasovy komory) emitovány fotony, dále převáděné na analogový výstup.

Další metoda využívá ionizace vzduchu v měřicí komoře α -částicemi a tím vyvolání průchodu elektrického proudu. Ionizační komora v proudovém (integrálním) režimu (přístroj RP 25) byla použita při měření aktivity radonu ve vodách pramenů v orlicko-sněžnické klenbě v červnu a listopadu 2005. Blíže je metodika měření popsána v kapitole 5.5.1. Ionizační komoru zapojenou v impulsním režimu (přístroj AlphaGuard) používal T. A. Przylibski při měření radioaktivity vod v Polsku (Przylibski 2005) a pro měření srovnávacích vzorků vod pro tuto diplomovou práci (viz oddíl 5.5.1).

Další metody využívají reakce polovodičů na dopadající částice α , termoluminiscence a jiné vlastnosti záření vznikajícího radioaktivním rozpadem radonu.

Přirozené koncentrace radonu v atmosféře jsou velmi nízké, při kontaktu otevřené hladiny radioaktivní vody s atmosférou dochází k samovolnému úniku radonu z vody. Z tohoto důvodu se v povrchových vodách vyskytuje radon ve velmi malých koncentracích, zatímco v uzavřeném systému podzemní vody mohou obsahovat značné množství rozpuštěného radonu.

Nejvyšší koncentrace radonu ve vzduchu byly zjištěny v nevětraných prostorách uranových dolů (až stovky kBq/l). V nevětraných sklepích dosahují koncentrace radonu často

hodnot $\times 10^4$ Bq/m³, místy $\times 10^5$ Bq/m³ a ojediněle přesahují i milion Bq/m³ (Przylibski 2005).

Koncentrace radonu v podzemních vodách se pohybují v řádu setin až několika tisíců Bq/l, nikdy však nedochází k nasycení vod radonem. Při teplotě 50°C se ve 100 ml vody může rozpustit maximálně 13 cm³, což odpovídá aktivitě radonu 5,9.10¹⁵ Bq/l. Takto vysoká aktivita nebyla nikde v přírodě zaznamenána (Przylibski 2005). Přehled pramenů s vysokou aktivitou radonu je uveden v tabulce č. 1. V České Republice je aktivita rozpuštěného radonu přesahující 1500 Bq/l kritériem pro zařazení vod do kategorie minerálních (lázeňský zákon).

Tabulka 1: Vybrané prameny s vysokou aktivitou radonu ²²²Rn (upraveno podle Przylibski 2005).

Pramen	Lokalizace	Aktivita ²²² Rn [Bq/l]
Neue Quelle	Bad Brambach, Německo	264 500
Hindenburgquelle	Oberschlema, Německo	181 500
Etigo Mineral Spring	Murasugi, Japonsko	59 500
Římské prameny	Ischia, Itálie	50 000
termální prameny	Lacco Ameno, Itálie	37 500
Elisabethquelle	Bad Gastein, Rakousko	20 000
pramen Agricola	Jáchymov, ČR	20 000
pramen C1	Jáchymov, ČR	11 000
pramen Běhounek	Jáchymov, ČR	10 000
pramen Curie	Jáchymov, ČR	5 000
výtok štoly Sněžník	Králický Sněžník, Polsko	2 381

2.2 Způsoby pronikání radonu do vody

Aktivita radonu v podzemních vodách puklinových systémů v krystaliniku často výrazně převyšuje hodnoty, které by mohly být způsobeny pouze rozpadem uranu ²³⁸U při dané koncentraci uranu v hornině a známých makroskopických vlastnostech horniny (porozita, tortuozita, specifický povrch pórů, atd.). Rozpadem radia (²²⁶Ra) rozpuštěného v podzemní vodě vzniká ve většině případů méně než 1% celkové aktivity radonu (Wood, et al., 2004).

Aktivita radonu v puklinových vodách je často velmi nerovnoměrně rozložena, navzdory stejným litologickým a petrografickým vlastnostem hornin dané oblasti.

Uvažujeme-li krátký poločas rozpadu radonu - 3,8 dne pro ²²²Rn - a velmi nízkou hydraulickou vodivost, typickou pro horniny krystalinika, musí k obohacování podzemní vody radonem v největší míře docházet přímo na styku vody s horninou. To znamená na povrchu nebo v blízkém okolí puklin, kterými voda proudí. Zde proto musí být ve zvýšeném množství přítomny emitery radonu - uran nebo radium.

Jeden z prvních takových modelů (Wathen, 1987) předpokládal, že ²³⁸U je na povrchu puklin uložen z cirkulujících hydrotermálních roztoků, případně sorbován z roztoků chladných. Jeho rozpadem vzniká radium ²²⁶Ra, rozpadající se dále na radon, který je do podzemní vody transportován difuzí. Proti tomuto modelu stojí fakt, že i v případě velmi vysoké aktivity radonu ve vodě je uranová mineralizace nebo alespoň zvýšená koncentrace uranu na povrchu puklin nalézána velmi zřídka. Například v oblastech pleistocénního zalednění vznikla část puklin až táním ledovců a odlehčením terénu, dlouho po cirkulaci hydrotermálních roztoků. Přesto i tyto nemineralizované pukliny často obsahují vody se zvýšenou aktivitou radonu (Wood, et al., 2004).

Folger (1997) zkoumal a modeloval závislost aktivity radonu na hydraulických vlastnostech puklin. Značná variabilita aktivity radonu na malém území může být vysvětlena

silnou závislostí aktivity radonu na velikosti povrchu pukliny a objemu vody v kontaktu s tímto povrchem, bez přítomnosti uranové mineralizace na povrchu puklin. Model však předpokládá pro vrty v širších puklinách, tedy s vyšší transmisivitou, nižší aktivitu radonu. Terénní měření však neukazují žádnou nebo naopak opačnou závislost.

Zvýšená aktivita radonu v podzemních vodách může být vysvětlena zcela odlišným způsobem. Rama a Moore (1984) popisují možnost pronikání radonu do vody nanopóry v horninové matrix. Značná část radonu, vznikajícího v celém objemu makroskopicky neporézní horniny, je v kontaktu s těmito nanopóry a jimi je vedena do makroskopických puklin, kde difunduje do cirkulující podzemní vody. Příčiny a mechanismus vzniku nanopórů však tento model nepopisuje. Model nevyžaduje žádnou akumulaci zdrojů radonu, není tedy zřejmé proč zvýšené aktivity radonu nemají všechny vody v dané hornině a proč vyšší aktivity bývají zjišťovány ve vodě puklinových systémů častěji než v horninách s vyšší primární porozitou a průlinovou propustností.

Další způsob vzniku radonu a jeho zvýšené aktivity v puklinových podzemních vodách představuje model založený na difuzi a iontové výměně (Wood et al. 2004).

Radium (^{226}Ra) je v horninové matrix transportováno difuzí k povrchu otevřených puklin. Zde je radium sorbováno na povrch minerálů vzniklých zvětráváním horniny v blízkosti puklin. Sorbcí na pevnou minerální fázi je zajištěn neustálý přísun radia v roztocích z horninové matrix. Poločas rozpadu ^{226}Ra - 1601 let - je dostatečně dlouhý pro velmi pomalou difuzi radia primárními póry horninové matrix (nanopóry) k povrchu otevřených puklin. Na povrchu puklin může být akumulováno velké množství radia, jehož rozpadem je způsobena zvýšená aktivita radonu ve vodě cirkulující puklinou.

Pro ověření teorie byly provedeny laboratorní a polní zkoušky v devonských dvojslídých granitech (New Hampshire, USA).

Měření difusních koeficientů pomocí cesia (^{137}Cs) bylo zjištěno, že při daných vlastnostech neporušené horniny (hustota 2650 kg/m^3 , porozita 1,5%, aktivita radia $1,19 \times 10^7 \text{ pCi/m}^3$) je již mocnost horniny 0,5 metru dostatečná pro vyvolání naměřené aktivity radonu ve vodě (průměr 60 Bq/l, max. 416 Bq/l). Wood (2004) však nepopisuje, zda může tímto způsobem pronikat do vody dostatečné množství radonu, které by způsobovalo aktivity ^{222}Rn zjištěné v oblasti orlicko-sněžnické klenby (až 5000 Bq/l).

Dalším pokusem porovnával Wood (2004) vliv přítomnosti oxidů železa na povrchu puklin na sorbcí radia a emanaci radonu do vody. Pokus byl proveden na vrtných jádrech, která zastihla pukliny s povlaky oxidů a hydroxidů železa. Vyšší emanace radonu z puklin s povlakem železa byla prokázána u pěti vzorků ze sedmi.

Vliv iontové výměny na povrchu puklin s povlaky oxidů železa na množství sorbovaného radia byl testován louhováním materiálu z puklin roztokem o známé koncentraci sodíku (ve formě NaCl). S rostoucí koncentrací Na byly do roztoku uvolňovány všechny zkoumané kationty, včetně uranu, thoria a barya, které bylo použito jako chemický analog radia. Vzhledem k velmi malému množství materiálu z puklin na vrtných jádrech byla tato teorie testována nálevově-čerpací zkouškou na dvou vrtech. Iontem hořčíku (roztok $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) byly nahrazovány ionty v sorbčních pozicích na puklinách. Uranu bylo do roztoku uvolněno výrazně méně než radia, podle předpokladu, že přímá přítomnost uranu není pro vznik radonové vody nutná (Wood et al. 2004).

Tento model, založený na difuzi a iontové výměně, vysvětluje zvýšené koncentrace radonu a radia v podzemních vodách puklinových systémů bez přítomnosti zvýšeného množství uranu. Platí též pro mladé pukliny, vzniklé odlehčením horninových masivů po ústupu posledního glaciálu - zvětrávání povrchu těchto puklin i difuze radia horninou jsou z geologického hlediska dostatečně rychlé pro vytvoření akumulace radia na povrchu puklin a následné emise radonu do podzemní vody (Wood, et al., 2004).

Teorie však neobjasňuje značnou prostorovou variabilitu aktivity radonu ani to, které pukliny budou do vody emitovat více radonu a které méně.

Zároveň není zřejmé, zda je tato teorie dostatečná pro vznik vod s aktivitou radonu větší než 1500 Bq/l, klasifikovaných v České Republice jako radioaktivní minerální vody.

2.3. Příhodné oblasti pro výskyt vod se zvýšeným obsahem radonu

Oblasti příhodné pro výskyt vod se zvýšenými koncentracemi rozpuštěného radonu ^{222}Rn by měly přibližně korelovat s oblastmi zvýšeného radonového rizika a oblastmi zvýšené aktivity gama záření podložních hornin. Tyto oblasti jsou zobrazeny například v Mapě radonového rizika 1 : 500 000 a 1 : 50 000 a Radiometrické mapě České Republiky 1 : 500 000 (Zoubek, edit. 1998).

Podle map radonového rizika (Barnet et al. 1998) jsou v rámci studovaného území oblasti vysokého radonového rizika (obvyklý rozsah hodnot $^{222}\text{Rn} > 40 \text{ kBq/m}^3$) prostorově shodné s pruhem granitoidních hornin staroměstské skupiny. Horniny jádra orlicko-sněžnické klenby (ortorulový komplex a stroňská skupina) jsou naproti tomu řazeny do kategorie středního radonového rizika (20 až 40 kBq/m^3). Ostatní horniny (metavulkanity, křídové sedimenty) spadají do kategorie nízkého radonového rizika (10-20 kBq/m^3).

Mapy radonového rizika jsou zřejmě sestaveny pouze na základě geologické situace celé oblasti, zohledňují pouze plošné rozložení jednotlivých horninových typů bez detailní znalosti jejich radiometrických charakteristik. Při sestavování map nebyly zohledněny například výsledky velmi detailního radiometrického průzkumu celé oblasti orlicko-sněžnické klenby, provedeného v 50. letech při vyhledávání ložisek radioaktivních surovin a další radiometrická data. (Stárková, Zrůstek 1976).

V oblasti orlicko-sněžnické klenby je podle radiometrické mapy ČR 1 : 500 000 (Manová, Matolín, 1995) zvýšená intenzita záření gama v centrální části Orlických hor (až 130 nGy/h), v oblasti výskytu ortorul v Mladkovské vrchovině a masivu Králického Sněžníku (až 105 nGy/h). V Rychlebských horách podle radiometrické mapy je intenzita gama záření poměrně nízká (max. 75 nGy/h), navzdory skutečnosti, že v této oblasti byla těžena jediná dvě ložiska uranových rud v celé orlicko-sněžnické klenbě.

Z hlediska chemismu minerálních vod se podle Mapy chemismu minerálních vod (Zoubek, edit. 1998) přibližně v oblasti Mladkovské a Bukovohorské vrchoviny nachází v poměrně malém prostoru rajon „dusíkovo-kyslíkových vod atmosférického původu s obsahem radonu větším než 0,17 kBq/l “. V této oblasti byla při terénních pracích v červnu 2005 zjištěna pouze malá část pramenů radioaktivních vod.

V oblasti výskytu ortorul orlicko-sněžnického krystalinika se podle Mapy chemismu minerálních vod vyskytují „dusíkové termy atmosférického původu, vázané na intruzivní, efuzivní a metamorfované krystalinické masivy s mladými tektonickými pohyby“. Výsledky terénních prací v červnu 2005 naproti tomu ukázaly přítomnost velkého množství pramenů radioaktivních minerálních vod (až 5 kBq/l) vázaných na výskyty ortorul jádra orlicko-sněžnické klenby (viz. kapitola 7). V ostatních typech hornin studované oblasti byly zjištěny pouze vody s nízkou aktivitou radonu.

Rajony minerálních vod, podobně jako mapy radonového rizika, také velmi přesně kopírují geologickou stavbu oblasti a zohledňují pouze plošné rozložení jednotlivých horninových typů bez detailní znalosti radiohydrogeochemických charakteristik podzemních vod.

3. Obecná charakteristika území

3.1 Vymezení oblasti

Terénní vyhledávací a mapovací práce byly soustředěny do oblasti výskytu ortorul Orlicko-Sněžnického krystalinika a Rychlebských hor na území České republiky.

Území je ohraničeno přibližně obcemi Deštné v Orlických horách na severozápadě, Štítý na jihu, Hanušovice a Staré Město na východě. Severní hranici zájmového území tvoří státní hranice s Polskem. Část prací byla provedena též v Rychlebských horách na západním okraji Javornického výběžku.

Ze správního hlediska spadá území do okresů Rychnov nad Kněžnou, Ústí nad Orlicí, Šumperk a Jeseník.

Zájmové území je zobrazeno na základní mapě České republiky v měřítku 1:200 000 na listu číslo 14 - Šumperk, v měřítku 1 : 50 000 na listech 14-14 Žamberk, 14-23 Králický Sněžník a částech listů 04-43 Bílá Voda, 14-21 Travná, 14-22 Jeseník, 14-32 Ústí nad Orlicí a 14-41 Šumperk.

3.2 Geomorfologie

Podle regionálního členění reliéfu České republiky (Czudek, 1972) spadá zájmové území do Sudetské soustavy (označení IV).

Západní část zájmového území je řazena k podsoustavě Střední Sudety (IV B), dělené na celky Orlické hory (IV B-2), Podorlická pahorkatina (IV B-3) a Kladská kotlina (IV B-4). Celek Orlické hory, kde vyhledávací práce probíhaly v oblastech výskytu ortorul, je dělen na podcelky Deštná hornatina (IV B-2A), Mladkovská vrchovina (IV B-2B) a Bukovohorská hornatina (IV B-2C). V Podorlické pahorkatině probíhaly terénní práce v podcelku Žamberská pahorkatina (IV B-3B).

Deštná hornatina a Mladkovská vrchovina jsou hornatiny se silně rozčleněným, erozně denudačním reliéfem asymetrické kerné stavby. Bukovohorská hornatina je charakterizována vyzdviženým a denudací zarovnaným paleogenním reliéfem s dílčími hřbety, oddělenými hluboce zaříznutými údolními vodními toků. Lokální výšková členitost terénu se pohybuje mezi 200-300 metrů v Mladkovské vrchovině a 300-500 metrů v Deštné a Bukovohorské hornatině.

Křídová sedimentární výplň Kladské kotliny (podcelek Králická brázda, IV B-4A) odděluje západní a východní část zájmového území.

Východní část zájmového území je řazena k podsoustavě Východní Sudety (IV C), zde zastoupené celky Hanušovická vrchovina (IV C-3), Králický Sněžník (IV C-4) a Rychlebské hory (IV C-5). Vyhledávací práce probíhaly v oblastech výskytu ortorul převážně na území celku Králický Sněžník. Na území Hanušovické vrchoviny probíhaly terénní práce v části podcelku Branenská vrchovina (IV C-3D), v Rychlebských horách v podcelku Travná hornatina (IV C-5B).

Králický Sněžník je dle geomorfologického členění reliéfu České republiky (Czudek, 1972) členitá hornatina nevelkého plošného rozsahu (cca 80 km²), s výraznou výškovou členitostí terénu - lokální výškové rozdíly 500-700 metrů, střední nadmořská výška území 930 m n.m.. Rychlebské hory jsou hornatinou s výškovou členitostí 300-500 metrů a střední nadmořskou výškou 640 m.

Nejvyšším bodem zájmového území je vrchol Králického Sněžníku, 1423 m n.m., nejnižším místem v západní části je niva Orlice, cca 420 m n.m., ve východní části niva Moravy, cca 430 m n.m., v severní části tok Vidnavy na hranici s Polskem, 221 m n.m..

Vzhledem k poloze zájmového území v hraniční oblasti mezi Českou republikou a Polskem, přeshraničnímu rozsahu geomorfologických, geologických i hydrogeologických jednotek a výskytu radioaktivních pramenů na Polském území, jsou dále uvedeny polské ekvivalenty výše zmíněných jednotek.

Orlické hory jsou součástí fyzickogeografické jednotky Góry Bystrzyckie i Góry Orlickie, Kladská kotlina na polském území pokračuje dále k severu jako Kotlina Kłodzka. Celek Králický Sněžník, polsky Śnieżnik, zasahuje na území ČR jen svojí menší částí. Rychlebským horám odpovídají na polské straně Góry Złote.

3.3 Klimatická charakteristika

Z klimatického hlediska náleží zájmové území převážně k velmi vlhkému okrsku chladné klimatické oblasti (Quitt 1971).

Průměrná roční teplota vzduchu za období 1961-1990 se pohybuje v rozmezí +2°C v nejvyšších partiích po +7°C v nižších polohách. Počet dní s teplotou pod bodem mrazu se pohybuje od cca 40 v nižších polohách po více než 100 v oblasti Králického Sněžníku. Průměrné červencové teploty vzduchu dosahují maximálně +15°C v nižších polohách, ve vrcholových partiích Králického Sněžníku a Orlických hor nepřesahují +10°C.

Dlouhodobý průměr srážkových úhrnů za období 1961-1990 se na většině zkoumaného území pohybuje mezi 800-1200 mm/rok, ve vyšších partiích masivu Králického Sněžníku a Orlických hor dosahují 1200-1400 mm/rok. Srážkové úhrny v letním období se pohybují mezi 280 - 400 mm, v mimovegetačním období dopadá více než 50% srážek, což v kombinaci s velkou lesnatostí terénu vytváří velmi dobré podmínky pro tvorbu a doplňování přirozených zásob podzemní vody. Počet dnů se sněhovými srážkami se pohybuje mezi 80 a více než 100 (ČHMÚ 2006).

V roce 2005 byla v důsledku poměrně nízkých teplot a vysokých srážkových úhrnů v zimních měsících abnormálně vysoká sněhová pokrývka, která odtávala na velké části vyšších poloh zájmového území až v měsíci květnu, lokálně přetrvala až do června. Vydatnosti pramenů v měsíci červnu, kdy probíhalo terénní měření radioaktivity pramenů, byly výrazně nadprůměrné.

Podzimní měsíce roku 2005 byly srážkově výrazně podprůměrné. Srážkový úhrn za měsíc říjen činil v zájmovém území méně než 15% dlouhodobého průměru, suché počasí přetrvalo až do poloviny listopadu 2005, kdy bylo provedeno kontrolní měření radioaktivity pramenů a odběry vzorků vod. Vydatnosti pramenů v době vzorkování tak lze považovat za dlouhodobé minimum, v jehož důsledku byla část pramenů v oblasti orlicko-sněžnické klenby zcela vyschlá.

Přehled srážek v jednotlivých měsících roku 2005, dlouhodobých srážkových normálů a procentuelní podíl srážek v roce 2005 vzhledem k dlouhodobému průměru v jednotlivých krajích, do nichž spadá oblast orlicko-sněžnické klenby, jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka 2: Srážky v zájmovém území v roce 2005 (ČHMÚ 2006)

Měsíc		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
Králové- hradecký kraj	S	94	64	34	38	93	46	149	70	64	8	38	84	784
	N	60	47	49	48	76	86	83	84	60	52	62	70	774
	%	157	134	69	79	122	53	179	84	108	15	61	120	101
Pardubický kraj	S	76	61	32	35	95	54	150	92	41	5	28	78	748
	N	47	40	42	46	77	87	82	84	56	45	52	54	711
	%	162	152	76	76	123	61	182	108	74	11	54	145	105
Moravsko- slezský kraj	S	72	71	31	46	101	71	140	129	46	9	62	116	892
	N	42	44	43	59	94	108	105	98	63	50	58	52	816
	%	172	162	72	78	108	66	132	132	73	17	106	225	109

S.....měsíční srážkové úhrny v roce 2005

N.....dlouhodobý normál srážek za období 1961-1990

%.....poměr srážkového úhrnu v roce 2005 k dlouhodobému normálu

3.4 Hydrologie zkoumaného území

Z hydrologického hlediska (Základní vodohospodářská mapa ČR, 1:50 000) leží zájmové území na rozhraní povodí Severního, Černého a Baltského moře, jejichž rozvodnice se stýkají jihozápadně od vrcholu Kralického Sněžníku na vrchu Klepáč (polsky Trojmórski Wierch, 1143 m n. m.).

Hřeben od Klepáče přes Kralický Sněžník a jeho pokračování k severu tvoří hlavní rozvodnici mezi Baltským a Černým mořem. Rozvodnice probíhá po státní hranici k severovýchodu, na kótě Smrk (1125 m n.m.) se stáčí k jihovýchodu přes Ramzovské sedlo, Červenou horu, Červenohorské sedlo, Malý Děd a Praděd a pokračuje dále k jihu.

Hlavní rozvodnice mezi Černým a Severním mořem probíhá z vrchu Klepáč po nevýrazném hřebeni k jihu, na kótě Jeřáb (1003 m n.m.) se stáčí k západu a přes Suchý vrch (996 m n.m.) a Bukovou horu (958 m n.m.) pokračuje k jihozápadu.

Rozvodnice mezi Severním a Baltským mořem tvoří státní hranici mezi Českou republikou a Polskem západně od vrchu Klepáč.

Do Černého moře je území odvodňováno řekou Moravou, pramenící pod vrcholem Kralického Sněžníku v nadmořské výšce 1380 m, číslo povodí 4-10-01-001. Hlavními levostrannými přítoky Moravy jsou Mlýnský potok, Malá Morava, Zelený potok, Krupá a Branná, pravostrannými Zlatý, Vysoký, Kamenný, Počátecký a Raškovský potok, Pstruhovec a řeka Sázava s Březnou.

Říčka Krupá pramení v Kladském sedle (číslo povodí 4-10-01-012) a její přítoky (pravostranné Stříbrnický, Chrastický a Prudký potok, levostranné Kunčický a Vrbenský potok) odvodňují východní svah masivu Králického Sněžníku a Staroměstskou kotlinu.

Západní část zájmového území, spadající do povodí Labe, je do Severního moře odvodňována Tichou Orlicí, pramenící v nadmořské výšce 780 m na západním svahu vrchu Jeřáb (číslo povodí 1-02-02-001). Pravostranné přítoky Tiché Orlice Králický a Lipkovský potok odvodňují území Kladské kotliny, levostranný přítok Těchonínský potok odvodňuje část Mladkovské vrchoviny.

Východní svah Orlických hor odvodňuje Divoká Orlice pramenící v Polsku (pramenné povodí číslo 1-02-01-001) s přítoky Hadinec, Bartošovický potok, Orlička a Rokytenka, západní svah odvodňuje říčka Zdobnice.

Severovýchodní část zájmového území (Rychlebské hory) a polskou část Kladské kotliny odvodňuje do Baltského moře Kladská Nisa (číslo povodí 2-04-04) a její četné přítoky – Bílá Voda, Hoštický, Javornický, Račí a Lánský potok.

Horní tok Moravy a Tiché Orlice, Lipkovský potok, Březná, Krupá a Branná a další menší potoky v oblasti jsou vyhlášeny vodohospodářsky významnými toky (Vyhláška MZ č. 333/2003 Sb.).

Celé území Orlicko-Sněžnického krystalinika je charakteristické hustou sítí prudkých potoků v hluboce zaříznutých údolích. Tyto drobné i větší vodoteče často odvodňují vrcholová rašeliniště, vyvinutá na plochých temenech horských hřbetů, nebo vyvěrají jako svahové prameny. Při bázi údolí drobnější vodoteče místy mizí v mocných sutích a projevují se zamokřením terénu v omezeně vyvinutých údolních nivách.

3.5 Hydrogeologie zkoumaného území

Z hydrogeologického hlediska náleží zájmové území do hydrogeologického rajonu číslo 64 - Krystalinikum Sudetské soustavy (Olmer a Kessl, 1990).

Západní část území, kde bylo měřeno pouze několik pramenů, náleží do rajonu číslo 642 - Krystalinikum Orlických hor. Tato hydrogeologická struktura je vyvinuta v metamorfovaných horninách, zastoupených ortorulami a migmatity jádra Orlicko-kladské klenby a dále svory, fylity, pararulami, kvarcity a amfibolity.

Východní část zkoumaného území spadá do rajonu číslo 643 - Krystalinikum Východních Sudet, děleného rozvodnicí Černého a Baltského moře na části číslo 643-1 - Krystalinikum sudetské soustavy v povodí pravostranných přítoků Kladské Nisy a v povodí Odry a číslo 643-2 - Krystalinikum sudetské soustavy v povodí horní Moravy.

Krystalinický komplex hornin Orlicko-kladské klenby je typickým příkladem hydrogeologického masivu, charakterizovaného jako zvrásněný jednokolektorový puklinový, v přípovrchové zóně zvětralin jako kombinovaný průlinovo-puklinový zvodnělý systém.

K doplňování zásob podzemní vody dochází přímou infiltrací srážkové vody. Hladina vody je většinou volná, přibližně konformní s reliéfem terénu. Kolektor je odvodňován četnými drobnými prameny v hluboce zaříznutých erozních údolích, větší akumulace sutí na úpatí svahů jsou často odvodňovány skrytými přírony do vodotečí. Z krystalinika pravděpodobně dochází k doplňování zásob křídových kolektorů kladského prolomu a východní části české křídové pánve (Müller, edit. 2000).

Aktivní proudění podzemní vody je soustředěno převážně v přípovrchové zóně rozpukání a rozvolnění hornin. Mocnost kolektoru a typ převládající porozity se lokálně mění podle složení hornin, stupně tektonického porušení masivu a morfologie území. Na morfologické pozici závisí též transmisivita prostředí - nejnižší je ve vrcholových partiích horských hřbetů, střední na svazích a maxima dosahuje transmisivita údolní. K výraznějšímu oběhu dochází pouze v tektonicky více postižených zónách a na jejich křížení. Oběh podzemní vody umožňují zejména pukliny a zlomová pásma směru sz-jv a některá násunová pásma (Müller, edit. 1997).

Transmisivita hornin krystalinika je převážně nízká, v řádu 10^{-5} m²/s (Olmer a Kessler, 1990).

V oblasti Králického Sněžníku jsou v omezené míře přítomny krasovo-puklinové kolektory vázané na vložky vápenců v horninách stroňské skupiny na české i polské straně masivu Králického Sněžníku. Při výchozech vápenců je v Polsku dokumentováno 14 vyvěraček, v údolí Moravy 12 (prameny Blom-Blom, Mléčný, Lom, Jeskyně, pramen pod Patzeltovou jeskyní a další). Rozsah proudění v krasovém systému byl stopovacími zkouškami prokázán v regionálním měřítku - z povodí potoka Klesnica (ponor Bialy Kamien) na severní straně Králického Sněžníku proudí voda do povodí Moravy (pramen Blom-Blom a Tvarožné díry) a Krupé (Stříbrnický potok), napříč evropskou rozvodnicí (Ciezkowski et al. 1993).

Oblast Králického Sněžníku a hlavního hřebene Rychlebských hor je v rámci Českého masivu vyjímečná vysokým dlouhodobým specifickým odtokem podzemní vody výrazně převyšujícím 10 l/s/km². Poměr odtoku podzemní vody a srážek, vyjádřený dlouhodobým koeficientem odtoku podzemní vody, představuje maximum v Českém masivu hodnotou převyšující 20 procent (Krásný et al. 1981).

Vysoké roční srážkové úhrny mimo vegetační období v kombinaci s nízkou evapotranspirací ve vrcholových částech Orlicko-kladského krystalinika jsou předpokladem pro výrazné zvodnění hydrogeologického masivu. Odtok srážek i jejich infiltrace jsou příznivě ovlivněny velkou lesnatostí terénu. Z těchto důvodů byly v oblasti orlicko-sněžnické klenby vyhlášeny Chráněné oblasti přirozené akumulace vod - CHOPAV Orlické hory a CHOPAV Žamberk-Králíky (nařízení vlády ČSSR 40/1978 a 10/1979), do nichž spadá celé území Orlických hor, Mladkovské vrchoviny, oblast Králického prolomu po Červenou vodu a rozsáhlá oblast masivu Králického Sněžníku řekami Morava a Branná. Severní hranici tohoto chráněného území tvoří státní hranice s Polskem.

Z hlediska původu jsou vody Orlicko-kladského krystalinika charakterizovány jako atmosférogenní petrogenní vody vadózního původu. Jejich chemické složení je ovlivněno hydrolyzou silikátových hornin, vzhledem k předpokládanému rychlému oběhu a malé chemické reaktivitě hornin je však jejich celková mineralizace velmi nízká (0,05 - 0,1 g/l) (Müller, edit. 1997).

Podzemní vody krystalinika orlicko-sněžnické klenby lze charakterizovat chemickým typem Ca-HCO₃-SO₄, celková mineralizace se pohybuje kolem 0,2 g/l. Ortoruly a migmatity mají mineralizaci nižší, kolem 0,1 g/l a chemický typ CaMg(Na)-HCO₃-SO₄. Od 60. do 90. let došlo k výraznému zhoršení kvality podzemních vod Orlického krystalinika - nárůst koncentrací dusičnanů a pokles obsahu iontů HCO₃ (Čurda, 1992).

V okolí Mladkova vyvěrají ze sněžnických ortorul a migmatitů radioaktivní prameny (Olmer, Kessler, 1990). Pramen knížete Rostislava s aktivitou až 1350 Bq/l a vydatností kolem 0,3 l/s je nejaktivnější. Voda s celkovou mineralizací 0,07 g/l je chemického typu CaNa-NO₃HCO₃.

3.6 Geologické poměry

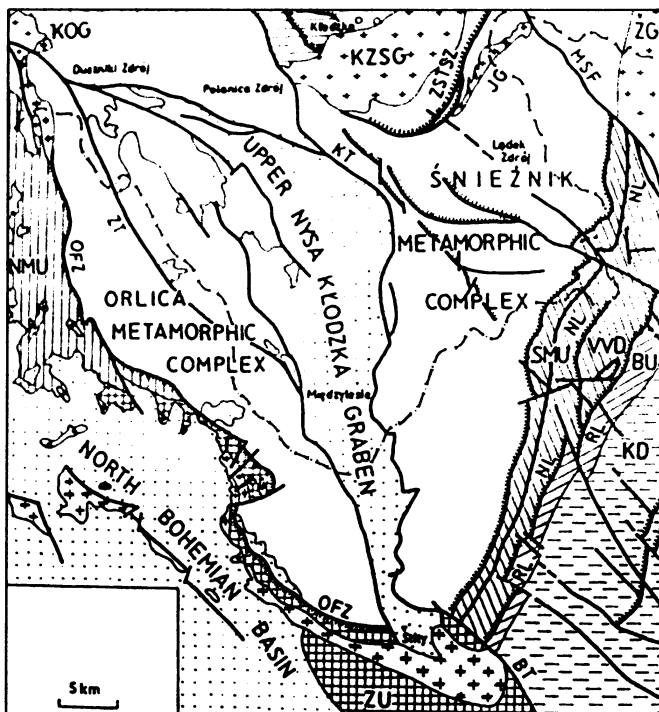
Oblast orlicko-sněžnické klenby (též nazývané orlicko-kladská klenba, sněžnická klenba, orlicko-kladské krystalinikum) je jednou z geologicky nejsložitějších oblastí Českého masivu. Představuje nejvýchodnější část lugika, na východě sousedící s horninami silezika (Cymerman 1997).

Horniny krystalinika orlicko-sněžnické klenby jsou rozděleny svrchnokřídovou sedimentární výplní Kladského prolomu na západní část (Orlické hory) a východní část (masiv Králického Sněžníku) (Müller, edit. 1997, 1999, 2000, 2003).

Jádro orlicko-sněžnické klenby, řazené k moldanubiku, je tvořeno spodními mlynovskými pararulami, navazujícími mladšími sněžnickými granitickými rulami a migmatity a lemováno horninami stroňské skupiny. Na našem území jsou nejrozšířenější sněžnické ortoruly.

Obal orlicko-sněžnické klenby je tvořen pásy metamorfovaných vulkano-sedimentárních hornin, řazených k bohemiku a od ortorul orlicko-sněžnické klenby oddělených orlicko-sněžnickým zlomem (orlická strukturální diskordance, orlická porucha). Jsou to jednotky kłodzská na severu, novoměstská na západě, zábřežská na jihu a staroměstská na východě. Dále na východ jsou nýznerovským nasunutím odděleny horniny skupiny branné a velkovrbenské klenby a ramzovským nasunutím horniny keprnické klenby, řazené již k sileziku.

Z hlediska tektonicko-metamorfního vývoje celé oblasti byl



Obrázek 1: Regionálně geologické jednotky (Cymerman 1997)
jednotky: Orlica metamorphic complex - krystalinikum Orlických hor, Sněžnik metamorphic complex - krystalinikum masivu Králického Sněžníku, Upper Nysa Klodzka Graben - kladský prolom
 NMU-novoměstská skupina, ZU-zábřežská skupina, SMU-staroměstská skupina, VVD-velkovrbenská klenba, KD-keprnická klenba, JG-javornické granitoidy, ZG-žluovský granit, KGSG-kłodzko-zlatostocké granitoidy
tektonické linie: OFZ-orlická porucha, BT-bušínský zlom, RL-ramzovské nasunutí, NL-nýznerovské nasunutí, MSF-okrajový sudetský zlom, ZT-zielenický zlom, KT-krosnowický zlom

dříve přijímán model oddělených navazujících fází, založený na studiu geometrie strukturních prvků. Podle současných studií zaměřených na kinematiku deformací se oblast vyvíjela komplexně, kontinuální progresivní deformací spojenou s rotačně-duktilními procesy. Největší vliv na formování krystalinického komplexu měla starokaledonská, mladokaledonská, variská a saxonská orogeneze. Porušenými zónami pronikaly do starších hornin variské granitoidy - javornický granodiorit, staroměstské tonality a v Polsku klodzko-zlatostocké granitoidy (Opletal 1997).

3.6.1 Tektonika

Horniny stroňské skupiny tvoří v Orlických horách tři synklinoria (západní - Říček, centrální - Zakletého a východní neratovsko-kunštátské), oddělená mírně zvlněnými ortorulovými antiklinorii upadajícími k severu (západní - Říček, centrální - Orla a východní - Spalona-Mladkov). Řada směrných hranic mezi synklinorii a antiklinorii je tektonická. Zda se jedná o násunové zlomy, kerné přesmyky nebo horizontální posun není jasné (Müller, edit. 2000).

Významnou linií je olešnicko-uhřínovský přesmyk, oddělující stroňskou skupinu od novoměstské. Jihovýchodně od Rokytnice v Orlických horách je tato porucha nahrazena starší tektonickou linií, podle níž se mladší obalové jednotky (novoměstská, zábřežská a staroměstská) nasouvají na horniny jádra orlicko-sněžnické klenby. Důkazem je lem mylonitizovaných hornin stroňské skupiny, obklopující ze západu i východu celou orlicko-sněžnickou klenbu.

Významným regionálním zlomem ve východní části území je plečská porucha, probíhající v několika větvích od Hanušovic ke Starému Městu. Jejím pokračováním je pravděpodobně přesmyk Kletna, probíhající z polského území přes Hraniční horu ke Střibnici, kde se horniny jádra orlicko-sněžnické klenby nasouvají na obalovou staroměstskou jednotku (Müller, edit. 1997).

Východní okraj staroměstského krystalinika je nasunut na silezikum velkovrbenské klenby podél dislokační zóny ramzovského pásma, široké až 1 km.

Pozdně variského stáří jsou mohutné radiální zlomy, představované často svazky paralelních a navazujících zlomů. Podél nich docházelo během mesozoika a kenozoika ke kolísavým vertikálním pohybům a denudaci v řádu až několika kilometrů. Některé zlomy byly vyhojeny žilnými vyvřelinami nebo křemenem, jiné byly oživeny alpinskou orogenezí. Aktivita těchto zlomů pokračuje přes terciér po recent, což dokládají intruze bazaltů a výskyty termálních a minerálních pramenů vázané na tyto zlomy (Opletal 1997).

3.6.2 Geologický vývoj oblasti

Přehled často velmi odlišných názorů na vznik a vývoj hornin orlicko-sněžnické klenby podrobně zpracoval Opletal (1997).

Nejstaršími horninami oblasti jsou sedimenty mlynovské a stroňské skupiny (stáří vend, rifej a spodní kambrium), které byly v končící kadomské fázi progresivně metamorfovány a zvrátněny na pararuly, svory a amfibolity (Opletal 1997). Západní Sudety byly součástí východní Avalonie, která na pomezí kambria a ordoviku při uzavírání Tornquistova oceánu kolidovala s Baltikou za vzniku aktivního kontinentálního okraje.

Během subdukce hornin Baltiky, jejichž stáří se pohybuje mezi 1340 a 1870 Ma (Nd izotopy - Kröner, 2001), došlo v poměrně krátkém období na hranici kambria a ordoviku (515 až 502 Ma - U-Pb datování zirkonů) k metamorfóze sedimentárních hornin Avalonie a intruzím granitoidů - protolitů ortorul jádra orlicko-sněžnické klenby (Kröner, 2001).

Výrazný nárůst mocnosti kontinentální kůry v důsledku akrece na kontaktu litosférických desek a intruzí granitoidů vedl k ponoření celého horninového komplexu do svrchního pláště a rozsáhlé regionální metamorfóze (P/T podmínky 700°C a 10 kbar nebo 750-850°C a 6-8 kbar, Opletal 1997). Granitoidy jsou metamorfovány na ortoruly a migmatity, tvořící dnešní jádro orlicko-sněžnické klenby, horniny obalu jsou znovu metamorfovány (Cymerman 1997). K této etapě došlo krátce po 500 Ma, v jejím závěru intrudovaly žilné mikrogranity, jejichž stáří je 492 Ma (Kröner, 2001).

Později dochází v transtenzním režimu (Cymerman 1997) k výzdvihu celé oblasti, zvětrávání a denudaci hornin a usazování platformních sedimentů. Pravděpodobně před počátkem variských orogenních procesů (390-315 Ma, Opletal 1997) došlo k intruzím plutonických hornin - od gabra přes tonality po kyselé granity, místy s vyvinutou kontaktní aureolou. Tyto intruze jsou provázány retrogradní metamorfózou, projevující se s různou intenzitou v celé orlicko-sněžnické klenbě (Kröner 2001). Ke konci této etapy intrudovaly žilné lamprofyry. Tyto žíly pronikají všemi typy hornin, místy vytvářejí kontaktní aureoly a jsou nejmladšími magmatickými horninami celé orlicko-sněžnické klenby. Názory na zařazení této etapy ke kaledonskému nebo již variskému orogénu se různí (Opletal 1997).

Oživením starších tektonických struktur eoalpinskými pohyby je založena česká křídová pánev. Od konce křídý jsou platformní sedimenty deformovány v důsledku alpské (saxonské) orogeneze. Formuje se asymetrická hrásťová stavba Orlických hor a vznikají výrazné synklinální a antiklinální struktury.

Na současné stavbě orlicko-sněžnické klenby se kromě starších směrných zlomů významně podílejí zlomy sudetského směru (sz-jv) vzniklé oživením tektonických pohybů po Coniacu. Jsou to zejména zlomy okrajový sudetský, bělský, bušínský, olešnicko-uhřínovský, dále labský a oderský lineament, které jsou odrazem významné tektonické linie Tornquist-Teyseyra. Aktivita těchto zlomů pokračuje přes terciér po recent, což dokládají intruze bazaltů a výskyty termálních a minerálních pramenů vázané na tyto zlomy (Opletal 1997).

V terciéru pokračuje eroze reliéfu a denudace zvětralin. Místy vznikají v miocénu nevelké jezerní pánve, vyplněné jílovitými písky a štěrky. V kvartéru pokračuje intenzivní eroze, alterace hornin a zpětná eroze vodních toků, především v tektonicky porušených liniích. Vzniká říční síť podobná současné.

3.6.3 Geologické jednotky

Stroňská skupina

Stroňská skupina (pojmenovaná podle města Stronie Śląskie v Polsku, dříve Seitendorf) je tvořena svory a pararulami s vločkami kvarcitů, grafitických břidlic, grafitických kvarcitů, amfibolitů a krystalických vápenců a představuje svrchní část jádra orlicko-sněžnické klenby. Celková mocnost hornin stroňské skupiny může podle některých studií dosahovat až 6000 metrů (Don 1976).

Protolitem hornin stroňské skupiny jsou marinní jíly a slíny, podmořské hřbety vulkanitů a útesy vápnitých slínů a vápenců svrchního proterozoika až středního kambria (600-550 Ma). Ve středním kambriu (515 Ma) byly tyto horniny zvrásněny a metamorfovány starokaledonským vrásněním na svory, pararuly, amfibolity a mramory.

Skupina je dělena na dva oddíly - spodní šedé svory a svrchní zelené svory, oddělené pestrým souvrstvím s kvarcity, krystalickými vápenci, dolomity, grafitickými svory a místy amfibolity a porfyroidy. Minerální asociace křemen-staurolit-biotit-albit-amfibol je výsledkem progradní metamorfózy v amfibolitové facii.

Charakteristickými horninami spodního oddílu jsou dvojslídne albitické svory a feldspatizované, místy prokřemenělé dvojslídne až biotitické ruly. Vyskytují se v jihozápadním sousedství ortorul Orlických hor, v okolí Suchého vrchu, v jádrech

překocených antiklinál v údolí Moravy v okolí Hanušovic a v jihovýchodním sousedství ortorul Králického Sněžníku. Jejich kontakt s ortorulami je tektonický, násunového charakteru, místy se vsunutými ultrabaziky (Müller, 1999).

Nadložní pestré souvrství je souborem vložek amfibolitů, dolomitických mramorů, kvarcitů a grafitických svorů ve svorech svrchního oddílu v centrálním pruhu v Orlických horách (synklinorium Zakletého) a v pásu severně od Králík, tvořícím západní křídlo Králického Sněžníku. Toto souvrství, dosahující mocnosti několika desítek metrů (max. 300 m), tvoří překocenu izoklinální synklinálu v ortorulách, s východním ramenem často přetrženým směrným zlomem. Podložní ortoruly jsou odděleny tektonicky, nadložní ortoruly mají se svory intruzivní kontakt. Vzniká tak doškovitá až šupinovitá stavba celé oblasti.

Svrchní oddíl stroňské skupiny se vyskytuje v synklinoriu Zakletého a neratovsko-kunštátském, které tvoří východní svah Orlických hor. Je tvořen chlorit-muskovitickými a albitickými svory, místy s polohami hornin ortorulového vzhledu.

Horniny stroňské skupiny byly během středního až svrchního kambria ponořeny do hloubek až 15 km, zvrásněny a metamorfovány. Během následného výzdvihu a uvolňování intrudovaly v krátké době mezi kambriem a ordovikem (cca 500 Ma) kyselé granity, středně až hrubě zrnité, často porfyrické. V průběhu pozdějších orogenních fází z těchto granitů vznikly ortoruly, budující převážnou část masivu Orlických hor a Králického Sněžníku.

Ortorulový komplex-sněžnické a gieraltovské ortoruly

Protolitem ortorul jádra orlicko-sněžnické klenby jsou granity blízké rumburskému granitu, které na hranici mezi kambriem a ordovikem (cca 500 Ma) intrudovaly do metamorfovaných hornin stroňské série. Tento komplex byl později progresivně metamorfován a zvrásněn (kaledonská, možná i variská fáze) za vzniku příkrovové stavby. Metamorfózou vznikaly ortoruly a migmatity.

Ortoruly orlicko-sněžnické klenby jsou děleny na dva typy - hrubozrnné, často porfyrické ortoruly sněžnické a drobnozrnné, zrnito-plástevnaté ruly gieraltovské (dříve gersdorfské).

Složení obou typů je granitické, velmi podobné, pouze s malými variacemi obsahu hlavních, vedlejších i stopových prvků (Lange 2005). Modelované stáří hornin, jejichž tavením vznikly protolity ortorul, se pohybuje mezi 1200-1700 Ma pro gieraltovské a mezi 1500-1600 Ma pro sněžnické ortoruly (souhrnně 1400-1600 Ma, Lange 2005). Ke stejným výsledkům došel Kröner (2001), který zkoumal ortoruly Orlických hor (stáří 1400-1700 Ma). Oba autoři připouští možnost částečného přimíšení juvenilního materiálu. Stáří protolitu bylo určeno shodně pro oba typy mezi 515-502 Ma (Kröner 2001).

Sněžnické a gieraltovské ortoruly jsou pouze texturními variacemi téhož protolitu, terénní pozorování dokazují kontinuální přechod mezi oběma typy.

Vliv variských tektono-metamorfních procesů na ortoruly jádra orlicko-sněžnické klenby je předmětem diskusí. Lange (2005) uvádí možnou migmatitizaci ortorul, spojenou s částečnou rejuvenací Rb-Sr systému variskými procesy, kolem 340 Ma. Z datování slíd vyplývá stáří ochlazování systému mezi 342-334 Ma pro oba typy ortorul v západní i východní části orlicko-sněžnické klenby. V období 325-320 Ma docházelo ke stříhovým pohybům v malém i velkém měřítku.

Sněžnické ortoruly

Sněžnické ortoruly jsou hrubozrnné, často porfyrické, většinou silně tektonicky postižené a chloritizované. Z původních granitů se přes metagranity vyvíjejí zrnito-plástevnaté až plástevnaté ortoruly, na příčném řezu páskované. Ruly jsou načervenalé, místy připomínají stlačené pegmatitické granitoidy. Textura hrubozrnného granitu je místy přepracována do podoby okatých rul (Grzeškowiak 2006).

Hlavní minerály jsou křemen, mikroklin, kyselý plagioklas, biotit, muskovit a akcesorický granát. Křemen, mikroklin a slídy se vyskytují v podobě protažených monominerálních zrn - metagranity. Dynamickou rekrystalizací vznikly do značné míry separované vrstvy křemene, živců a slíd s vtroušenými porfyroklasty, dodávající ortorulám typický páskovaný vzhled. Porfyroklasty (místy až 10 cm) jsou představovány zejména růžovým až bílým K-živcem (mikroklin), méně křemenem, charakteristicky protaženým. Při větší intenzitě metamorfózy porfyroklasty zanikají, zrna K-živců jsou protažena do pásků a částečně rekrystalují.

Vzácně je zastoupen reliktní modrý křemen, dokládající protolit podobný hrubozrnnému granitu rumburského typu.

Okatá textura ortorul je způsobena růstem porfyroblastů světlých minerálů v narůžovělých hrubozrnných biotitických ortorulách s vyvinutou mylonitickou foliací. „Oka“ jsou polyminerální, tvořená K-živcem, křemenem, plagioklasem, někdy též biotitem. Porfyroblasty okatých rul, narozdíl od porfyroklastů páskovaných rul, vyrůstají nepravidelně, podélně i příčně vůči protažení původních zrn. Uspořádání porfyroblastů je zonální, s K-živcem v jádru, obaleným vrstvou plagioklasu a křemene, který přechází v okolní zrna.

Sněžnické ortoruly jádra orlicko-sněžnické klenby se vyskytují ve dvou pruzích hlavního hřebene Orlických hor od Velké Deštné k jihu až jihovýchodu, od sebe oddělených pásem hornin stroňské skupiny parasérie Zakletého. Pruh sněžnických ortorul pokračuje mezi obcemi Vrchní Orlice a Neratov k polskému Medzilesie a dále k jihu Lichkovu, tvoří hřeben Bouda - Suchý vrch - Jeřáb a pokračuje na jih téměř ke Štítům.

Tento západní výskyt ortoruly je křídovou výplní Kladského prolomu oddělen od východní části, kde se sněžnické ortoruly vyskytují v širokém pruhu, ohraničeném na západě obcemi Bílá Voda a Králíky a údolím Moravy, na jihu a východě obcemi Písařov, Křivá Voda, Vysoká, Stříbrnice a Nová Seninka. Pruh pokračuje mezi vrcholem Králického Sněžníku a Kladským sedlem do okolí Kletna v Polsku, kde se sněžnické ortoruly komplikovaně střídají s gierałtowskými rulami a horninami stroňské skupiny. Dále pokračují pruhy ortorul jádra orlicko-sněžnického krystalinika k severovýchodu do Rychlebských hor.

V Rychlebských horách se ortoruly jádra orlicko-sněžnické klenby vyskytují v pásu od kóty Špičák po kótu Jelen. Na severovýchodě jsou horniny krystalinika odděleny významnou tektonickou linií okrajového sudetského zlomu od pleistocénních a holocénních sedimentů Vidnavské nížiny v linii Uhelná - Horní Hoštice.

V Rychlebských horách je do sněžnických ortorul včleněn úzký pás granulitů nejasné geneze. V pruhu širokém jen 0,5 km od Račího údolí k jihozápadu se vyskytují granulitické ruly, světlé granulity a pyroxenické granulity. V okolí hradu Rychleby se vyskytují v úzkém pruhu aplitické ruly a ruly s xenolity amfibolitů.

Gierałtowské ruly

Drobnozrnné, dvojslídne ruly gierałtowské (nazývané podle obce Gierałtow, dříve Gersdorf v polském Kladsku) jsou světle šedé až narůžovělé, jemnozrnné až střednozrnné, více i méně usměrněné. Přecházejí ze zrnito-šupinatých do šupinatých páskovaných typů s dobře oddělenými proužky slíd a světlých minerálů. Místy jsou tyto ruly tenče laminované až zvrásněné, migmatitového vzhledu.

Gierałtowské ruly se vyskytují jižně od sněžnických ortorul v pruhu od údolí Zdobnice přes Říčky, Horní Rokytnici, Barotšovice a České Petrovice k Mladkovu a rozšiřují se v okolí Těchonína mezi Nekoří a Výprachticemi.

Jednotky obalu orlicko-sněžnické klenby

Staroměstská skupina

Staroměstská skupina a pásmo Hraničné představují obalové jednotky Orlicko-

sněžnického krystalinika a vyskytují se v prostoru mezi sněžnickými ortorulami a horninami skupiny Branné a Velkovrbenské. Charakter obou kontaktů je tektonický, násunový se středním až strmým úklonem k západu. Také hranice mezi jednotlivými pruhy hornin (biotitické a svorové pararuly, paleoryolity, erlánové ruly, biotitické svory, fylony svorového vzhledu a mramory) staroměstské skupiny a pásma Hraničné jsou násunové, doprovázené vsunutými tělesy ultrabazik.

Amfibolity staroměstské skupiny jsou geochemicky příbuzné s podobnými horninami na západním okraji Orlických hor. Amfibolity různého vzhledu, od jemnozrných po gabroamfibolity, jsou produkty metamorfózy bazaltů oceánského dna. Polohy kyselých metavulkanitů vznikly diferenciací ze stejného vulkanického zdroje.

Obalová jednotka Orlicko-sněžnického krystalinika obsahuje též pruhy granitoidů od biotitických granodioritů přes amfibolicko-biotitické granodiority až po amfibolické křemenné diority pravděpodobně vázané již na počátek variského cyklu. Těmito horninami místy pronikají mladší biotitické granity, v jejichž okolí vznikly periplutonní metamorfózou perlové až migmatitické ruly.

Zábřežská skupina

Zábřežská skupina, představovaná masivními jemnozrnými, deskovitě odlučnými biotitickými a dvojslídými rulami, místy s polohami grafitických svorů, kvarcitů a kyselých metavulkanitů, hraničí na jihozápadním okraji Orlických hor s pruhem stroňské série podél významné tektonické linie označované jako olešnicko-uhřínovský přesmyk. V blízkosti granitoidů přecházejí ruly periplutonní metamorfózou na perlové až migmatitické ruly, podobně jako ve staroměstské skupině. Ve větším rozsahu se horniny zábřežské skupiny vyskytují jižně od Štítů (Opletal, 1980).

Novoměstská skupina

Novoměstská skupina na západním okraji Orlických hor je olešnicko-uhřínovským kerným přesmykem oddělena od stroňské skupiny. Typickými horninami jsou různé typy fylitů, na styku s horninami stroňské skupiny bazické a kyselé metavulkanity. Stáří těchto hornin je nejisté, pravděpodobně svrchnoproterozoické.

Fylity se vyskytují zejména v údolí Metuje kolem Nového Města nad Metují, amfibolity s vložkami kyselých metavulkanitů v okolí Deštného v Orlických horách, Nebeské Rybné, Rokytnice a Klášterce v Orlických horách.

Nejmladšími magmatickými horninami v celé oblasti jsou nehojné žíly lamprofyrů (minety, alkalické mikrogranity a mikrosyenity), pronikající do hornin novoměstské, stroňské i sněžnicko-gierałowské skupiny v žilách max. 10 m mocných. Jsou zonální, s vyvinutým endokontaktem a místy i exokontaktem, což dokládá jejich intruzi v postmetamorfním období. Stáří intruze bylo určeno metodou U-Pb na zirkonech kolem 315 Ma (Kröner, 2001).

Křídová sedimentární výplň kladského prolomu

Sedimenty svrchní křídy vyplňují výraznou tektonickou depresi severojižního směru, nazývanou králický příkop (prolom) (Malkovský, 1977) a oddělují horniny krystalinika Orlických hor od krystalinika masívu Králického Sněžníku a Rychlebských hor a tím rozdělují zájmové území na západní a východní část.

Králický příkop je úzká propadlina s asymetrickou stavbou. Západní ohraničení je tektonické se strmým úklonem dislokační plochy, s hluboce zakleslým povrchem předkřídového reliéfu (-198,5 m n.m., vrt u Bořkovic). Východní okraj je v okolí Králík transgresivní, často kombinovaný s tektonickými poklesy. Generelní úklon křídových sedimentů je přibližně 20° k západu. Vrtným průzkumem byla v okolí Bílé Vody u Štítů

zjištěna mocnost křídových sedimentů až 800 metrů (báze sedimentární výplně cca -300 m n.m.) (Valečka, 1988).

Sedimentární výplň příkopu je porušena západně od Králík směrným zlomem sz-jv směru s poklesem západní kry o 250 až 500 metrů. Při východním okraji příkopu byla v úseku mezi Králíky a Heřmanicemi zjištěna řada zlomů východo-západního směru s pokleslými severními krami. U Prostřední Lipky je dokumentován přesmyk hornin krystalinika přes sedimenty křídý (Krutský, 1974).

V severní části příkopu nasedají na nerovný krystalinický podklad spikulitové slínovce bělohorského souvrství (spodní turon), sedimenty jizerského souvrství (střední turon) jsou zastoupeny slínovci a spikulitovými slínovci s hojnými glaukonitickými horizonty a fosfáty ve svrchních partiích (Čurda et al., 1997). Vrtem u Králík bylo jizerské souvrství zastíženo v příbojové facii s rudistovou faunou v organodetrilitických vápencích. Hlavní část křídové výplně králického příkopu tvoří pelitické horniny teplického a březenského souvrství (mocnost v západní části až 700 m), oddělené polohou silicifikovaných vápnitých jílovců rohateckých vrstev. Březenské souvrství má regresivní charakter s flyšoidní facii, tvořenou vápnitými pelity s vložkami pískovců (santon).

Sedimenty české křídové pánve lemují jihozápadní okraj krystalinika Orlických hor. Sedimenty perucko-korycanského souvrství (cenoman) vyplňují deprese předkřídového reliéfu, jejich mocnost dosahuje maximálně 20 metrů, složení je značně proměnlivé. Nadložní bělohorské souvrství je představováno pevnými spongilitickými prachovitými slínovci (opuky) s mocností 35-90 metrů. Jizerské souvrství je plošně omezeno do okolí Žamberka a představováno slínovci mocnosti kolem 80 metrů. Ve střední části souvrství se vyskytuje poloha glaukonitických pískovců (Müller, edit. 2000).

Plošně omezené reliikty sedimentů perucko-korycanského souvrství jsou zachovány u Čiháku, Ostrova a Bartošovic u hranic s Polskem.

Terciér

Terciérní fluviální sedimenty se vyskytují v celém podhůří Orlických hor a Králického Sněžníku (Prosová, 1974). Miocénní až pliocénní jíly, písky a štěrky jsou morfologicky vázány na reliikty neogenního paleoreliéfu v nadmořských výškách 450 až 600 metrů. Sedimenty netvoří terasové stupně, jsou zachovány jako denudační reliikty a soliflukčně rozvlečené zbytky.

Větší akumulace miocénních sedimentů představují jílovité až jílovito-písčité vrstvy se slojkami lignitu v okolí Uhelné a Bílého potoka, kde dosahují mocnosti místy až 300 metrů (kryté kvartérem).

Kvartér

Štěrkovité sedimenty v reliiktech terasových akumulací při tocích Moravy, Branné a Krupé jsou stáří středního až svrchního pleistocénu, podobně jako sedimenty na periferii králického paleoreliéfu (Prosová, 1974).

K pleistocénnímu vývoji náleží balvanité sutě a kamenná moře ve vrcholových partiích Králického Sněžníku a Orlických hor, vznikající mrazovým zvětráváním.

Větší akumulace pleistocénních sedimentů se vyskytují na severovýchodním okraji zájmového území jako uloženiny kontinentálního ledovce (Čurda et al., 2003). Jedná se o glaciofluviální písky a štěrky mocnosti až 25 metrů, s četnými valouny pazourku a granitů baltského štítu. Méně mocné, ale plošně rozšířené jsou smíšené deluviální, eolické a glaciofluviální sedimenty a proluviální netříděné písčité až kamenité štěrky a materiál plochých výplavových kuželů na úpatí Rychlebských hor. Fluviální terasovité sedimenty větších mocností jsou v několika stupních přítomny v údolí Bělé a Vidnávky.

Na většině území horských partií krystalinika převládá denudační režim, akumulace

holocénních sedimentů jsou malé. Výraznější akumulace jsou přítomny pouze v rozšířených údolích jako písčité, hlinité až šterkovité nivní sedimenty, případně jako deluvio-fluviální polycyklické kamenité a hlinitokamenité sedimenty při úpatích svahů (Čurda et al., 2003).

Holocénní fluviální šterkopísky a hlíny místy tvoří drobné terasovité akumulace v údolích větších vodních toků. Splachové deprese jsou často vyplněny deluvio-fluviálními hlinitými nebo jílovito-písčitými sedimenty.

Ve vrcholových partiích v okolí Králického Sněžníku se místy vyskytují vrchovištní rašeliniště s humolity (rašelina).

3.6.4 Uranové zrudnění a mineralizace v orlicko-sněžnické klenbě:

V oblasti orlicko-sněžnické klenby byla objevena uranová ložiska Javorník (Zálesí) a Jelení vrch a rudní výskyty Říčky, Kamenec, Nebeská Rybná, Bílá Voda, Sklené, Velká Morava, Klášterec nad Orlicí a Letovice (Stárková, Zrůstek 1976).

Nejvýznamnější výskyty uranového zrudnění a jediná těžená ložiska v oblasti orlicko-sněžnické klenby se nacházejí v západní části Rychlebských hor. Ložisko Javorník (Zálesí) bylo objeveno emanačním průzkumem v roce 1957 a těženo v letech 1959-1968. Ložisko se nachází v travensko-landeckém pásmu stroňské série v nadloží sněžnických ortorul. Bylo zde dobýváno 23 žil převážně směru S-J, s křemeno-karbonátovou výplní a uranovým a měděným zrudněním a dvě rudní tělesa - silně podrcené zóny v amfibolitech a prokřemenělých svorech na styku s prokřemenělými krystalickými vápenci. Zrudnění bylo vyvinuto od povrchu do hloubky cca 200 m, kde rudní struktury vyklíňují (Kafka, edit. 2003).

Mineralizace na ložisku Zálesí je velmi pestrá. Z uranových minerálů se zde vyskytují uraninit, coffinit, uranové černě, uranové slídy a řada dalších sekundárních minerálů uranu. V uranových rudných žilách byly rovněž zjištěny chalkopyrit, Ni-Co arsenidy, hematit, galenit, sfalerit, ryzí Bi a ryzí Ag. Žilnou výplň tvoří křemen, karbonáty a v menší míře i fluorit. Ve střední části ložiska se nachází též Cu-zrudnění vázané na rozpukané těleso krystalických vápenců a amfibolicko-kalcitických břidlic. V kalcitové a křemenné žilovině se vyskytují minerály Cu - převážně chalkopyrit, méně chryzokol, malachit a bornit (Kafka, edit. 2003). Stáří uranového zrudnění bylo na ložisku stanoveno - Fojt et al. (2005) uvádějí chemické stáří uraninitu 161 Ma (průměr 16 analýz).

Za relativně krátkou dobu těžby ložiska bylo vydobyto veškeré bilanční zrudnění, celkem 405 tun uranu. Cu zrudnění bylo ohodnoceno jako nebilanční.

Menší vytěžené ložisko Jelení vrch, geochemicky podobné ložisku Zálesí, je vázáno na svory a biotitické rohovce s vložkami erlanů v horninách stroňské skupiny. Hlavní část zrudnění je vázána na křemeno-karbonátové žíly směru 120°, strmě ukloněné k jihozápadu. Rudním minerálem je smolinec a sekundární minerály uranu, dále byl zjištěn chalkopyrit, pyrit, galenit, sfalerit, arsenopyrit a další minerály.

Rudní výskyt Kamenec ve svorech stroňské parasérie pruhu Zakletého je představován dvěma tektonickými zónami směru 160-180° se sklonem 30-50° k západu, mocnými až 5 metrů, vzdálenými od sebe 50 až 70 metrů. Uranové zrudnění je vázáno na četné drobné odžilky mezi těmito zónami, hlavní rudní složkou jsou uranové černě, méně jsou zastoupeny uranové slídy a smolinec. Zrudnění bylo zjištěno až do hloubky 100 metrů. Dále je zastoupen pyrit, hematit, galenit a vzácně i chalkopyrit. Žilnou výplň tvoří křemen, karbonáty, fluorit, vzácně baryt.

Rudní výskyt Říčky na vrchu Zakletý v pruhu stroňské parasérie je tvořen několika mylonitizovanými zónami se zvýšenou gama aktivitou, makroskopicky byly zjištěny pouze povlaky uranových černí na karbonátech v jedné ze zón. Vrty bylo uranové zrudnění zastíženo až do hloubky 312 m, dále byly zjištěny křemeno-karbonátové hydrotermální žíly

s pyritem, limonitem, galenitem, chalkopyritem a fluoritem. Na povrchu terénu byly nalezeny balvany silně prokřemenělých ortorul, prosycených uranovými slídkami s relikty smolince.

Další rudní výskyt byl zjištěn u Nebeské Rybné, ve dvou tektonicky mylonitizovaných pásmech směru přibližně SV-JZ, s nepravidelnými tělesy a hnízdy uranových slídk.

Rudní výskyt Bílá Voda se nachází v nadloží javornického granodioritu ve svorech, svorových rulách a pararulách s vložkami kvarcitů, krystalických vápenců a amfibolických rul. Zrudnění je vázáno na strmě ukloněnou strukturu východo-západního směru, a je představováno smolincem. Další mineralizaci představuje hematit, pyrit, chalkopyrit, galenit a arsenopyrit.

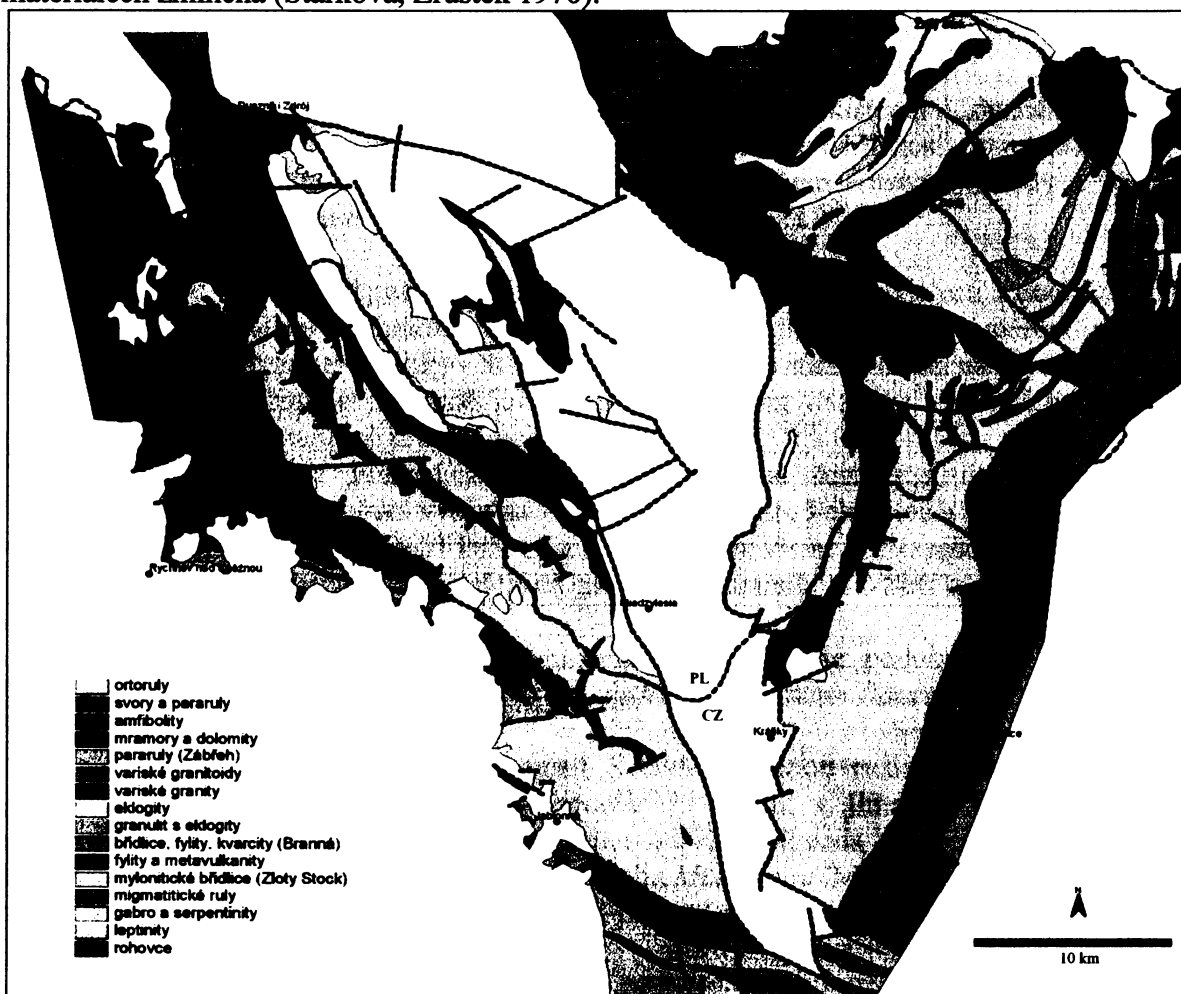
Rudní výskyt Sklené se nachází ve sněžnických ortorulách, v nichž jsou vyvinuty dvě struktury severojižního směru, téměř svislé, obohacené sekundárními silikáty a fosfáty uranu. Nevelké zrudnělé čočky byly vytěženy během průzkumných prací. Dalšími minerály jsou galenit, pyrit, markazit a arsenopyrit.

Ve sněžnických ortorulách je vyvinut též rudní výskyt Velká Morava. Na dislokaci směru 150° upadající strmě k JZ jsou ve 20 cm mocné mylonitizované výplni přítomny uranové slídky.

U Klášterce nad Orlicí byl zjištěn jediný výskyt uranové mineralizace v horninách zábřežské série. Ve svorových rulách s vložkami amfibolitů je zde vyvinuta asi 5 cm mocná dislokace, vyplněná tektonickou brekcií s limonitem, silikáty a slídkami uranu.

Drobný výskyt uranových slídk byl zjištěn u Letovic.

Aktivita radonu ve vodách zastižených při průzkumných pracích není v dostupných materiálech zmíněna (Stárková, Zrůstek 1976).



Obrázek 2: Zjednodušená geologická mapa orlicko-sněžnického krystalinika (upraveno podle Cymerman 1997, Opletal 1980)

4. Prozkoumanost území – zaměření na radioaktivitu

4.1. Nejstarší měření aktivity pramenů

Měřením radioaktivity pramenů v českých pohraničních horách se již od roku 1912 zabýval Dr. Alois Wagner, středoškolský profesor z Bohosudova. Nejvíce měření v oblasti Orlických hor a Kralického Sněžníku provedl v letech 1924 - 1933 (Wagner 1942). Lokalizace pramenů a korelace naměřených aktivit je obtížná vzhledem k nepřilíživému popisu polohy, udávané v dobových německých názvech a často vztažené ke jménu majitelů domů a statků.

Wagner předpokládal zvýšenou radioaktivitu vod v granitech kolem Žulové, podobně jako v západních Sudetech. Při měření v této oblasti v roce 1929 zjistil však pouze velmi slabou radioaktivitu pramenů, maximálně 6 Macheových jednotek (MJ), tj. 81 Bq/l.

Při návštěvě lázni Ladek Zdrój měřil lázeňský pramen *Geogrsquelle* - v bazénu 60 MJ, tj. 810 Bq/l, přímo v místě vývěru 200 MJ, tj. 2 700 Bq/l.

Wagner měřil také prameny zásobující Králíky pitnou vodou, maximální aktivitu zjistil u pramene č. 16 - 69,9 MJ, tj. 943 Bq/l; zásobovací pramen v Červené Vodě - 37,6 MJ, tj. 507 Bq/l, v Moravském Karlově pramen *Bauerquelle* - 30 MJ, tj. 405 Bq/l. V Mladkově byl měřen pramen na *Mühlbergu* (Mlýnský vrch nad Mladkovem), radioaktivita 98,5 MJ, tj. 1 330 Bq/l.

Dále se Wagner zabývá měřením radioaktivity pramenů v Orlických horách. V Rokytnici v O.h. a blízkém okolí bylo změřeno 40 pramenů, všechny s nízkou aktivitou. V Koutech byla zjištěna aktivita až 47 MJ, tj. 630 Bq/l. Ve Velké Zdobnici Wagner popisuje celkově vyšší aktivitu pramenů - 9 pramenů mezi 20-50 MJ a dva silnější: 55 a 80 MJ, tj. 742 a 1080 Bq/l. Prameny nejsou blíže lokalizovány.

V souvislosti s radioaktivitou Wagner vysvětluje existenci „ducha studánek“ (*Brunnengeist*): Skutečnost, že voda má léčivé vlastnosti pouze v blízkosti pramene a ztrácí je během transportu a skladování, je způsobeno rychlým únikem emanace z vody a krátkým poločasem rozpadu pro emanaci (neuvádí, že se jedná o radon).

Od roku 1927 měřil radioaktivitu pramenů v moravských Sudetech i doc. Dr. Josef Holluta (Vysoké učení technické Brno). V roce 1928 provedl čtrnáct měření v oblasti ohraničené přibližně městy Králíky - Štítý - vesnicí Podlesí a státní hranicí na severu.

Poloha pramenů je podobně jako u prací Wagnera uváděna v místních dobových názvech. Lokalizace pramenů je proto velmi obtížná.

V okolí vesnice Podlesí měřil Holluta přibližně šestinu z čtrnácti pramenů, vyvěrajících v různé nadmořské výšce na svazích vrchů Jeřáb, Pohořelec a Bouda. Maximální radioaktivita 50,0 MJ, tj. 675 Bq/l byla zjištěna v prameni *Beim Futterschopfen* na severním svahu *Steinbergu* (Kamenáč). Radioaktivita ostatních pramenů v Podlesí a okolí se pohybuje mezi 150-350 Bq/l (10 pramenů).

Radioaktivita pramenů v okolí Moravského Karlova je podobná, 90 - 270 Bq/l (4 prameny). Maximální radioaktivita byla zjištěna v prameni *Bauerquelle* v horní části Karlova: 64,1 MJ, tj. 865 Bq/l.

V oblasti Kralického Sněžníku zjistil Holluta zvýšenou radioaktivitu v pramenech *Adelheidquelle*, *Marchquelle* a *Milchbornquelle*. U Králík v jímacím území kralického vodovodu v prameni č. 14, známém jako *Marienquelle*, jehož voda byla tradičně považována za léčivou. V Mladkově byl měřen pramen na svahu *Mühlbergu* (Mlýnský vrch) jihovýchodně od železniční stanice, pravděpodobně pozdější Pramen knížete Rostislava.

Tabulka 3: Radioaktivita vybraných pramenů (Holluta 1929)

Pramen	radioaktivita		teplota	vydatnost	poznámka
	[MJ]	[Bq/l]	[°C]	[l/s]	
<i>Adelheidquelle</i> Adélin pramen	20,0	270	4,9	0,11	
<i>Marchquelle</i> pramen Moravy	61,5	830	4,2	0,08	měřena voda z jímký
<i>Milchbornquelle</i> Mléčný pramen	3,6	48	5,4	27	voda proplyněná, mléčný zákal; vydatnost jaro 1928: 39 l/s
<i>Marienquelle</i> Mariánský pramen	99,8	1 347	6,8	1,85	tři prameny svedené do jímací šachty
<i>pr. na Mühlbergu</i> Šalamoun a Karolína	100	1 350			vývěr později sveden k cestě jako pramen knížete Rostislava

Dále byl měřen pramen *Eschenbergerquelle*, nedaleko *Walkmühle*, radioaktivita 34,1 MJ, tj. 460 Bq/l. Tento pramen se nepodařilo lokalizovat.

Holluta shrnuje své poznatky o radioaktivitě pramenů takto:

- prameny s nižší teplotou, menší vydatností a menší celkovou mineralizací vykazují větší radioaktivitu,
- nejvíce radioaktivní jsou prameny vyvěrající přímo ze skály v červených a šedých rulách nebo ze zvětralých červených rul, v ostatních horninách a suťových pramenech je radioaktivita nízká,
- výsledky měření radioaktivity pramenů jsou ovlivněny větrem, vzdušnou vlhkostí a srážkami, chyba měření a výpočtů činí přibližně 10%.

V textu *Minerální prameny ve Slezsku* se o radioaktivních pramenech zmiňuje Rudolf Jirkovský (1953). Na západním svahu Jeseníků, v okolí Severomoravské chaty měřil několik pramenů - radioaktivní pramen I, několik kroků od chaty, krytý stříškou, voda jímána do nádrže. Radioaktivita 13,5 MJ, tj. 182 Bq/l, teplota 5,5°C. Radioaktivní pramen II, na lesní cestě nad chatou, nad pramenem věžička s nápisem *Leopold Grabner Quelle, Renoviert 1897*. Radioaktivita 42,88 MJ, tj. 578 Bq/l. Třetí pramen, pod chatou v lese, s aktivitou 46,37 MJ, tj. 625 Bq/l se nepodařilo lokalizovat.

Jetel a Rybářová (1979) se v knize *Minerální vody Východočeského kraje* zmiňují o výskytu poměrně běžných, ale rozptýlených a nestálých pramenů radioaktivních vod, v oblasti Orlických hor zejména v Mladkově. V roce 1939 byl navržen podrobnější průzkum pramenů a jejich úprava pro balneologické využití radonové vody. V roce 1947 byly zahájeny práce na zachycení pramene ve stráni nad nádražím, označovaném jako pramen *Republika*, v místě plánované lázeňské budovy.

Nejaktivnějším z Mladkovských pramenů (max. 1300 Bq/l) je pramen nad cestou, asi 800 m jihovýchodně od nádraží. Pramen vyvěrá z terénních rýh v lese asi 100 metrů nad cestou, k ní je sveden trubkou, vyústěnou do pomníčku s označením *Pramen knížete*

Rostislava. Pramen byl hojně využíván k pití zájemci z širokého okolí, perspektiva většího využití je však vzhledem k poměrně nízké aktivitě malá (Jetel, Rybářová, 1979).

Radioaktivitu vod v polské části orlicko-sněžnické klenby zkoumal Tadeusz Andrzej Przylibski z Technické univerzity ve Wroclawi (Przylibski 2000, 2004a, 2004b, 2005). Vody s nejvyššími koncentracemi rozpuštěného radonu byly nalezeny v lokalitách Kamienica (štola Śnieżnik - 2381 Bq/l), Świeradów Zdrój (pramen MSC-4 - 2245 Bq/l), Szklarska Poreba (pramen č. 1 - 1850 Bq/l), Ladek Zdrój (pramen Jerzy - 1780 Bq/l). Zvýšené aktivity radonu jsou vázány převážně na vývěry velmi slabě mineralizovaných vod z rul svrchního proterozoika.

4.2 Průzkum radioaktivních surovin (ČSSR)

Systematický vyhledávací radiologický průzkum radioaktivních surovin byl v oblasti Orlicko-sněžnické klenby prováděn „Krkonošskou průzkumnou skupinou - K III“ - od roku 1954, kdy byl zahájen auto-gama průzkum ve velmi řídké síti a rekognoskační gama průzkum v měřítku 1 : 50 000 a 1 : 25 000. Ohraničení ploch průzkumu není přesně známo. Současně byly v celé oblasti prováděny hydrogeologické průzkumné práce na ploše cca 200 km² (Stárková, Zrůstek 1976, sine 1960)

V letech 1954-55 byl proveden emanační průzkum v měřítku 1 : 5 000 v novoměstských fylitech a gama průzkum v okolí Říček, Deštné, Zdobnice a Kamence. V jižní části Orlických hor byl proveden emanační průzkum ve stejném měřítku mezi Kláštercem nad Orlicí, Čenkovicemi a hranicí s Polskem a gama průzkum mezi Jamným, Těchonínem a Lichkovem a v okolí Klášterce.

V roce 1955 byl v zalesněné horské části Králického Sněžníku, jižně od Malé Moravy a v úseku Sklené proveden povrchový gama průzkum (1 : 5 000) a emanační průzkum do hloubky 1 metru.

Oblast Rychlebských hor byla pokryta emanačním průzkumem do 1 metru v měřítku 1 : 25 000 a 1 : 5 000, některé části i gama průzkumem v letech 1956-58. Výsledkem bylo objevení ložiska Javorník (Zálesí) v západní části Rychlebských hor. Emanačním průzkumem v měřítku 1 : 2 500 bylo později pokryto okolí Bílé Vody, Jeleního vrchu, Bílého Potoka, Travné, Zálesí a Horních Hoštic.

V roce 1958 byl prováděn emanační průzkum v měřítku 1 : 25 000 v zábřežské sérii, v oblasti Červenohorského sedla a Žulovského masivu; v měřítku 1 : 5 000 a 1 : 1 000 v oblasti staroměstské synklinály. Elektroprůzkumné práce byly zahájeny na ložisku Zálesí a byla provedena karotáž vrtů na úsecích Zálesí a Mladkov.

Emanační a gama průzkum do hloubky 2 metrů byl v roce 1962 proveden v okolí Travné, Jeleního vrchu a Horních Hoštic.

Později, v letech 1963-65, bylo gama průzkumem v jamkách v měřítku 1 : 5 000 a 1 : 2 500 pokryto širší okolí Králík a území mezi Janoušovem a Podlesím, mezi Hanušovicemi a Novou Seninkou a vrcholová část Králického Sněžníku.

Auto-gama průzkumem 1 : 25 000 byl v letech 1961-65 pokryt jihozápadní okraj Orlických hor a křída kladského prolomu s přilehlými částmi krystalinika Orlických hor a Králického Sněžníku a javornická neogenní pánev a přilehlá část Rychlebských hor.

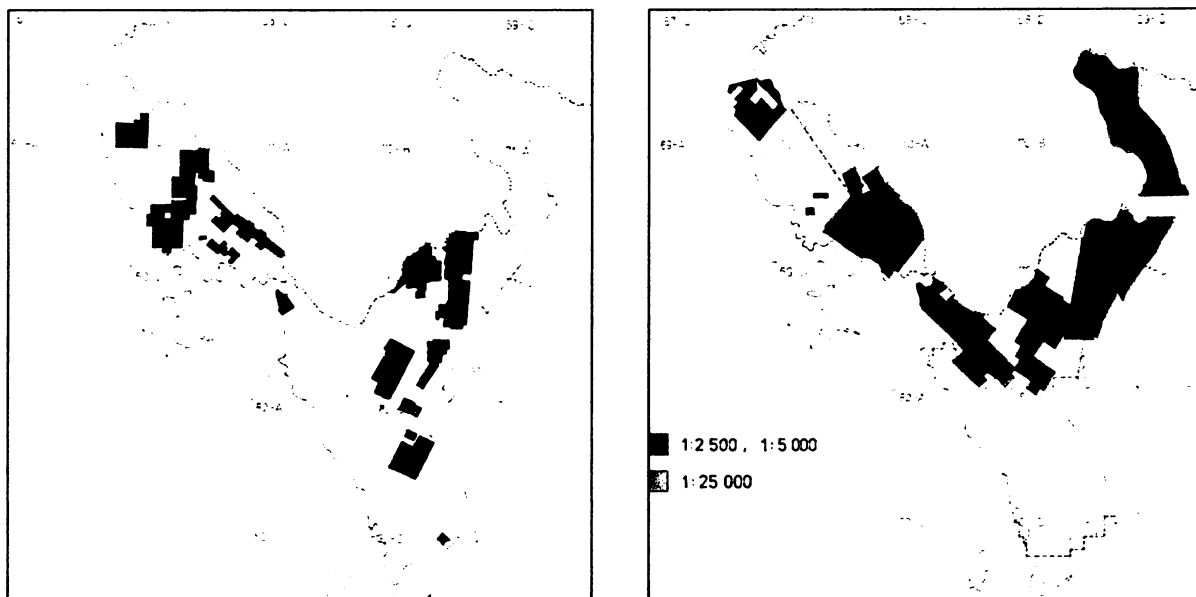
Emanační i gama průzkum v měřítku 1 : 5 000 byl prováděn v síti 50 x 5 m, anomálie byly detailizovány v měřítku 1 : 500 (sítě 10 x 2,5 m).

V rámci průzkumu radioaktivních surovin byl od roku 1959 používán geoelektrický průzkum, zejména pro vyhledávání příznivých geologických struktur a ověřování radiometrických anomálií. Byly použity metody kombinovaného profilování, nízkofrekvenční

metoda (TURAM), a v omezeném rozsahu i metoda spontánní polarizace. Průzkum probíhal v měřítku 1 : 10 000 a 1 : 5 000, měřeno bylo na profilech vzdálených 100 nebo 50 metrů s krokem 20 nebo 10 metrů.

Geoelektrickým průzkumem byly měřeny skupiny anomálií severně od Velkého Uhřínova, šest anomálií u obce Kunčina Ves, v okolí Nebeské Rybné, na lokalitách Kamenec, Říčky a Klášterec nad Orlicí. Nízkofrekvenční metoda (TURAM) byla použita k objasnění strukturních poměrů v oblasti anomálií severně od Stříbrnice. Další průzkum geoelektrickými metodami proběhl na lokalitách Jelení vrch, Zálesí, Travná, Hoštice a Bílá Voda.

Celkově bylo v oblasti Orlicko-kladské klenby do roku 1965 zjištěno 871 radiometrických anomálií. Z nich bylo 487 zařazeno do sněžnických rul, 232 do stroňské série a velkovrbenského pásma, 14 do staroměstského svorového pásma, 37 do masívů v orlicko-kladské klenbě, 35 do novoměstských fylitů, 39 do zábřežské série a 4 do letovického krystalinika. Z celkového počtu zjištěných anomálií je 249 čistě radonového typu. Do roku 1965 bylo hornickými pracemi ověřeno 158 anomálií (Stárková, Zrůstek 1976).



Obrázek 3: Prozkoumanost území orlicko-sněžnické klenby (Stárková, Zrůstek 1976):

a) Plochy měřené gama průzkumem v jamkách v měřítku 1:2500 a 1:5000

b) Plochy měřené emanační metodou do hloubky 1 m v měřítku 1:2500, 1:5000 a 1:25000

4.3 Radiohydrogeologický průzkum v rámci vyhledávání radioktivních surovin

V období srpen - říjen 1957 bylo v oblasti Orlicko-kladské klenby provedeno hydrogeologicko - radiologické mapování (Macák 1957). Celkově bylo zmapováno území o rozloze cca 600 km², z toho 60 km² detailně. Bylo odebráno a analyzováno 2 100 vzorků, z toho 610 vzorků vod na obsah uranu, 604 na aktivitu radonu, 80 na obsah radia ve vodě, 616 na krátký chemický rozbor vody a 200 vzorků zemin. Za anomálie byly považovány vzorky vod s obsahem uranu od 5 µg/l a radonu od 20 MJ, tj. 270 Bq/l.

V úseku Stříbrnice bylo na ploše 7 km² odebráno 29 vzorků na západním i východním svahu hřbetu severně od Stříbrnice. Bylo zjištěno 14 anomálních koncentrací uranu (1 vzorek 150 µg/l, 6 vzorků desítky µg/l, 1 vzorek 7,5 µg/l a 6 vzorků 5 µg/l) a 19 anomálních koncentrací radonu - 55 až 183 MJ, tj. 742 až 2470 Bq/l.

Macák (1957) konstatuje nápadný nepoměr mezi koncentrací uranu a radonu v různých částech úseku Stříbrnice. Na západním svahu se s vyšší koncentrací uranu zvyšuje

i koncentrace radonu, na mírnějším východním svahu je tomu naopak. V severní části je vyšší koncentrace radonu proti uranu. Macák tento jev vysvětluje zónou obohacování podzemní vody radioaktivními prvky ve vyšší nadmořské výšce v prostoru plochého temene hřbetu, nehluboko pod povrchem terénu, a případným dalším obohacováním v zóně sekundárního zrudnění v pokryvných útvarech. Některé anomálie byly ověřovány rovněž průzkumnými rýhami, obsah radonu i uranu ve vodách roste při postupu do hloubky.

Macák předpokládá pokračování linie aktivních pramenů jižně od Stříbrnice, jižně od kóty 865 m - Leč. Hřbet Sušiny, západně od aktivního hřbetu, žádné zvýšení aktivity nevykazuje.

V okolí Mladkova Macák popisuje několik silnějších anomálií, převážně radonových. Východně a západně od vesnice Německé Petrovice prameny s aktivitou radonu 20-70 MJ, tj. 270 až 945 Bq/l, jižně od Lichkova anomálie 20-50 MJ, tj. 270 až 675 Bq/l, další anomálie 2 km západně od Červené Vody až 80 MJ, tj. 1 080 Bq/l. Jižně od Mladkova byly zjištěny tři prameny s maximální aktivitou 60 MJ, tj. 810 Bq/l. V prameništi Oldříšského potoka, přítoku Tiché Orlice, byl v pravé pramenní větvi odebrán vzorek s aktivitou 85 MJ, tj. 1 147 Bq/l a 2 µg/l uranu. Dále byly měřeny parametry pramene Moravy - radon 82 MJ, tj. 1 107 Bq/l, uran 5 µg/l.

V oblasti Šumperk - Štítý nebyla zjištěna žádná anomálie radonu, a pouze jedna podle obsahu uranu (5 µg/l).

Podle výsledků chemických analýz jde o vody mělkého oběhu, slabě mineralizované (max. 100 mg/l), s převažujícími ionty Na^{2+} a HCO_3^- a v menší míře zastoupenými ionty SO_4^{2-} a Cl^- . Teplota vody odpovídá průměrné roční teplotě vzduchu, kolísá podle ročního období s mírným časovým posunem maxima a minima. Vydutnost pramenů je nestálá, závisí na aktuálním množství srážek a nasycení pokryvných útvarů.

V jarním, letním a podzimním období roku 1958 byl na lokalitě Stříbrnice prováděn podrobný radiologicko - hydrogeologický průzkum v prostoru hřbetu severně od Stříbrnice od kóty Steinhübel (970 m) přes kótu Leč (865,5 m) a dále k jihu k Hynčicím pod Sušinou (Macák 1959).

Celkem bylo odebráno 190 vzorků vod pro stanovení obsahu uranu, 34 vzorků pro stanovení radia, 190 vzorků pro chemický rozbor. Dále bylo odebráno 128 vzorků zemin v síti 50x50 metrů. V říjnu a listopadu bylo odebráno 44 kontrolních vzorků.

Macák (1959) odlišuje severně od Stříbrnice tři výškové stupně mělkých lokálních zvodní - nejvyšší v prostoru plochého temene hřbetu, s drobnou retenční schopností a částečně vyrovnávající výkyvy v množství srážkové vody, která je jedinou dotací této zvodně. Mocnost zvětralín zde činí 1,5 až 2 metry. Druhým stupněm je zvodeň na úrovni vrstevnice 860 m, kde plochá vrcholová partie přechází v prudký svah do údolí na západní i východní straně hřbetu. Z této lokální zvodně vychází na povrch četné prameny, všechny přibližně v nadmořské výšce 850 m. Nejnižší stupeň v údolí potoků, představujících lokální erozní báze, je značně omezen morfologií údolí, větší aluviální niva vznikla pouze na dolním toku Stříbrnického potoka a říčky Krupé.

Všechny analyzované vzorky svědčí o mělkém oběhu podzemní vody - velmi malou celkovou mineralizací (15-100 mg/l, průměr 30 mg/l) a teplotou vody odpovídající průměrné roční teplotě vzduchu. Macák (1959) uvádí dobu zdržení srážkové vody v podzemním prostředí maximálně 3 až 4 dny. Chemické složení vod není jednotné, převládajícím aniontem je HCO_3^- , ale vyskytují se zde i vody se zvýšeným obsahem síranů a chloridů. Převládajícími kationty jsou Na^+ a Ca^{2+} .

Zvětralé ruly svým složením neumožňují výraznější nabohacení podzemní vody minerálními látkami, vody všech chemických typů se však snadno obohacují radioaktivními prvky.

Obsah uranu ve vodě se pohybuje od 0,5 do 100 µg/l. Přirozené pozadí obsahu uranu ve vodě v širším okolí činí přibližně 1 µg/l, v anomální oblasti 20 µg/l. Vzorků přesahujících hodnoty pozadí bylo zjištěno 11.

Obsah radia ve vodách byl zjištěn od $1,29 \times 10^{-13}$ do $6,7 \times 10^{-10}$ g/l, průměrně 1×10^{-11} g/l (34 vzorků). Tyto koncentrace odpovídají aktivitám v rozmezí od $4,8 \times 10^{-3}$ Bq/l do 24,8 Bq/l, průměrně 0,37 Bq/l.

Aktivita radonu se pohybuje od 0 do 140 MJ, tj. 0 - 1 890 Bq/l.

Na západním svahu hřbetu Steinhübel lze vymezit několik výškových pásem vývěřů podzemní vody - prameny v nejvyšším pásmu (860-840 m n.m.) mají nižší obsah radioaktivních prvků. V druhém pásmu (830-820 m n.m.) se vyskytují suťové prameny s vyšším obsahem radioaktivních látek - uran průměrně 10 µg/l, radium 2×10^{-11} g/l. Druhé pásmo pozvolna přechází do pásma nejnižšího (800-790 m n.m.), s četnými drobnými prameny a bažinami. Vody tohoto pásma zahrnují většinu nejvyšších zjištěných obsahů radioaktivních prvků (Macák 1959).

Příčinou obohacení vod radioaktivními prvky v nejnižším pásmu může být skutečnost, že tyto prvky jsou ve vodě přítomny v jemné suspenzi vázané na organické látky (rašelinu). Při kontrolním odběru byly vzorky filtrovány a zjištěné obsahy uranu byly nižší.

Pro ověření této teorie byl proveden laboratorní pokus, během něhož byly destilovanou vodou vyluhovány rozpráškované zeminy se známým obsahem uranu. Vzorky, které nebyly před analýzou filtrovány, vykazovaly výrazně vyšší koncentrace uranu (až 9 µg/l) než vzorky filtrované (filtr s bílou páskou) (max. 1 µg/l).

Při dalším pokusu byly destilovanou vodou vyluhovány šterkovité úlomky ortorul ze Stříbrnice. Během několika týdnů vzrostl obsah uranu ve vodě až na 9 µg/l.

Dále byly zjišťovány obsahy radioaktivních látek ve vybraných povrchových vodotečích. Po proudu potoků dochází k mírnému zvyšování obsahů uranu i radia, pravděpodobně díky postupnému přirou aktivnější vody do povrchových toků.

Průzkum zemin byl proveden v síti 50x50 metrů ruční vrtanou soupravou, do hloubek 60-120 cm (do vrstvy hrubých zvětralin). Obsah uranu v horninách se pohybuje od 30 do 80 ppm (Macák 1959). Tyto hodnoty jsou však pravděpodobně analyticky přeceněny, při vyhledávání pramenů v roce 2005 nebyly zjištěny intenzity gama záření odpovídající takto vysokým koncentracím uranu v zeminách.

Na základě tohoto průzkumu Macák předpokládá uložení zóny nabohacování vod radioaktivními prvky nehluboko pod povrchem, patrně v přípovrchovém pásmu rozpojení hornin. Může se jednat o primární uranové zrudnění, Macák však připouští i možnost, že zdrojem radioaktivity vod mohou být pouze zvětraliny, obsahující snesený radioaktivní materiál, případně sekundární zrudnění (nálezy trobernitu a beta-uranopilitu). Primární zrudnění se mohlo vyskytovat ve vyšších partiích původního horského hřebene, dnes již značně erodovaného. Sekundární zrudnění v sutích může být reliktem již neexistujícího ložiska, nebo jen hojného výskytu uranových slíd v hornině.

V roce 1965 byl v oblasti orlicko-sněžnické klenby proveden další vyhledávací průzkum radioaktivních surovin (Nový, Hrubý, 1965). V území mezi Stříbrnicí, Kladským Sedlem, Starým Městem, Hanušovicemi a Janoušovem bylo gama průzkumem v jamkách a emanačním průzkumem v měřítku 1 : 5 000 zjištěno 65 anomálních bodů, z nichž 31 bylo detailizováno.

Podrobně zkoumané anomálie jsou protaženy ve směru S-J až SSZ-JJV, s intenzitou gama záření 50-270 µR/h a emanací 50 až 250 Eman, tj. 185 kBq/m³ až 925 kBq/m³. Rýhami

bylo ověřeno sedm anomálií v okolí Stříbrnice a tři v okolí Podlesí.

V okolí Stříbrnice, kde bylo předpokládáno pokračování zrudnělých struktur od polského Kletna, byly rýhami odkryty drobné i mocné dislokace směru přibližně S-J, se sklonem 60° k západu. Během kutacích prací nebyl zjištěn nárůst aktivity do hloubky. Terén je zde pokryt balvanitou sutí mocnosti až 3 m, uranová mineralizace nebyla nalezena (Nový, Hrubý, 1965).

Při průzkumu byla použita též frekvenční metoda, kterou byly zjištěny anomálie vodivosti, odpovídající dislokacím severo-j jižního směru.

Ve vrcholové části Králického Sněžníku bylo gama průzkumem v jamkách zjištěno 17 anomálních bodů s intenzitou 50-250 $\mu\text{r/h}$, vázaných převážně na radioaktivní prameny.

Závěrečná zpráva o vyhledávacích pracích na radioaktivní suroviny v oblasti Orlických hor (Preclík 1967) popisuje několik skupin radiohydrochemických anomálií:

- skupina anomálií v okolí Mladkova a Petrovic: 10 anomálií s obsahem uranu až 75 $\mu\text{g/l}$ (vzorek severně od Petrovic na hranici s Polskem) a aktivitou radonu až 76 MJ, tj. 1 026 Bq/l (vzorek z údolí Petrovického potoka),
- skupina anomálií jižně od Lichkova: šest anomálií v pruhu 2 x 0,8 km, uran max. 10 $\mu\text{g/l}$, radon až 34 MJ, tj. 459 Bq/l,
- skupina anomálií v okolí Orliček: 7 anomálií severně a východně od Orliček, v prameništi potoka Orlička, uran max. 7,5 $\mu\text{g/l}$, radon 55 MJ, tj. 742 Bq/l,
- skupina anomálií v údolí Těchonínského potoka: 6 anomálií do 6 $\mu\text{g/l}$ uranu a 72 MJ, tj. 972 Bq/l radonu,
- skupina anomálií severovýchodně od Říček: 12 anomálií komplexního charakteru, hodnoty aktivity nejsou známy; čtyři z těchto anomálií jsou vázány na vývěry radioaktivní vody,
- čtyři vývěry vody se zvýšenou aktivitou v okolí Hadince a jeden vývěr radioaktivní vody mezi Hadincem a zlomem Čertova dolu.

Po roce 1965 nebyl dle dostupných údajů (archiv DIAMO, Geofond Praha) v oblasti orlicko-sněžnické klenby prováděn žádný další průzkum zaměřený přímo na radioaktivní suroviny ani radioaktivitu vod.

4.4 Databáze hydrogeologických objektů Geofond

V databázi hydrogeologických objektů Geofondu bylo pro oblast orlicko-kladské klenby zjištěno 54 objektů, v nichž byla měřena aktivita radonu ve vodě v rámci posouzení kvality podzemních vod.

Jediný objekt, vrt KSS-1 v Dolní Hedči splňuje limit pro radioaktivní minerální vody. Vrt hloubky 80,0 m byl vyhlouben v roce 1991 pro zásobování Státního statku Králíky pitnou vodou, není však využíván. Byla zjištěna aktivita radonu 4 590 Bq/l. Voda je slabě mineralizovaná (96,93 mg/l), typu Ca-Na-Mg-HCO₃-NO₃. Čerpací zkouškou byla zjištěna využitelná vydatnost vrtu cca 0,5 l/s, před zahájením čerpání byl změřen přetok 0,056 l/s (Zýma 1991).

Z ostatních objektů přesahuje aktivitu radonu 1 000 Bq/l pouze pramen Knížete Rostislava v Mladkově (1 370 Bq/l), a čtyři vrty dosahují aktivity mezi 500 a 1 000 Bq/l (lokality Zlatý Potok, Zdobnice a dva vrty v Říčkách).

Způsob odběru a měření aktivity radonu v těchto objektech není znám.

4.5 Databáze Státního úřadu radiační ochrany

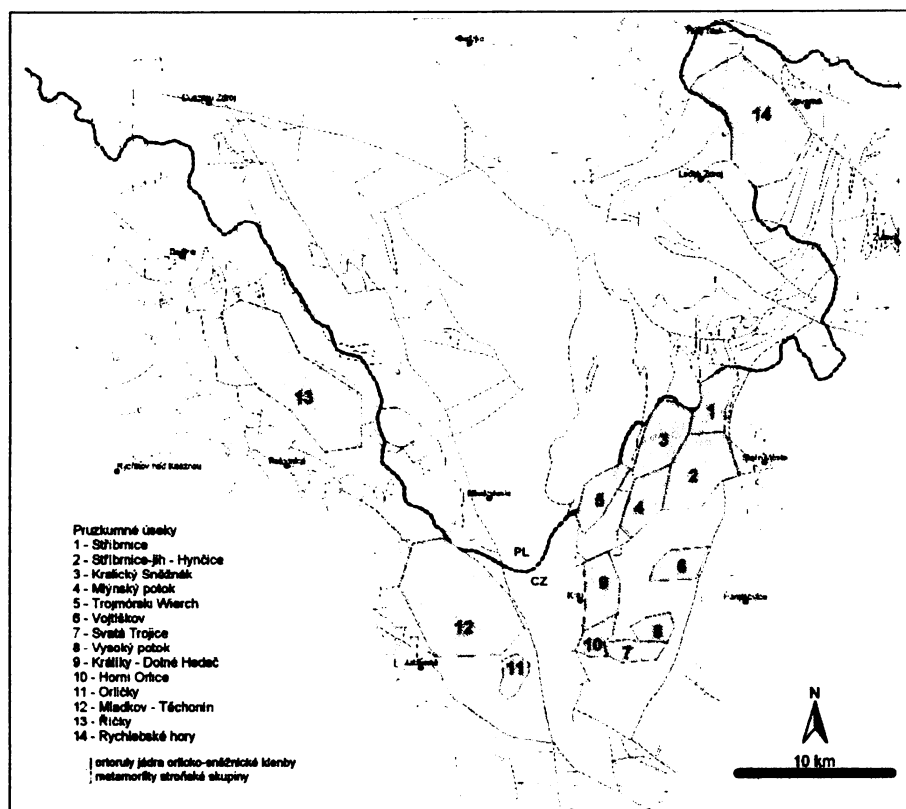
Státní úřad radiační ochrany (SÚRO) neeviduje z oblasti orlicko-sněžnické klenby žádná měření radioaktivity vod (ústní sdělení - Ing. Vlček).

5. Archivní rešerše radiometrických anomálií

V rámci rešerše dřívějších průzkumných prací byl v archivu Uranového průzkumu, s. p. DIAMO, o. z. Dolní Rožínka, prostudován katalog všech 871 radiometrických anomálií, zjištěných v oblasti Orlicko-sněžnické klenby při průzkumu radioaktivních surovin.

Jako perspektivní byly vybrány anomálie vázané na vodu, případně zjištěné v blízkosti lokálních vodotečí. Na základě prostorového rozložení skupin radiometrických anomálií v terénu byly určeny perspektivní úseky, v nichž proběhl detailní terénní průzkum radioaktivity vod (obrázek 4).

Charakteristika jednotlivých úseků s popisem anomálií a zjištěnými aktivitami radonu ²²²Rn je uvedena v kapitole 7.1 společně se zjištěnými výsledky terénních měření.



Obrázek 4: Mapa úseků radiohydrogeologického průzkumu

6. Metodika terénních prací provedených v roce 2005

6.1 Radiohydrogeochemický průzkum

Radioaktivita pramenů v oblasti Orlicko-sněžnické klenby byla mapována ve dnech 4. - 12. června 2005, v období vysokých stavů vody a vydatnosti pramenů po jarním tání bohaté sněhové pokrývky.

Jako podklady pro mapování byly použity mapy radiometrických anomálií jednotlivých perspektivních úseků v měřítku 1 : 50 000, plány detailizovaných anomálií a textové popisy anomálií ze starších průzkumných prací. Pro orientaci v terénu byly používány listy Základní mapy ČR v měřítku 1 : 10 000, turistické mapy oblasti v měřítku 1 : 50 000 (vydavatel Klub českých turistů) a geologická mapa oblasti v měřítku 1 : 50 000.

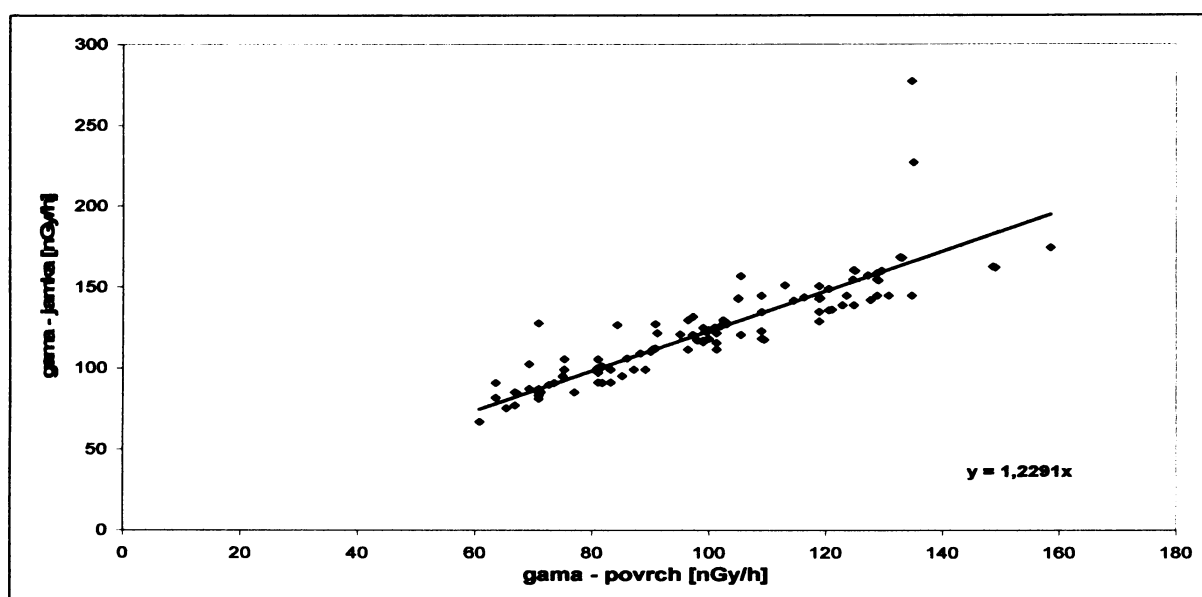
Celkově pracovaly v terénu tři skupiny vybavené radiometrem RP-11, přístrojem GPS, lahvemi pro odběr vzorků vody, mapami a popisy anomálií, zápisníkem a motykou.

Hlavním cílem mapovacích pochůzek bylo ověření známých (archiv DIAMO) radiometrických anomálií vázaných na vodu. Jejich přesná lokalizace byla často ztížena nebo

znemožněna nepříliš kvalitním provedením orientačních náčrtků u detailizačních map, případně jejich vztahem k nevhodným orientačním bodům (keř, hromada kamení, posed, atd.). Z tohoto důvodu bylo podrobně zkoumáno i blízké okolí radiometrických anomálií a měřena gama aktivita všech zjištěných pramenů a mokřin. Dále byly měřeny ostatní prameny a drobné dílčí přítoky vodotečí v jednotlivých průzkumných úsecích.

U každého pramene byla měřena aktivita gama ve vodě pramene a při zaboření sondy do sedimentu na dně pramene. V případě vývěru rozptýleného do širší bahnité tůňky byla měřena aktivita gama záření v celé ploše bažinky a bylo zkoumáno hloubkové rozložení gama aktivity.

Dále byla měřena aktivita gama ve vzdálenosti nejméně 5 metrů od vývěru pro určení gama aktivity okolního terénu (přirozené pozadí) - na povrchu terénu a v jamce hluboké 15 až 20 cm. Graf (obrázek 5) ukazuje výbornou korelaci mezi zjištěnými hodnotami intenzity záření gama přirozeného pozadí - intenzita měřená v jamce odpovídá 1,23-násobku intenzity gama záření měřené na povrchu terénu.



Obrázek 5: Graf intenzity dávkového příkonu gama záření přirozeného pozadí - korelace mezi intenzitou gama záření na povrchu terénu a v jamce hluboké 15-20 cm

Vydatnost pramenů byla určována odhadem.

Poloha pramenů byla zaměřena pomocí GPS přístrojů (souřadný systém WGS 84) a zanášena do listů Základní mapy ČR 1 : 10 000. Praměniště s více dílčími vývěry vody byla schématicky zakreslována do terénních zápisníků. Práce v terénu je zobrazena na obrázku 6.

Obrázek 6: Terénní radiohydrogeologický průzkum - práce s radiometrem RP-11 (indikační měření intenzity gama záření) a přístrojem GPS.

Foto Tomáš Lipanský



Měření dávkového příkonu aktivity záření gama bylo zvoleno jako indikační metoda pro zvýšenou aktivitu ^{222}Rn ve vodě pramenů z důvodu výrazně rychlejšího a operativnějšího stanovení v terénu - kontinuální akustická a optická indikace intenzity záření.

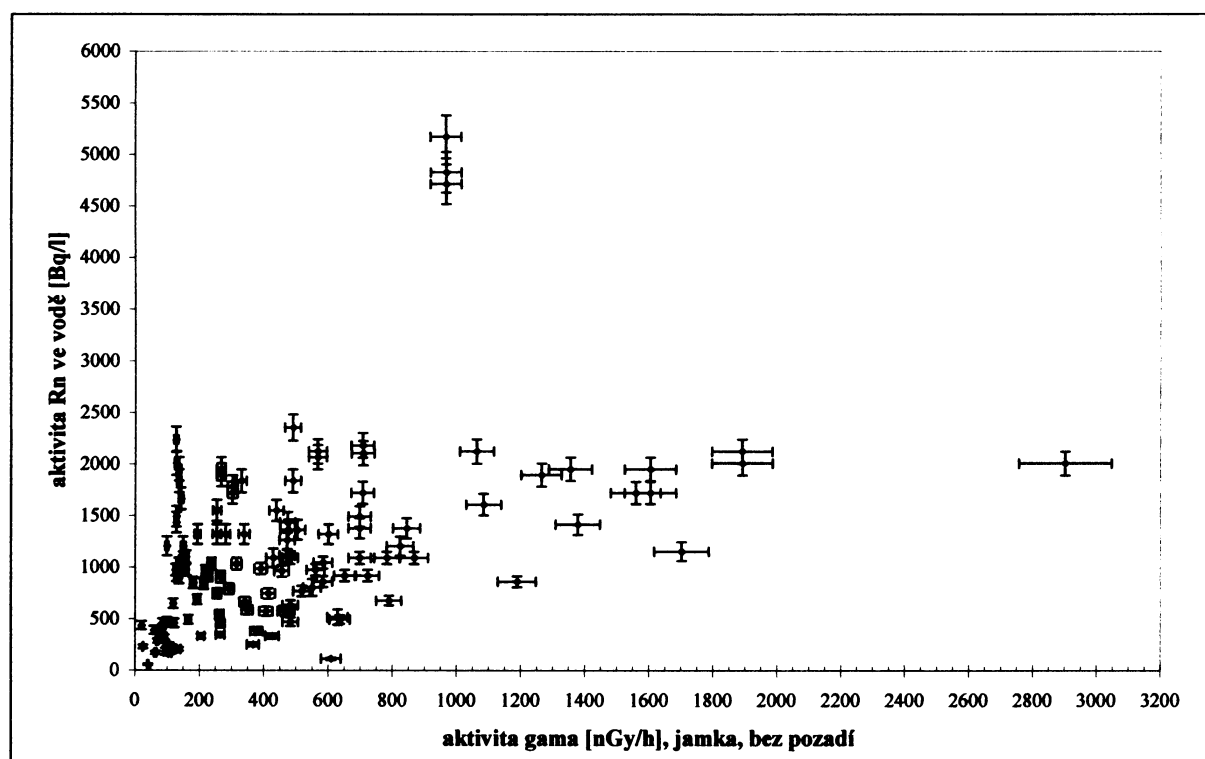
Ke zvyšování gama aktivity dochází akumulací krátkodobých dceřinných produktů rozpadu radonu (^{214}Pb , ^{214}Bi - gama zářiče) zejména v bahnitých sedimentech s velkým podílem organického materiálu, sorbujícího rozpadové produkty radonu.

Vyvěrá-li voda do bahnité tůňky s velkým množstvím hnojícího listí a jehličí nebo s porostem mechů, je zvýšení aktivity gama sedimentů výrazné, kontrastní proti přirozenému pozadí a velmi dobře korelovatelné s aktivitou radonu ^{222}Rn rozpuštěného ve vodě.

Nepříliš výhodné je použití indikačního měření záření gama u pramenů vyvěrajících přímo ze skalních výchozů nebo štěrkovitého eluvia podložních hornin, kde nedochází ke zdržení vody. Rychlý odtok vody od vývěru a nepřítomnost jemnozrnných a organických sedimentů výrazně omezuje možnost akumulace produktů rozpadu radonu. V tomto případě může i velmi malé zvýšení intenzity gama záření sedimentů v prameni proti přirozenému pozadí indikovat vodu se značnou aktivitou rozpuštěného radonu ^{222}Rn .

I přes výše zmíněné omezení je měření intenzity záření gama velmi spolehlivým a rychlým indikátorem zvýšené aktivity radonu ^{222}Rn ve vodě pramenů, jak dokládá korelace intenzity záření gama sedimentů na dně vývěru s objemovou aktivitou radonu rozpuštěného ve vodě - obrázek 7.

Popis přístrojů pro měření intenzity záření gama je uveden v kapitole 5.5.2.



Obrázek 7: Graf korelace objemové aktivity radonu ^{222}Rn ve vodě a dávkového příkonu gama záření v sedimentech pramene po odečtení přirozeného pozadí, všechny naměřené hodnoty.

V případě zjištění zvýšené aktivity gama v prameni proti přirozené aktivitě pozadí byla „in situ“ měřena aktivita ^{222}Rn ve vodě pramene, nebo byl z vývěru odebrán vzorek pro měření aktivity radonu po návratu na základnu ve Stříbrnici. Vzorky byly odebírány do skleněných lahví objemu 0,5 l s patentním uzávěrem, bez vzduchové bubliny.

Průzkumnými skupinami zjištěné vývěry vody se zvýšenou intenzitou záření gama nebo aktivitou radonu ve vzorku byly následně zkoumány revizní skupinou. Přímo v místě vývěrů byla měřena aktivita radonu emanometrem RP-25. Vývěry byly podrobně zkoumány, byla odhrabána povrchová vrstva sedimentů, v ideálním případě byl odhalen primární vývěr z podložní horniny. V průběhu kopacích prací byla průběžně odebírána voda a měřena aktivita radonu. Většina detailně zkoumaných vývěrů jeví zvýšení aktivity ^{222}Rn do hloubky, blíže k primárnímu vývěru.

Dále bylo revizní skupinou podrobně zkoumáno blízké okolí aktivních vývěrů a měřena intenzita záření gama a aktivita radonu v dalších zjištěných vývěrech vody, bažinkách a místech podmáčení terénu.

Revizní skupina dále prověřovala vývěry se zvýšenou intenzitou záření gama, nalezené průzkumnými skupinami, z nichž nebyl odebrán vzorek vody pro stanovení aktivity ^{222}Rn . Přímo v místě vývěru byla revizní skupinou měřena aktivita radonu a výše popsaným způsobem bylo prozkoumáno okolí perspektivního vývěru.

Způsob měření aktivity radonu ^{222}Rn přístrojem RP-25 je podrobně popsán v kapitole 6.3.1.

Celkem bylo zjištěno 193 pramenů a jejich dílčích přítoků se zvýšenou aktivitou gama proti aktivitě okolního terénu (přirozené pozadí).

Aktivita radonu ^{222}Rn byla měřena u 126 pramenů a jejich dílčích přítoků. Z celkového počtu byla zjištěna aktivita radonu vyšší než 1500 Bq/l u 20 pramenů (+ 6 jejich dílčích vývěrů). Maximální zjištěná aktivita radonu je 5 175 Bq/l - vrt KSS-1. Statistiku počtu měřených objektů a zjištěných hodnot shrnuje tabulka č. 5.

6.2 Vzorkování pramenů

V listopadu 2005 bylo provedeno kontrolní měření radioaktivity vybraných pramenů. Současně byly měřeny fyzikální parametry vod a odebrány vzorky pro laboratorní rozbor.

Měření předcházelo období výrazně nízkých srážkových úhrnů (září, říjen 2005, viz kapitola 3.3). V době vlastního terénního měření byla většina území již pokryta sněhem, nedošlo však k jeho tání. Proto lze považovat zjištěné vydatnosti pramenů za minimální a změřené aktivity radonu za odpovídající těmto minimálním průtokům.

Prameny pro kontrolní měření a odběry vzorků byly vybrány na základě výsledků měření aktivity radonu v červnu 2005. Základním kritériem výběru byla aktivita ^{222}Rn větší než 1500 Bq/l, bylo měřeno i několik pramenů s aktivitou v rozmezí 1350 - 1500 Bq/l s cílem zjistit ovlivnění aktivity radonu vydatností pramene. Dalším kritériem byl poměr aktivity radonu ve vodě a aktivity gama v prameni - měřeny a vzorkovány byly prameny se zvýšenou gama aktivitou při nízké aktivitě radonu, s cílem zjistit obsah radia ^{226}Ra ve vodě. Do vzorkování a měření byl zahrnut též pramen KS-10, známý jako Mléčný pramen - krasový pramen, u něhož však byla zjištěna relativně vysoká aktivita radonu a relativně velmi vysoká aktivita záření gama.

Vzorky pro stanovení fyzikálních parametrů v terénu a vzorky pro fyzikálně-chemické rozbor a stanovení koncentrací kovů byly filtrovány přes filtr 0,45 μm ručním podtlakovým filtrátorem Sartolab (výrobce Sartorius AG, Německo). Vzorky pro měření aktivity radonu filtrovány nebyly.

Vzorky pro stanovení koncentrací kovů byly po filtraci fixovány roztokem HNO_3 .

V terénu byly stanoveny fyzikální parametry vody (teplota, pH, Eh a konduktivita) přístroji Hanna Instruments (HI 98129 - kombinovaný terénní přístroj pro měření teploty, pH a konduktivity, HI 98201 - terénní přístroj pro měření oxidačně-redukčního potenciálu).

Přístroje byly před zahájením prací kalibrovány a jejich nastavení bylo v průběhu terénních prací několikrát kontrolováno kalibračními roztoky.

Měření aktivity radonu bylo provedeno emanometrem RP-25 stejným způsobem.

Fyzikálně-chemické rozbory byly provedeny v rozsahu „krácený rozbor“ dle vyhl. 252/2004 Sb. v laboratoři Vodní Zdroje a.s., aktivita radia ^{226}Ra byla stanovena v laboratoři Aquatest Praha a.s., koncentrace vybraných kovů byly analyzovány v geochemické laboratoři ÚGMNZ přírodovědecké fakulty UK.

Vydatnost pramenů byla určována odhadem.

6.3 Přístroje a způsob měření

6.3.1 Emanometr RP-25 - měření aktivity ^{222}Rn

Měření

Veškerá měření byla prováděna pomocí emanometrického přístroje RP-25 s ionizační komorou objemu 0,43 litru a analogovou indikací měřené aktivity; výrobce ZMA Ostrov nad Ohří.

Aby bylo možné co nejlépe charakterizovat okamžitou alfa aktivitu vody, probíhalo měření „in situ“ přímo u pramenů, případně po návratu na základnu z odebraných vzorků - zde byla zaváděna časová korekce. Prameny, jejichž vzorky vykazovaly zvýšenou aktivitu ^{222}Rn , byly následně měřeny „in situ“ revizní skupinou.

Pro měření aktivity radonu v kapalně složce pramenů byly vody odebrány do skleněné nádoby (aspirátoru) s poměrem kapalina:plyn = 0,5:0,35 litru a ihned uzavřeny promývačkovým uzávěrem s kohouty. Po důkladném protřepání (vytřepání radonu do plynné fáze) byly kohouty otevřeny a plyn ručním čerpáním balónkem převeden do uzavřeného okruhu měřicího přístroje. Čerpání probíhalo do ustálení ručičky analogového měřidla přístroje. Teprve poté byla odečtena hodnota objemové aktivity v jednotkách „eman“ (10^{-10} Ci/l).

Kalibrace

Pro kalibraci přístroje RP-25 byla připravena sada kapalných sekundárních standardů ^{226}Ra nařazením standardu EB 65 (Český metrologický institut – Inspektorát pro ionizující záření) do roztoku 1 g BaCl_2/l + 10 g HCl/l v aktivitách 30, 300 a 2500 Bq/l ^{226}Ra . Standardy byly po dobu větší než 14 dní uzavřeny do 0,5 litrových skleněných lahví s gumovým patentním uzávěrem (s minimální vzduchovou bublinou). Měření standardů proběhlo stejným způsobem jako v případě měření aktivity ^{222}Rn . Z výsledků měření aktivity standardů byla vyčíslena kalibrační konstanta přístroje. Pro aktivity 30, 300 a 2500 Bq/l byla naměřena vždy dvojice standardů, aby bylo možno vyčíslit nejistotu stanovení kalibrační konstanty. Cejchovací konstanta činí 11,2 Bq/l/eman ($\pm 5,56\%$) pro standard 30 Bq/l a 11,5 Bq/l/eman ($\pm 2,86\%$) pro standardy 300 a 2500 Bq/l. Odezva přístroje je tedy lineární. Mez stanovitelnosti je při popsáném způsobu měření aktivity přibližně 5 Bq/l.

Chyby měření

Při použití přístroje RP-25 je hodnota odečítána na analogovém měřidle středního ionizačního proudu. První nejistotou je tedy chyba z odečtení – polovina nejmenšího dílku přístroje. Pro používané rozsahy 30, 100 a 300 eman je tato chyba 5,6; 28,0 a 57,5 Bq/l pro měření vod. V případě měření vod je zapotřebí přičíst ještě nejistotu z vyčíslení cejchovací konstanty (viz výše).

Pro zpřesnění měření byly některé vzorky vod měřeny dvakrát, se záměry ihned po sobě a obě hodnoty aktivit byly průměrovány. Celkovou směrodatnou odchylku měření lze z obou směrodatných odchylek v tomto případě vyčíslit za použití vzorce [1]:

$$\delta = \frac{1}{2} \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \quad [1]$$

Chod přístroje byl v periodických intervalech kontrolován pomocí cejchovací komory se zdrojem ^{90}Sr . V měřitelných mezích nebyla během terénních akcí zaznamenána změna odezvy přístroje.

Srovnávací měření

Srovnávací vzorky vody ze tří pramenů odebral v průběhu terénních prací Tadeusz A. Przylibski (Technická univerzita Wrocław, Polsko). Aktivita ^{222}Rn byla stanovena v laboratoři přístrojem AlphaGUARD - ionizační komora v impulsním režimu (výrobce Genitron Instruments, GmbH, Německo) (Przylibski 2005). Výsledky velmi dobře korelují s hodnotami změřenými emanometrickým přístrojem RP-25 (Tabulka 4).

Tabulka 4: Aktivita ^{222}Rn ve srovnávacích vzorcích.

pramen	aktivita ^{222}Rn [Bq/l]	
	Lipanský - RP-25	Przylibski - AlphaGuard
MP-2	1 955 ± 114	2 003 ± 45
MP-4B	805 ± 81	806 ± 22
S-6	2358 ± 126	2316 ± 43

6.3.2 Měřič dávkového příkonu záření gama RP-11

Měření

Všechna měření dávkového příkonu záření gama byla v terénu prováděna přístroji RP-11 s ručičkovou a akustickou indikací měřené aktivity (výrobce ZMA Ostrov nad Ohří). Přístroje byly osazeny robustními vodotěsnými scintilačními sondami (scintilátor NaI(Tl)) s diskriminační hladinou 60 keV. Byla používána jedna sonda typu RS107 a tři sondy typu RFS-05.

Kalibrace

Sondy byly společně cejchovány na vybudovaném polygonu s použitím většího množství uranové rudy, ke které byly sondy postupně přibližovány.

Měření byla prováděna všemi přístroji (sondami) na společných bodech tak, aby na každém rozsahu (30/100/300/1000/3000 imp./s) byla výchylka ručičky v druhé polovině stupnice.

Dávkové příkony záření gama na měřicích bodech byly zjištěny za použití scintilačního gama spektrometru DISA 400A, cejchovaného periodicky na kalibrační základně v Bratkovicích u Příbrami.

Citlivost

Ze znalosti dávkového příkonu záření gama a odezvy přístrojů byla vypočtena jejich citlivost. Pro sondu RS107 (menší scintilátor než RFS-05) byla citlivost 3,012 imp/s/nGy/h a pro sondy RFS-05 byly citlivosti 1,817; 1,981 a 2,026 imp/s/nGy/h.

7. Výsledky

7.1. Aktivita radonu ve vodách

V oblasti orlicko-sněžnické klenby byla měřena radioaktivita více než 350 povrchových vývěřů podzemních vod. Indikační měření intenzity záření gama bylo provedeno v sedimentech a vodách 353 vývěřů. Intenzita gama záření zvýšená proti přirozenému pozadí byla zjištěna u 193 vývěřů.

Aktivita radonu byla měřena ve vodách 126 pramenů a jejich dílčích přítoků. Aktivita ^{222}Rn větší než 1 500 Bq/l byla zjištěna u 20 pramenů. Nejvyšší aktivita radonu byla zjištěna ve vodě vrtu KSS-1 (5 175 Bq/l) v Dolní Hedči.

Celkový počet měření a zjištěné hodnoty radioaktivity vod shrnuje tabulka 5.

Tabulka 5: Statistika počtu měřených objektů a zjištěných aktivit.

archivní rešerše (DIAMO Rožná)	871 anomálií
perspektivní anomálie	cca 50 anomálií
měření aktivity gama	353 vývěřů
zvýšená aktivita gama	193 vývěřů
měření aktivity radonu ^{222}Rn	126 vývěřů
aktivita $^{222}\text{Rn} > 500$ Bq/l	90 vývěřů
aktivita $^{222}\text{Rn} > 1\,000$ Bq/l	57 vývěřů
aktivita $^{222}\text{Rn} > 1\,500$ Bq/l	20 pramenů (+6 dílčích vývěřů)
aktivita $^{222}\text{Rn} > 2\,000$ Bq/l	10 pramenů
aktivita $^{222}\text{Rn} > 5\,000$ Bq/l	1 vývěř (vrt KSS-1)
chemická analýza	16 pramenů

Většina měření byla provedena v masivu Králického Sněžníku, v pásu sněžnických ortorul v oblasti ohraničené na severu státní hranicí, na východě staroměstským krystalinikem a na jihu a západě sedimenty křídý kladského prolomu. Zde byla též zjištěna většina pramenů s aktivitou radonu větší než 1500 Bq/l a nejvyšší zjištěná aktivita ^{222}Rn - 5 175 Bq/l.

Část měření byla provedena v ortorulách Orlických hor západně od kladského prolomu, v oblasti protažené od Suchého Vrchu na jihu po lokalitu Kamenec v Orlických horách na severozápadě. Zde byly zjištěny pouze tři prameny s aktivitou radonu vyšší než 1500 Bq/l.

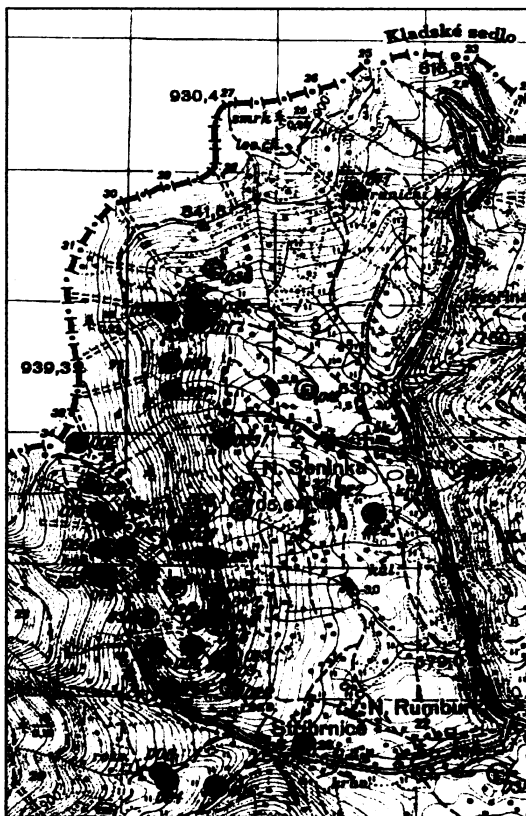
Část měření byla provedena v Rychlebských horách, převážně v okolí uranových ložisek Zálesí a Jelení Vrch, v této oblasti však byla zjištěna aktivita radonu ^{222}Rn ve vodách maximálně 650 Bq/l.

Přehled vývěřů radioaktivních minerálních vod (aktivita $^{222}\text{Rn} > 1500$ Bq/l) je uveden v tabulce číslo 6, přehled všech měřených pramenů (označení, aktivita ^{222}Rn , intenzita gama záření, průtok, GPS souřadnice) je uveden v příloze č.1.

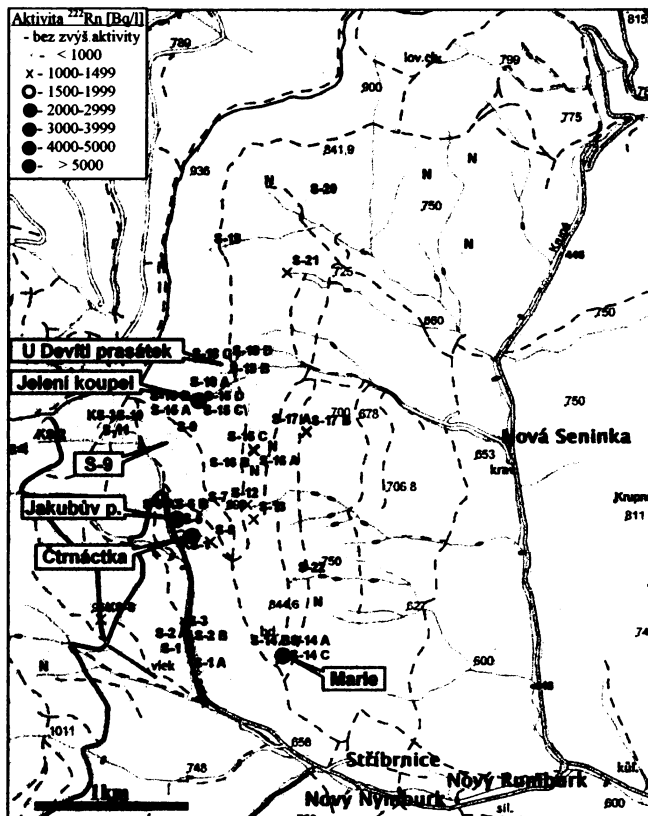
7.1.1 Úsek Stříbrnice

Anomální úsek Stříbrnice zahrnuje četné radiometrické anomálie, nalezené na západním i východním svahu hřbetu protaženého od osady Stříbrnice severně ke Hraniční hoře (968 m). V archivu DIAMO bylo na listu M-33-70B zjištěno 7 radiometrických anomálií vázaných na vývěry vody (obrázek 8):

- anomálie č. 003 - velmi rozsáhlá gama i emanační anomálie v okolí křížků a rozvalin stavení s vývěry vody, severně od Stříbrnice, max. 390 $\mu\text{R/h}$ v prameni a 482 eman, tj. 1783 kBq/m^3 - anomálie potvrzena, pramen Marie - aktivita ^{222}Rn 2300 Bq/l (S-14),
- anomálie č. 007 - ostrůvkovitá gama a emanační anomálie u potůčku na východním svahu mezi Hraniční horou a Novou Seninkou, max. 41 $\mu\text{R/h}$ a 104 eman, tj. 385 kBq/m^3 - anomálie potvrzena, pramen S-21 - aktivita ^{222}Rn 1438 Bq/l,
- anomálie č. 010 - protažená anomálie gama v jamkách s výtokem vody, max. 65 $\mu\text{R/h}$ - anomálie potvrzena, pramen S-8 - aktivita ^{222}Rn 1365 Bq/l,
- anomálie č. 014 - protažená anomálie gama v jamkách s vývěry vody, nad silničkou v údolí Stříbrnického potoka, max. 270 $\mu\text{R/h}$ - anomálie potvrzena, pramen Čtrnáctka - aktivita ^{222}Rn 2357 Bq/l (S-4),
- anomálie č. 015 - malá izometrická anomálie s výtokem vody na východním svahu pod kapličkou Panny Marie, max. 142 $\mu\text{R/h}$ v bahnisku - anomálie potvrzena, vývěry vody s aktivitou ^{222}Rn 1365 Bq/l a 1418 Bq/l (S-12, S-13),
- anomálie č. 030 - pouze zmínka „voda“, v údolí Stříbrnického potoka - anomálie nepotvrzena,
- anomálie č. 033 - protažená emanační anomálie s výtokem vody nad západním koncem osady Nová Seninka, max. 86 eman, tj. 318 kBq/m^3 - anomálie potvrzena, pramen S-17 - aktivita ^{222}Rn 1208 Bq/l.



Obrázek 8: Úsek Stříbrnice - výřez z mapy radiometrických anomálií 1 : 50 000 závodu UP-IV Nové Město n. Mor., list M-33-70B, Archiv DIAMO a.s., o.z. Dolní Rožínka (čtvercová síť 1x1 km)



Obrázek 9: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Stříbrnice

Hřbet severně od Stříbrnice, oddělující údolí Stříbrnického potoka na západě od údolí říčky Krupé na východě, je budován sněžnickými ortorulami jádra orlicko-sněžnické klenby. Hluboce zaříznuté údolí Stříbrnického potoka je predisponováno tektonicky, tzv. plečskou poruchou, na polské straně pravděpodobně pokračující v přesmyku Kletna (Müller, edit 1997).

Západní svah je strmý, se sklonem místy až 40°, v severní části v závěru údolí Stříbrnického potoka mírnější. Východní svah je od údolí Krupé pozvolný, kolem vrstevnice 800 m n.m. strmý. Vrcholová partie hřebene je zaoblená a plochá, s lokálními výskyty rašelinišť. Na obou svazích vyvěrají četné drobné vodoteče, v převážné většině bez výrazných erozních zářezů.

Průměrný roční úhrn srážek dosahuje na území úseku Stříbrnice 1070 mm, z toho povrchový odtok činí 60%, infiltrace 25% a odpar 15% (Macák 1959). Infiltrační oblast zaujímá plochu cca 1 km². Nepříznivé podmínky pro infiltraci jsou dány zejména strmým sklonem svahů v západní části úseku s poměrně malou mocností zvětralinového pokryvu. Mineralizace vod vývěřů je velmi nízká (<100 mg/l), teplota vod se pohybuje mezi 1-3°C nad průměrnou roční teplotou vzduchu. Tyto skutečnosti nasvědčují mělkému oběhu a velmi krátkému setrvání vody v horninovém prostředí, Macák (1959) předpokládá dobu zdržení pouze 3-4 dny.

V úseku Stříbrnice byla v červnu roku 2005 měřena gama aktivita 46 pramenů a jejich dílčích přítoků. Z nich 38 vykazovalo zvýšenou aktivitu gama záření ve vodě a sedimentech vývěru proti přirozenému pozadí. Průměrná hodnota pozadí aktivity gama je v úseku Stříbrnice 103 nGy/h na povrchu terénu a 128 nGy/h v jamce.

Aktivita radonu byla měřena ve vodě 36 vývěřů in situ. Aktivita radonu vyšší než 1500 Bq/l byla zjištěna v pramenech Čtrnáctka (S-4 A a drobné parazitní vývěry S-4 B a S-4 C), Jakubův (S-6 A), Marie (tři blízké vývěry S-14 A, S-14 B, S-14 C), Jelení koupel (vývěry S-15 A, S-15 B) a ve vývěrech S-9 a S-18 D. Čtyři prameny převyšují aktivitu ²²²Rn 2000 Bq/l (obrázek 9).

Maximální aktivita radonu ²²²Rn, 2 472 Bq/l, byla zjištěna v drobném parazitním vývěru pramene Čtrnáctka (S-4 C).

Pramen Čtrnáctka, Jakubův pramen a pramen S-8 vyvěrají na západním svahu hlavního hřebene, přibližně ve stejné nadmořské výšce, v linii terénního stupně, patrného zejména v okolí Jakubova pramene. Tento zlom byl zjištěn geofyzikálním průzkumem v roce 1959, má směr přibližně ssz.-jjv. (TURAM, Stárková, Zrůstek 1976).

Prameny S-9 a Jelení koupel (S-15) vyvěrají z jednoho zlomu na opačných svazích hlavního hřebene úseku Stříbrnice. Tento zlom směru přibližně sv.-jz. byl rovněž zjištěn geofyzikálním průzkumem v roce 1959 (TURAM, Stárková, Zrůstek 1976).

Přehled všech měřených vývěřů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěřů jsou uvedeny v příloze číslo 1.

pramen Marie

Nejvýznamnější radiometrickou anomálií tohoto úseku je velmi rozsáhlá emanační anomálie č. 003 listu M-33-70B (max. 390 μR/h a 482 eman, tj. 1783 kBq/m³), na mírném jv. svahu cca 1 km sv. od kostela ve Stříbrnici, při cestě k obnovené kapli Panny Marie.

Na anomálii č. 003 byly v červnu 2005 nalezeny tři blízké vývěry radioaktivní vody, pojmenované souhrnně jako pramen Marie, s aktivitou radonu 2185 Bq/l, 1840 Bq/l a 1955 Bq/l (pracovní označení S-14 A, S-14 B, S-14 C).

Velmi mírný svah v okolí vývěřů je pravděpodobně kryt značnou mocností zvětralin, které způsobují výrazné rozptýlení primárního vývěru. Radon rozpuštěný ve vodě se při průchodu vody zvětralinovým pokryvem uvolňuje a způsobuje prostorově rozsáhlou emanační aureolu po směru proudění vody. Aktivita radonu povrchových vývěřů je i přes uvedené ztráty velmi vysoká, předpokládáme zdroj s aktivitou ²²²Rn v řádu několika kBq/l.

Nejaktivnější vývěř S-14 A byl v červnu 2006 upraven (obrázek 10). Po odkrytí části přírodního kanálu byla instalována perforovaná polyetylenová trubka, která byla vyvedena před zídku, vyskládanou z ortorulových kamenů. Trubka byla obsypána práným štěrkopískem

a povrch byl utěsněn jílovitým materiálem proti infiltraci povrchové vody. Při odkrývání vývěru byla nalezena dřívější drenáž z plochých ortorulových kamenů, pramen byl dříve pravděpodobně využíván pro zásobování nedalekého stavení vodou (dnes pouze rozvaliny základů).

Aktivita radonu ve vodě pramene Marie je po úpravě 2300 Bq/l při průtoku 0,15 l/s (12. 7. 2006).

Voda pramene Marie je studená (6,1°C), velmi málo mineralizovaná (54 mg/l), slabě kyselá (pH 5,5). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-HCO₃-SO₄.

Mírně vyšší v porovnání s ostatními prameny v úseku Stříbrnice je koncentrace síranů (16,5 mg/l), fluoridů (0,20 mg/l), hliníku (275 µg/l), titanu (10,5 µg/l), kobaltu (0,071 µg/l), niklu (1,22 µg/l). Nejvyšší koncentrace ze všech vzorků byla v prameni Marie zjištěna u vanadu (0,39 µg/l), stříbra (0,246 µg/l) a thoria (0,32 µg/l). Byla zjištěna též relativně vysoká koncentrace železa (0,25 mg/l).



Obrázek 10: Pramen Marie po úpravě - aktivita radonu 2300 Bq/l, červen 2006. Foto Václav Tejnecký.

pramen Čtrnáctka

Anomálie č. 014 listu M-33-70B (gama aktivita max. 270 µR/h, viz. příloha č. 3) ve svahu 150 m nad silničkou ze Stříbrnice k chatě Návrší je vázána na prameniště velikosti přibližně 15x20 m, odvodňované potůčkem, tvořící světlinu ve smrkovém lese. Prameniště je bahnité, porostlé pouze rašeliníkem a dalšími druhy mechů.

V místě anomálie byl na severním okraji světliny nalezen vydatný vývěr radioaktivní vody, pojmenovaný Čtrnáctka, podle čísla anomálie.

Zjištěná aktivita ²²²Rn byla 2128 Bq/l při vydatnosti 0,75 l/s. Dva velmi drobné dílčí přítoky vykazovaly vyšší aktivity radonu - 2243 Bq/l a 2472 Bq/l (hlavní vývěr je pracovně označen S-4 A, drobné přítoky S-4 B a S-4 C). Jedná se o vývěry téhož zdroje, rozptýlené průchodem zvětralinami podložních ortorul a půdním pokryvem.

V červnu 2006 byl pramen Čtrnáctka nově podchycen. Výkopovými pracemi byl sledován přítokový kanál radioaktivní vody a ve svahu byla za průběžného odčerpávání vyvěrající vody vyhloubena šachtice hluboká 2,20 m.

V přítokovém kanálu byla na povrchu promyté vrstvy ortorulového štěrkopísku zastížena vrstva klastů povlečených a místy tmelených rezavými Fe-oxidy (mocnost cca 5 cm). O cca 15 cm výše nad vrstvou Fe-oxidů se vyskytuje vrstva klastů potažených a tmelených černými Mn-oxidy v mocnosti cca 5 cm. Tyto vrstvičky se do hloubky ztenčují a velmi dobře konturují přítokový kanál radioaktivní vody. Na bázi štěrkopískového eluvia ortorul je vrstva Mn-oxidů velmi dobře ohraničená, pevná, 1-2 cm mocná, tvoří hranici mezi promytým a nepromytým materiálem. V rozpukaných ortorulách Fe-oxidy potahují příčné pukliny s hlavními vývěry vod, Mn-oxidy tvoří aureolu hlavního vzestupného proudu radioaktivní vody.

Vyhloubenou šachticí byly zastíženy vývěry radioaktivních vod z příčných puklin ve zvětralých ortorulách. Na dno šachtice byla umístěna perforovaná trubka (HDPE, profil 25 mm), vyvedená před kamennou zídku vybudovanou v místě původního vývěru z místních

plochých ortorulových kamenů. Tato trubka sbírá nevyčereňovanou radioaktivní vodu přímo ze zastížených puklin.

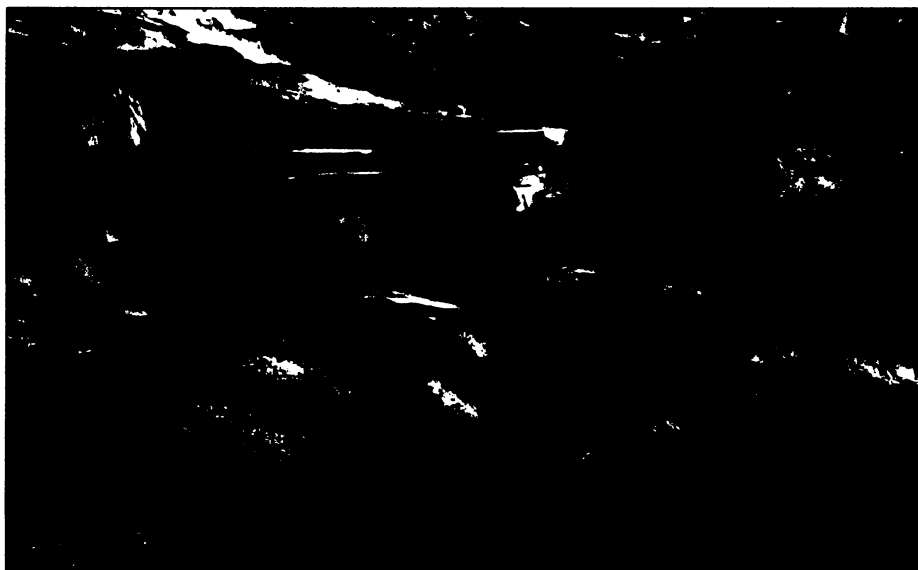
Maximální zjištěná aktivita vody vyvěrající z příčných puklin je 2485 Bq/l při celkové vydatnosti 1,2 l/s a snížení hladiny o 1 metr od úrovně původního přirozeného vývěru.

K severní stěně šachtice byla umístěna svislá trubka (PVC, profil 125 mm) se štěrbinovou perforací pro umožnění dalších měření v budoucnosti (stanovení radioaktivity vody v různých hloubkových úrovních, odběr vzorků vod). Trubka je uzavřena víkem a ukončena pod povrchem původního terénu.

Šachtice byla do úrovně původního vývěru zasypána práným štěrkopískovým materiálem rozvětralých ortorul (vykazuje zvýšenou intenzitu záření gama) do úrovně původní hladiny vody. Do svrchní vrstvy praného zásypu byla umístěna perforovaná trubka většího průměru (HDPE, 64 mm) pro odvod přelivné vody s aktivitou ^{222}Rn sníženou přirozenou deemanací. Tato přelivná trubka je vyvedena před kamennou zídku ve vyšší úrovni než vývod nevyčereňované vody. Rozdílem hydraulických výšek je aktivnější nevyčereňovaná voda vytlačována na povrch tenkou trubkou přímo z puklin v ortorulách.

Povrch zásypu šachtice je izolován protiradonovou zemní fólií (vysocesítovaný polyethylen HDPE), která výrazně omezuje unikání radonu z vody a zároveň zamezuje kontaminaci zdroje radioaktivní vody infiltrací srážkových vod. Dále byla šachtice zasypána hlinitým dusaným materiálem do úrovně okolního terénu. Podobu pramene Čtrnáctka po podchycení zobrazuje obrázek 11.

Aktivita radonu ^{222}Rn ve vodě pramene Čtrnáctka je po podchycení 2390 Bq/l (měření 2415 Bq/l a 2357 Bq/l), aktivita vody z přelivné trubky 1720 Bq/l (1667 Bq/l a 1782 Bq/l, 12. července 2006).



Obrázek 11: Pramen Čtrnáctka po podchycení aktivních vývěrů z rozpukávaných ortorul, červen 2006. Voda s vysokou aktivitou rozpuštěného radonu (až 2415 Bq/l) vytéká tenkou trubkou, silnější trubka odvádí přelivnou vodu s aktivitou radonu sníženou přirozenou deemanací (1720 Bq/l). Foto Jiří Kamp.

Voda pramene Čtrnáctka je studená (6,3°C), velmi málo mineralizovaná (50 mg/l), slabě kyselá (pH 5,9). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-HCO₃-SO₄. Mírně vyšší v porovnání s ostatními prameny je koncentrace iontů PO₄³⁻ (0,61 mg/l).

Jakubův pramen

Jakubův pramen (tradiční pojmenování podle dřevaře Jakuba, který upravil odtokové koryto potůčku, ústní sdělení p. Miloš Kamp, Stříbrnice) se nachází přibližně 1 km od severního konce obce Stříbrnice, 120 m ve svahu nad odbočkou traktorové cesty ze silničky Stříbrnice-chata Návrší.

Terén zde stoupá směrem k sv., přibližně 120 m nad cestou se nachází strmý terénní stupeň, pravděpodobně způsobený tektonickým porušením podložních hornin, na jehož úpatí vyvěrá Jakubův pramen. Na přítomnost zlomu v těchto místech ukazují též výsledky geofyzikálního průzkumu (frekvenční metoda - TURAM, archiv DIAMO).

Jakubův pramen (S-4 A) je příkladem méně vhodného použití měření intenzity gama záření jako indikační metody pro vyhledávání zvýšené aktivity ^{222}Rn v případě pramenů s malou akumulací organického materiálu, sorbujícího rozpadové produkty radonu - gama zářiče. Na velmi strmém svahu terénního stupně je vyvinut zvětralinový pokryv malé mocnosti, s velmi malým podílem organických látek. Vydátný pramen vyvěrá přímo ze štěrkovitého aluvia podložních ortorul, bez delšího zdržení vody. Intenzita gama záření ve štěrku ve vývěru byla proti přirozenému pozadí zvýšena 4,5krát (633 nGy/h proti 142 nGy/h), zatímco v nevýrazné občasně mokřince (S-6 B) v blízkosti hlavního vývěru 8,5krát (1205 nGy/h proti 142 nGy/h).

Aktivita ^{222}Rn ve vodě Jakubova pramene kolísá v rozmezí 1783 Bq/l až 2358 Bq/l, vyšší aktivity radonu byly zaznamenány při vyšším průtoku.

Vývěr Jakubova pramene byl v rámci úpravy vybraných pramenů v červnu 2006 ponechán v přirozeném stavu, obložen nasucho skládanou nízkou kamennou zídou, blízké okolí bylo vydlážděno místními kameny a byla vytvořena malá tůňka pro nabírání vody (obrázek 12).



Obrázek 12: Jakubův pramen po úpravě vývěru a okolí v červnu 2006. Aktivita radonu ve vodě kolísá v závislosti na průtoku v rozmezí 1780 až 2350 Bq/l. Foto Jiří Kamp.

Voda Jakubova pramene je studená (6,2°C), velmi málo mineralizovaná (39 mg/l), slabě kyselá (pH 5,5). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-HCO₃-SO₄-NO₃. Mírně nižší v porovnání s ostatními prameny v úseku Stříbrnice je koncentrace iontů HCO₃⁻ (9,2 mg/l) a aktivita radia ^{226}Ra (0,024 Bq/l).

Jelení koupel

Dalšími prameny s aktivitou ^{222}Rn přesahující 1500 Bq/l jsou vývěry nazvané Jelení koupel, tvořící prameniště potoka na východním svahu hřebene.

Při měření v červnu 2005 za vysoké nasycenosti horninového prostředí vodou a velké vydatnosti pramenů byly zjištěny aktivity radonu 1725 Bq/l (S-15 A), 2013 Bq/l (S-15 B), 1438 Bq/l (S-15 C) a 1495 Bq/l (S-15 D). V rámci měření aktivit a vzorkování vybraných pramenů v listopadu 2005, byla při velmi nízkých vydatnostech zjištěna aktivita pramene S-15 C pouze 748 Bq/l.

Voda vývěrů Jelení koupel (S-15 C) je studená (6,0°C), velmi málo mineralizovaná (36 mg/l - nejnižší hodnota ze všech vzorků), slabě kyselá (pH 5,0). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-HCO₃-SO₄.

Mírně vyšší v porovnání s ostatními prameny v úseku Stříbrnice je koncentrace manganu (7,81 mg/l), zinku (45,5 mg/l) a arsenu (3,14 µg/l). Nejvyšší koncentrace ze všech vzorků byla v prameni Jelení koupel zjištěna u mědi (8,09 µg/l) a olova (3,28 µg/l) a velmi vysoká koncentrace uranu (2,39 µg/l), nejnižší koncentrace stroncia (9,5 µg/l).

vývěr S-9

Při měření a vzorkování pramenů v listopadu 2005 byla v bahnitém vývěru S-9 v závěru údolí Stříbrnického potoka změřena aktivita radonu 1610 Bq/l. V červnu 2005 byla při prvním měření tohoto vývěru zjištěna aktivita radonu pouze 1155 Bq/l.

Voda pramene S-9 je studená (5,0°C), velmi málo mineralizovaná (44 mg/l), slabě kyselá (pH 5,4). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-HCO₃-SO₄.

Nejnižší koncentrace ze všech vzorků byla ve vývěru S-9 zjištěna u fluoridů (0,07 mg/l), velmi nízká koncentrace stroncia (10,1 µg/l).

vývěr S-18

Vývěr S-18 D je nejsevernějším ze čtyř pramenů potoka v 60 m širokém prameništi na východním svahu, nad hlavní vrstevnicovou cestou. V červnu 2005 byla při velké vydatnosti vývěrů zjištěna aktivita radonu 1610 Bq/l, při vzorkování pramenů v listopadu 2005 byla aktivita při nízké vydatnosti pouze 1380 Bq/l.

Voda pramene S-18 je studená (5,8°C), velmi málo mineralizovaná (53 mg/l), slabě kyselá (pH 5,0). Chemický typ vody (molární) je Na-Ca-HCO₃-SO₄.

Mírně vyšší v porovnání s ostatními prameny v úseku Stříbrnice je koncentrace sodíku (6,4 mg/l), nižší je koncentrace thoria (0,01 µg/l).

Dalším pramenem v úseku Stříbrnice, který dosáhl aktivity 1500 Bq/l je vývěr U Devíti prasátek (S-16 B) v bahnisku pod hlavní vrstevnicovou cestou na východním svahu hlavního hřebene úseku Stříbrnice..

V ostatních měřených pramenech byly zjištěny aktivity ^{222}Rn v rozmezí 173 Bq/l až 1380 Bq/l (18 vývěrů).

V místech, kde Macák (1959) uvádí prameny s extrémně vysokou aktivitou radonu - 514 a 623 MJ (tj. 6939 Bq/l a 8410 Bq/l) v severní části východního svahu hlavního hřebene nad Novou Seninkou, byly zjištěny prameny s aktivitou ^{222}Rn pouze 460 Bq/l. Žádná výraznější anomálie gama aktivity ani aktivity radonu nebyla ve vývěrech v okolí zjištěna. Tyto extrémně aktivní vývěry byly pouze zakresleny v mapě v příloze, v textu (Macák 1959) nejsou zmíněny. Je pravděpodobné, že se jedná pouze o analytickou chybu stanovení těchto ojedinělých aktivit.

Adélin pramen - tradičně považovaný za radioaktivní

Adélin pramen, dříve vyvěrající z upraveného pomníčku u cesty na Králický Sněžník v závěru údolí Stříbrnického potoka v současné době vyvěrá v prudkém svahu cca 30 metrů nad cestou. Z původního pomníčku jsou patrné pouze zbytky rozvalených zdí.

Aktivita ^{222}Rn v prameništi nad Adéliným pramenem zdaleka nedosahuje kritéria pro radioaktivní minerální vody - bylo zjištěno pouze 651 Bq/l.

7.1.2 Úsek Stříbrnice-jih - Hynčice

Průzkumný úsek Stříbrnice-jih - Hynčice se nachází jižně od Stříbrnice na východním svahu hřebene Šindelné a Sviní hory po hluboce zaříznuté údolí Prudkého potoka. V archivu DIAMO byly zjištěny tři radiometrické anomálie vázané na bažinky (anomálie č. 048, 054 a 073 na listu M-33-70-D, obrázek 13), tyto anomálie se nepodařilo v terénu lokalizovat.

V tomto úseku bylo v červnu 2005 měřeno 20 vývěřů, z nichž 13 vykazuje zvýšenou gama aktivitu proti přirozenému pozadí. Aktivita radonu byla měřena ve vodě 12 vývěřů (obrázek 14).

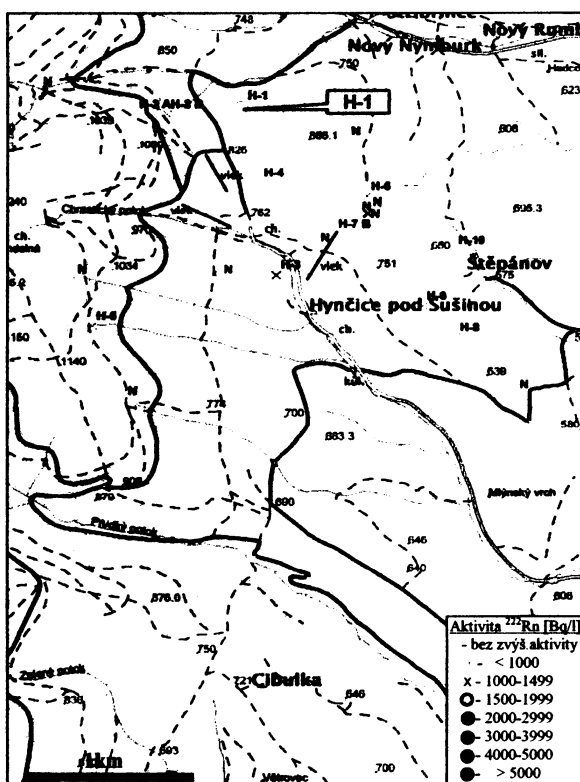
Nejvyšší aktivita radonu ^{222}Rn byla zjištěna v prameni H-1, cca 1,2 km jz. od kostela ve Stříbrnici - 1840 Bq/l.

Aktivita radonu ostatních pramenů byla zjištěna v rozmezí 207 Bq/l až 1323 Bq/l.

Pramen ve strži pod kótou Sušina (1321,2 m n.m.), kde Macák (1959) uvádí pramen s aktivitou radonu 580 Macheových jednotek, tj. 7830 Bq/l, nebyl v uvedeném místě nalezen. Byla zastížena pouze voda bez zvýšené aktivity.



Obrázek 13: Úsek Stříbrnice-jih - výřez z mapy radiometrických anomálií 1 : 50 000 závodu UP-IV Nové Město n. Mor., list M-33-70D, Archiv DIAMO a.s., o.z. Dolní Rožínka (čtvercová síť 1x1 km)



Obrázek 14: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Stříbrnice-jih

Přehled všech měřených vývěřů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěřů jsou uvedeny v příloze číslo 1.

7.1.3 Úsek Králický Sněžník

V úseku Králický Sněžník byla zkoumána oblast východního křídla Králického Sněžníku severně od obce Velká Morava od údolí Moravy po údolí Stříbrnického potoka, dále závěr údolí Moravy jižně od vrcholu Králického Sněžníku. Úsek je charakteristický velmi výraznou výškovou členitostí terénu se strmými svahy. Vrcholové partie hřbetů jsou oblé až ploché, s četnými výskyty vrchovištních rašelinišť.

V nadmořské výšce kolem 1200 m vyvěrají velmi četné drobné prameny, jejich zdrojnicí jsou však rašeliniště a vývěry nevykazují zvýšenou aktivitu záření gama proti přirozenému pozadí.

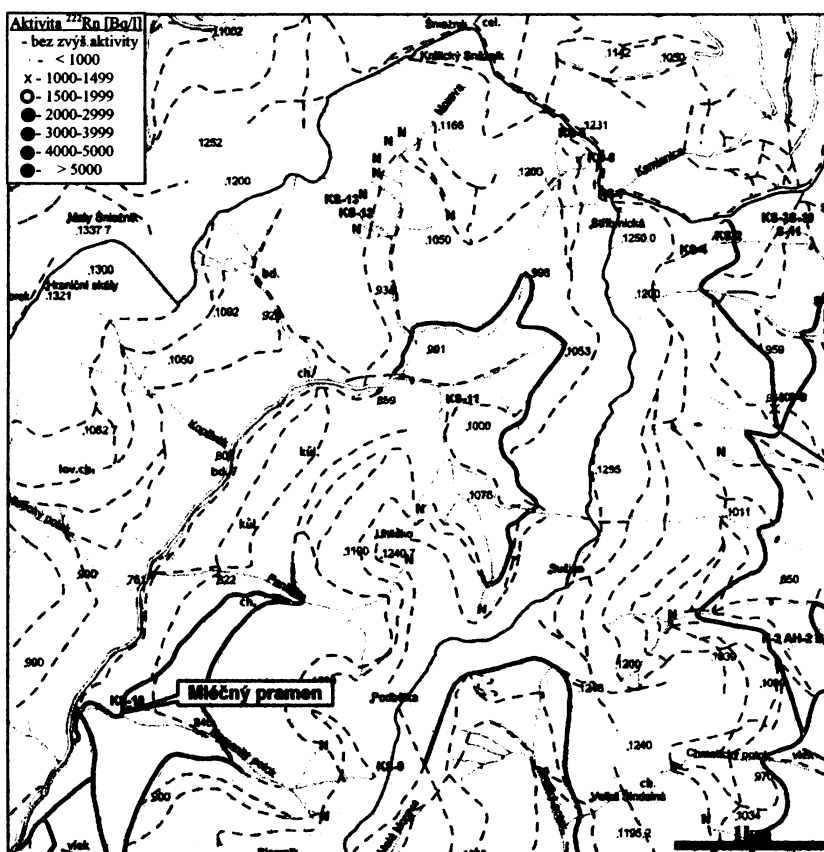
V archivu DIAMO nebyly pro tuto oblast zjištěny žádné radiometrické anomálie vázané na vývěry vody.

Celkově bylo v červnu 2005 v úseku Králický Sněžník měřeno 50 vývěrů, z nichž 12 jevílo zvýšenou aktivitu záření gama proti přirozenému pozadí. Průměrná hodnota pozadí aktivity gama zde dosahuje 102 nGy/h na povrchu terénu a 126 nGy/h v jamce.

Aktivita radonu byla měřena ve vodě 12 vývěrů (obrázek 15).

Maximální aktivita radonu 1323 Bq/l byla zjištěna ve vodě vydatného pramene KS-8 pod chatou Návrší v údolí Stříbrnického potoka, aktivita ostatních vývěrů je výrazně nižší, méně než 500 Bq/l.

Pramen Moravy nebyl měřen z důvodu nemožnosti odběru vody přímo z vývěru. Radon rozpuštěný ve vodě se v jímce s volnou hladinou uvolňuje do vzduchu a je odvětráván, měření aktivity vody na přelivu z jímky nemá vypovídací hodnotu.



Obrázek 15: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Králický Sněžník

Přehled všech měřených vývěrů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěrů jsou uvedeny v příloze číslo 1.

Mléčný pramen

V údolí Moravy byl měřen Mléčný pramen (KS-11) v údolí Kamenitého potoka. Tento velmi vydatný (20-30 l/s) krasový pramen vyvěrá z jeskynních systémů v krystalických vápencích pestrého pruhu Stroňské skupiny. Jeho zdrojem jsou ponory potoka Poniklec, jeskynním systémem protéká v délce min. 1,5 km.

I přes krasový původ pramene byly v sedimentech na dně zjištěny zvýšené hodnoty aktivity gama (727 nGy/h proti pozadí 118 nGy/h), ve vodě nadržené nad měrným jízdem 363 nGy/h. Aktivita radonu ^{222}Rn ve vodě Mléčného pramene je mírně zvýšená, dosahuje hodnot 219 Bq/l, což svědčí o míšení vod čistě krasových s vodami, které procházejí okolními ortorulami.

Voda Mléčného pramene je studená (6,1°C), v porovnání s ostatními vzorky nejvíce mineralizovaná (111 mg/l) s nejvyšší celkovou tvrdostí (0,68 mmol/l) a $\text{KNK}_{4,5}$ (1,1 mmol/l). Přes předpokládaný krasový původ je voda pH-neutrální. Chemický typ vody (molární) je Ca-HCO_3 .

V porovnání s ostatními vzorkovanými prameny byly zjištěny nejvyšší koncentrace iontů HCO_3^- (67,1 mg/l), vápníku (25,4 mg/l) a manganu (0,16 mg/l), mírně zvýšená je koncentrace stříbra (0,092 $\mu\text{g/l}$). Nejnižší koncentrace byly zjištěny u sodíku (1,8 mg/l), draslíku (0,69 mg/l) a nízká je koncentrace kadmia (0,09 $\mu\text{g/l}$).

7.1.4 Úsek Mlýnský potok

Mlýnský potok je levostranným přítokem Moravy, pramenícím v hluboce zaříznutém údolí pod Sviní horou (1232 m n.m.) v nadmořské výšce asi 1100 m. Vlévá se do Moravy v obci Dolní Morava v nadmořské výšce 600 m.

V údolí Mlýnského potoka byla zjištěna řada radiometrických anomálií (Stárková, Zrůstek 1976, obrázek 16), na vodu je vázána anomálie č. 122 listu M-33-70-D, emanační anomálie nad pramenem, max. 277 eman, tj. 1025 kBq/m^3 . V prudkém svahu výše než pramen uvedený v mapě byl nalezen vývěr vody s aktivitou ^{222}Rn 2013 Bq/l (MP-2).

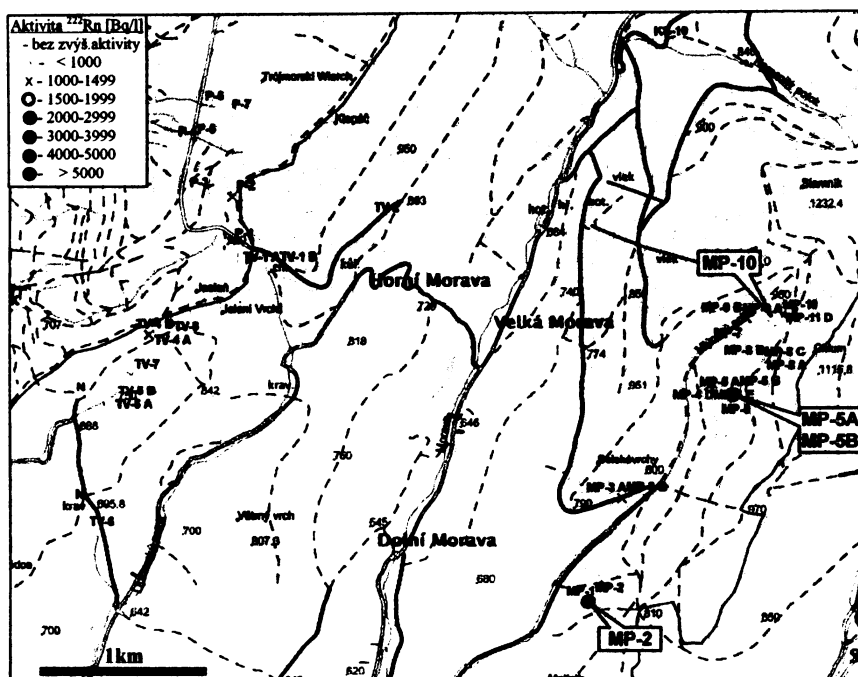
V úseku Mlýnský potok bylo při terénním měření v červnu 2005 zjištěno celkem 24 pramenů se zvýšenou aktivitou záření gama proti přirozenému pozadí. Průměrná hodnota pozadí aktivity gama je zde 131 nGy/h na povrchu terénu a 153 nGy/h v jamce.

Aktivita radonu byla měřena ve vodě 16 vývěrů, čtyři vývěry mají aktivitu ^{222}Rn vyšší než 1500 Bq/l - MP-2, MP-5 A, MP-5 B, MP-10, z toho dva přesahují aktivitu 2000 Bq/l (obrázek 17).

Přehled všech měřených vývěrů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěrů jsou uvedeny v příloze číslo 1.



Obrázek 16: Úseky Mlýnský potok a Trojměstský Wierch - výřez z mapy radiometrických anomálií 1 : 50 000 závodu UP-IV Nové Město n. Mor., list M-33-70D, Archiv DIAMO a.s., o.z. Dolní Rožinka (čtvercová síť 1x1 km)



Obrázek 17: Mapa radioaktivity pramenů - úseky Mlýnský potok a Trojměstský Wierch

vývěr MP-2

Pramen MP-2 se nachází ve velmi prudkém terénním stupni nad nejnižším levostranným přítokem Mlýnského potoka, má charakter liniového vývěru šířky 5 metrů v nejstrmější partii svahu. V bahnitých sedimentech vývěru byla zjištěna extrémně zvýšená intenzita záření gama (až 3000 nGy/h, proti pozadí 168 nGy/h).

Ve vodě vývěru byla zjištěna aktivita rozpuštěného radonu 2013 Bq/l. V okolí vývěru byly pod strmým terénním stupněm v minulosti provedeny dodnes morfologicky patrné průzkumné práce (rýhy), žádné vývěry vod jimi nebyly zastíženy. V listopadu 2005 byla v rámci měření a vzorkování vybraných pramenů zjištěna aktivita ^{222}Rn pouze 1323 Bq/l, při nízké vydatnosti.

Voda pramene MP-2 je studená (6,7°C), velmi málo mineralizovaná (54 mg/l), slabě kyselá (pH 5,9). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-SO₄-HCO₃.

Vyšší v porovnání s ostatními prameny je koncentrace síranů (21,3 mg/l), fluoridů (0,51 mg/l), olova (1,92 μg/l), nízká je aktivita radia ^{226}Ra (0,011 Bq/l).

vývěr MP-5

Nejaktivnějším pramenem v údolí Mlýnského potoka je vývěr MP-5 B, s aktivitou ^{222}Rn 2128 Bq/l. Nachází se ve střední části údolí, velmi vysoko ve svahu levého břehu Mlýnského potoka. Ve vzdálenosti 25 m od pramene MP-5 B vyvěrá vydatný pramen MP-5 A (1,5 l/s) s aktivitou ^{222}Rn 1668 Bq/l.

Prameniště vývěrů MP-5 A a MP-5 B se nachází na poměrně strmém svahu, přesto ani takto vydatný zdroj nevytváří žádnou erozní rýhu. Potůček se níže ve svahu místy ztrácí ve svahovinách. Podobných drobných vývěrů, prameníků vysoko ve svahu je na východním svahu údolí Mlýnského potoka celá řada.

Ve vývěru MP-10 byla zjištěna aktivita radonu 1898 Bq/l.

Na západním svahu údolí Mlýnského potoka nebyly zjištěny vývěry vody.



Obrázek 18: Pramen MP-5 na východním svahu údolí Mlýnského potoka, aktivita ^{222}Rn 2128 Bq/l.
Foto Barbora Paterová

7.1.5 Úsek Trojmórski Wierch

Úsek Trojmórski Wierch, nazvaný podle polského pojmenování vrchu Klepáč (1143,6 m n.m.) kde se stýkají hlavní rozvodnice Severního, Baltského a Černého moře, zahrnuje území na východním i západním svahu západního křídla Králického Sněžníku od Malého Sněžníku k obci Heřmanice, na českém i polském území.

Ostrůvkovitá gama a emanační anomálie č. 093 listu M-33-70-D pod vrchem Klepáč (max. 75 eman, tj. 277 kBq/m³ a 405 $\mu\text{R/h}$ v prameni - nejvyšší aktivita gama v souvislosti s vývěrem vody (archiv DIAMO)) nebyla při terénním měření aktivity pramenů v červnu 2005 nalezena. Prudší svah je ve velké ploše pokryt kamenným mořem a sutí, vývěr vody nebyl ani v širokém okolí nalezen. V prostředí pokrytém kamenným mořem nelze provádět emanační měření, pozice anomálie č. 093 je v mapě pravděpodobně chybně zanesena (obrázek 16).

V místě anomálie č. 107 nad pramenem byl nalezen vývěr TV-4 s aktivitou 1116 Bq/l.

Měřeno bylo 18 pramenů, z nich 16 jevílo zvýšenou aktivitu gama proti přirozenému pozadí. Aktivita radonu ^{222}Rn byla měřena ve vodě pěti vývěrů (obrázek 17).

Průměrná hodnota pozadí aktivity gama je zde 98 nGy/h na povrchu terénu a 117 nGy/h v jamce.

Nejvyšší aktivita radonu byla zjištěna ve vývěrech TV-5 A (1323 Bq/l) a TV-5 B - 1725 Bq/l, nazvaných společně pramen Rybníček.

Přehled všech měřených vývěrů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěrů jsou uvedeny v příloze číslo 1.

pramen Rybníček

Pramen Rybníček se nachází přibližně 300 m severovýchodně od nejvyšších chalup obce Heřmanice, pod polní cestou v mírném svahu. Vývěry se nacházejí v místě anomálie č. 228 listu M-33-70-D, zjištěné autogama průzkumem (archiv DIAMO).

Vývěr, v minulosti pravděpodobně využívaný pro zásobování dnes již neexistujícího stavení, byl zachycen do rybníčku velikosti cca 3x5 m. Dle sdělení místních obyvatel byl rybníček ještě v 50. letech využíván v létě ke koupání, dnes je zarostlý a zanesený bahnem, hrázka je provalena.

V červnu 2005 byla zjištěna aktivita ^{222}Rn ve vývěrech 1323 Bq/l (TV-5 A) a 1725 Bq/l (TV-5 B).

Vývěry TV-5 A a TV-5 B zásobující rybníček jsou pravděpodobně dvěma větvemi téhož zdroje radioaktivní vody. Při vyčištění rybníčku a případném podchycení vývěru technickými pracemi výše ve svahu přímo z ortorul pod zvětralinovým pláštěm lze předpokládat zvýšení aktivity radonu ve vodě.

Při vzorkování pramenů v listopadu 2005 bylo zjištěno mírné zvýšení aktivity radonu ve vodě - slabší vývěr TV-5 A aktivita 1440 Bq/l a vydatnější vývěr TV-5 B aktivita 1900 Bq/l při celkové vydatnosti cca 0,6 l/s.

Na území Polska byla měřena gama aktivita 7 pramenů. Aktivita radonu ve vodě jediného měřeného pramene P-2 (Český pramen) dosáhla hodnoty 1093 Bq/l.

Voda pramene Rybníček je studená (7,9°C), velmi málo mineralizovaná (57 mg/l), slabě kyselá (pH 5,9). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-HCO₃-SO₄.

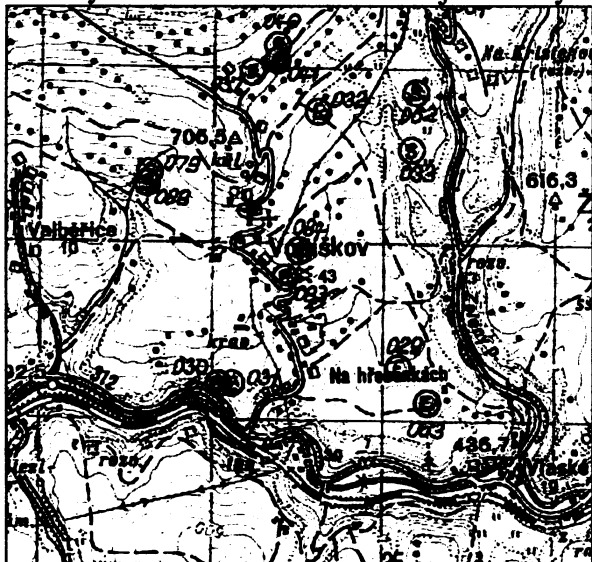
Mírně vyšší v porovnání s ostatními prameny je koncentrace titanu (2,2 µg/l), nejvyšší ze všech vzorků je koncentrace arsenu (9,83 µg/l), nízká je koncentrace niklu (0,24 µg/l) a uranu (0,33 µg/l). Aktivita radia byla ve vodě pramene Rybníček nižší než mez detekce metody.

7.1.6 Úsek Vojtíškov

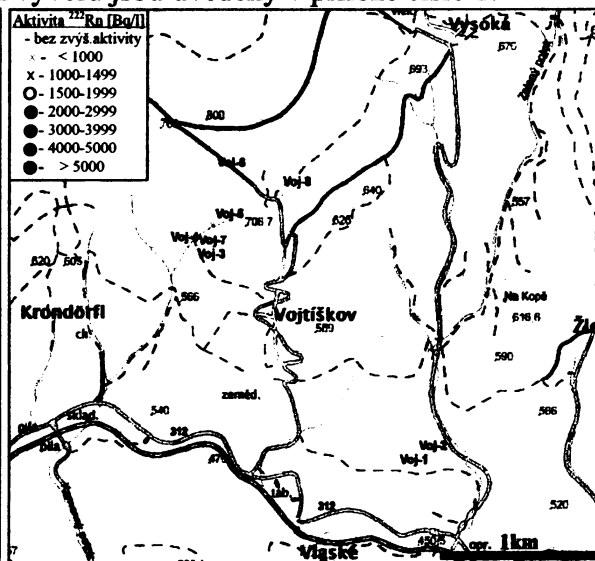
Úsek Vojtíškov zaujímá území v okolí obce Vojtíškov na jižním úbočí Srázné (1073 m n.m., dříve Sviní hora) nad hluboce zaříznutým údolím Moravy. Radiometrické anomálie vázané na vývěry vody byly v této oblasti zjištěny dvě (archiv DIAMO, obrázek 19) - emanační anomálie č. 063 (list M-33-70-D) mezi Vojtískovem a osadou Vlaské, s bažinkou, max. 266 Bq/m³ - v místě této anomálie nebyly zjištěny zvýšené hodnoty intenzity gama záření proti přirozenému pozadí. Druhá anomálie č. 088, max. 145 µR/h, severozápadně od Vojtískova - zde byla zjištěna výrazně zvýšená intenzita gama (900 nGy/h), aktivita radonu však dosahuje pouze 679 Bq/l (vývěr Voj-7).

V úseku bylo v červnu 2005 měřeno 8 pramenů, zvýšená gama aktivita byla zjištěna ve všech 8 pramenech. Aktivita radonu ^{222}Rn byla měřena ve vodě tří vývěrů - maximální hodnota byla zjištěna ve vývěru Voj-7 - 679 Bq/l (obrázek 20).

Přehled všech měřených vývěrů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěrů jsou uvedeny v příloze číslo 1.



Obrázek 19: Úsek Vojtíškov - výřez z mapy radiometrických anomálií 1 : 50 000 závodu UP-IV Nové Město n. Mor., list M-33-70D, Archiv DIAMO a.s., o.z. Dolní Rožínka (čtvercová síť 1x1 km)



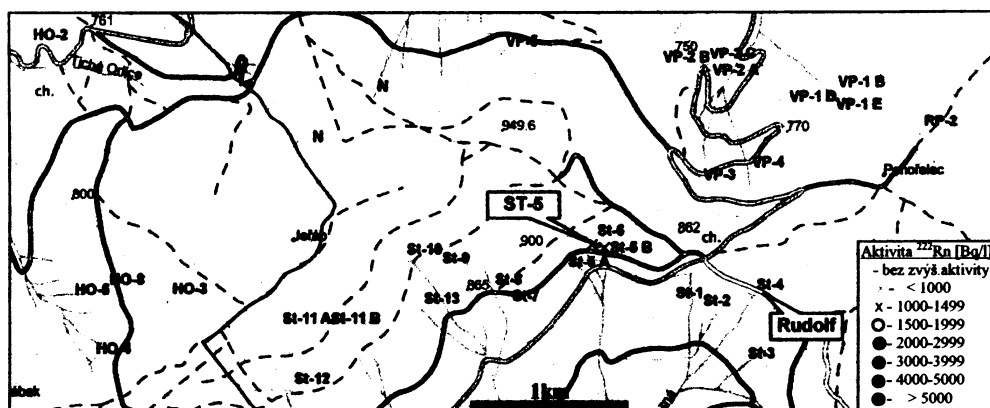
Obrázek 20: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Vojtíškov

7.1.7 Úsek Svatá Trojice

Ve vrcholové části a na jižním svahu hřbetu mezi vrcholy Jeřáb (1002 m n.m.) a Pohofelec (850 m n.m.) v povodí říčky Břežné byla v okolí kaple Svaté Trojice a Severomoravské chaty v červnu 2005 zjištěna zvýšená gama aktivita 16 pramenů. Průměrná hodnota pozadí aktivity gama zde dosahuje 75 nGy/h na povrchu terénu a 95 nGy/h v jamce. Aktivita radonu byla měřena v šesti pramenech, nejvyšší hodnoty byly zjištěny v pramenech ST-5 A (1208 Bq/l) a ST-5 B (1380 Bq/l) (obrázek 21).

V tomto úseku nebyly dříve zjištěny radiometrické anomálie vázané na vývěry vody (archiv DIAMO).

Přehled všech měřených vývěrů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěrů jsou uvedeny v příloze číslo 1.



Obrázek 21: Mapa radioaktivity pramenů - úseky Svatá Trojice a Vysoký potok

pramen ST-5

Dva drobné blízké prameny ST-5 A a ST-5 B vyvěrají do bahnité tůňky (3 x 5 m) s hojným porostem rašeliníku, v mírném svahu 20 m nad cestou, 500 m západně od kaple Svaté Trojice. V organickém materiálu tůňky byly zjištěny výrazně zvýšené hodnoty aktivity gama záření (až 930 nGy/h proti pozadí 87 nGy/h). Při vhodném podchycení pramene lze předpokládat aktivitu radonu ve vodě větší než 1500 Bq/l.

Voda pramene ST-5 je studená (6,5°C), velmi málo mineralizovaná (50 mg/l), pH-neutrální (pH 6,4). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-SO₄-HCO₃.

V porovnání s ostatními prameny byly ve vodě vývěru ST-5 zjištěny zvýšené koncentrace síranů (25,2 mg/l), manganu (28,80 µg/l) a kobaltu (0,304 µg/l) a nejnižší koncentrace dusičnanů ze všech vzorků (0,85 mg/l).

V literatuře (Wagner 1931, Holluta 1929, Jirkovský 1953) zmiňované četné prameny se zvýšenou radioaktivitou, například pramen Rudolf (označovaný též p. Leopolda Grabnera), prameny v okolí Severomoravské chaty a další, zdaleka nedosahují kritéria 1500 Bq/l pro radioaktivní minerální vody, jejich aktivita se pohybuje v rozmezí pouze 300 – 1000 Bq/l.

Aktivita *Leopold Grabner Quelle* - známý „radioaktivní“ pramen Rudolf (ST-4) dosahovala pouze 460 Bq/l. Radioaktivní pramen č. 2 (RP-2) pod Severomoravskou chatou byl měřen pouze na přetoku ze skružené jímky, kde byla zjištěna aktivita ²²²Rn pouze 184 Bq/l. Další popisované „radioaktivní“ prameny nebyly nalezeny.

7.1.8 Úsek Vysoký potok

Na severním svahu hřbetu mezi vrcholy Jeřáb (1002 m n.m.) a Pohořelec (850 m n.m.) v povodí Vysokého a Zlatého potoka bylo měřeno 13 pramenů (obrázek 21). Zvýšená aktivita gama v sedimentech vývěru proti přirozenému pozadí byla zjištěna v 11 vývěrech. Aktivita gama pozadí je zde 80 nGy/h na povrchu a 92 nGy/h v jamce.

Dva prameny byly vzorkovány, maximální aktivita radonu byla zjištěna 966 Bq/l (vývěr VP-5).

V tomto úseku nebyly dříve zjištěny radiometrické anomálie vázané na vývěry vody (archiv DIAMO).

7.1.9 Úsek Králíky-Dolní Hedeč

Východně od města Králíky, v oblasti od obce Červený potok přes kóty Veselka a Vyhlídka, obec Dolní Hedeč po údolí Plynárenského potoka, bylo v rámci vyhledávacího průzkumu radioaktivních surovin v 50. letech objeveno velké množství emanačních a gama anomálií. Některé z nich jsou vázány na vývěry vody (všechny na listu mapy M-33-70-D, obrázek 22):

- anomálie č. 101 - bažinka u potoka, max. 172 μ R/h při silnici Králíky - Červený potok u odbočky na Prostřední Lipku - v místě nebyly nalezeny vývěry vody,
- anomálie č. 123 - velmi rozsáhlá anomálie gama v jamkách s prameny potůčku, max. 215 μ R/h - přesná lokalizace anomálie není zcela jasná, podle mapy leží přibližně v místech radioaktivních vývěrů severně od Dolní Hedeče, sousedí s dalšími radiometrickými anomáliemi.

V úseku Králíky - Dolní Hedeč bylo v červnu 2005 měřeno 15 vývěrů vod (obrázek 21). V 10 pramenech byla zjištěna zvýšená aktivita gama proti přirozenému pozadí. Průměrná hodnota pozadí aktivity gama zde dosahuje 113 nGy/h na povrchu terénu a 151 nGy/h v jamce.

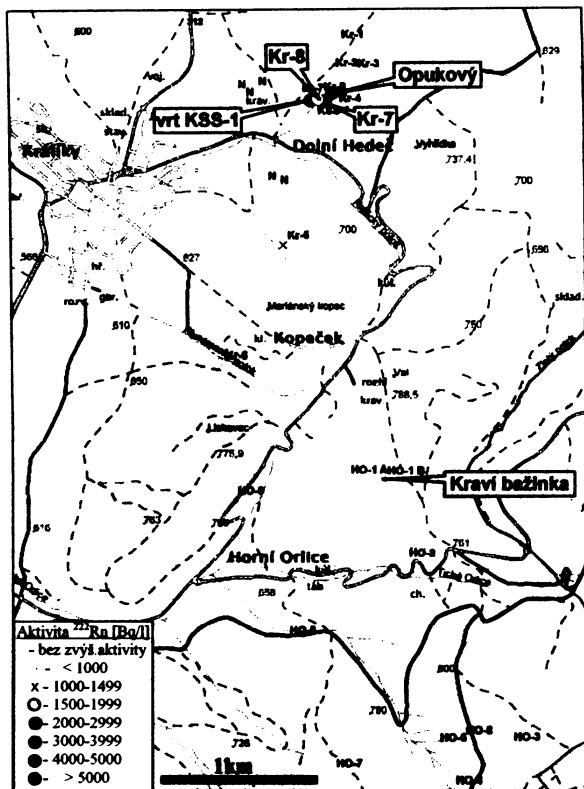
Aktivita radonu ^{222}Rn byla měřena ve vodě 7 pramenů, ve 4 z nich (Kr-4, Kr-7, Kr-8, KSS-1) byla zjištěna aktivita ^{222}Rn větší než 1500 Bq/l (obrázek 23).

Ve vrtu KSS-1 byla zjištěna nejvyšší aktivita radonu ve vodě - 5175 Bq/l, což je zároveň nejvyšší zjištěná aktivita ^{222}Rn ze všech vývěrů měřených v orlicko-sněžnické klenbě.

Přehled všech měřených vývěrů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěrů jsou uvedeny v příloze číslo 1.



Obrázek 22: Úseky Králíky - Dolní Hedeč a Horní Orlice - výřez z mapy radiometrických anomálií 1 : 50 000 závodu UP-IV Nové Město n. Mor., list M-33-70D, Archiv DIAMO a.s., o.z. Dolní Rožinka



Obrázek 23: Mapa radioaktivity pramenů - úseky Králíky - Dolní Hedeč a Horní Orlice

Vrt KSS-1

Nejvýznamnějším zdrojem radioaktivní vody zjištěným v orlicko-sněžnické klenbě je přetokový vrt KSS-1, cca 400 m severovýchodně od stavení č.p. 49 v Dolní Hedeči při pravém břehu bezejmenného potoka (obrázek 24).

Aktivita radonu v přetékající vodě dosahuje 5175 Bq/l (opakovaná měření), při kolísavém přetoku cca 0,07 l/s.

Vrt hloubky 80,0 m, určený pro zásobování Státního statku Králíky, byl vyroben v roce 1990 (Vodní zdroje Zličín, Zýma 1991). Vrt je vystrojen ocelovými zárubnicemi \varnothing 219 mm do hloubky 51 m, v hloubce 50-80 m zárubnicemi \varnothing 168 mm. Perforovány jsou úseky 39,0-50,0 m a 55,2-74,7 m. Vrt zastihl kvartérní pokryv v mocnosti 10,5 m (hlíny a hlinité písky), silně zvětralé ruly a od 26 m pod povrchem terénu kompaktní ruly do hloubky 80 m. Po odvrtání byla zjištěna hladina vody v úrovni +0,80 m nad odměrným bodem, tj. 1,30 m nad povrchem terénu. Čerpací zkouškou byla ověřena vydatnost vrtu 0,54 l/s při snížení 51,31 m od odměrného bodu. V průběhu čerpací zkoušky byly zjištěny aktivity radonu 4920 Bq/l a 5030 Bq/l (Zýma, 1991) (způsob měření není znám). Z důvodu zjištěné vysoké aktivity radonu ve vodě není vrt využíván.

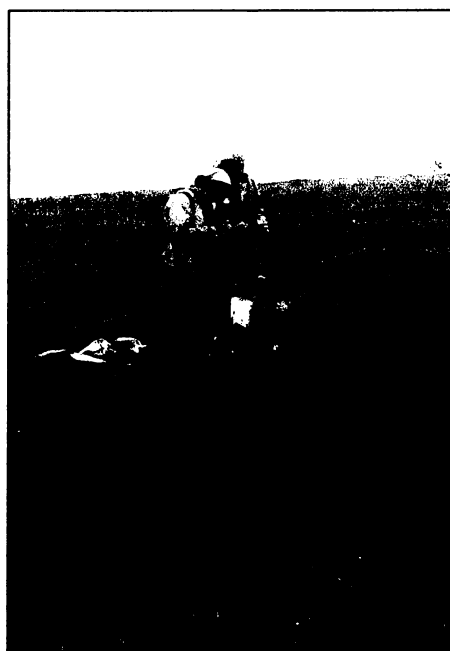
Ve stružce odvádějící přetékající vodu byly na organickém materiálu zjištěny extrémní hodnoty intenzity gama záření - více než 9600 nGy/h.

Lokalitou s výskytem neaktivnějších pramenů je mělké údolí pod kótami Veselka a Vyhlídka na severním okraji obce Dolní Hedeč. Z hydrologického hlediska lokalita náleží povodí Králického potoka (1-02-02-004), pravostranného přítoku Tiché Orlice.

Geologická situace lokality není zcela jasná. V ortorulách jádra orlicko-sněžnické klenby byly v blízkém okolí vývěru Kr-4 zjištěny zvětralé opuky, v zářezu ve svahu za stavením č.p. 49 (Dolní Hedeč) se rovněž vyskytují opuky (výchoz). Lokalita je pravděpodobně součástí tektonicky komplikovaného východního okraje kladského prolomu.

Tato lokalita je velmi perspektivní z hlediska možnosti balneologického využití vod s vysokým obsahem rozpuštěného radonu ^{222}Rn .

Průměrná hodnota pozadí aktivity gama zde dosahuje 120 nGy/h na povrchu terénu a 193 nGy/h v jamce.



Obrázek 24: Přetokový vrt KSS-1 na okraji obce Dolní Hedeč u Králík - objekt s nejvyšší zjištěnou objemovou aktivitou radonu ve vodě v oblasti orlicko-sněžnické klenby (5175 Bq/l, přetok 0,07 l/s).

Foto Tomáš Lipanský

Voda z přetokového vrtu KSS-1 je studená (8,1°C), velmi málo mineralizovaná (81 mg/l), slabě kyselá (pH 6,1). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-HCO₃-NO₃.

Ve vzorku vody z vrtu KSS-1 byla ze všech odebraných vzorků zjištěna nejvyšší koncentrace dusičnanů (24,0 mg/l), chloridů (5,9 mg/l), fluoridů (0,54 mg/l), sodíku (8,5 mg/l), železa (0,25 mg/l), kadmia (0,69 µg/l) a bismutu (0,23 µg/l), zvýšené koncentrace manganu (19,45 µg/l) a arsenu (7,98 µg/l). Nejnižší ze všech vzorků jsou koncentrace síranů (2,5 mg/l), hliníku (2 µg/l), chromu a stříbra (<0,005 µg/l).

pramen Opukový (Kr-4)

Vývěr označený Kr-4 (obrázek 25) se nachází na okraji louky v mírném svahu na levém břehu bezejmenného potoka, asi 150 m severovýchodně od vrtu KSS-1.

Aktivita vody vyvěrající z opuky výrazně kolísá - v červnu 2005 dosahovala 1955 Bq/l, při vzorkování pramenů v listopadu 2005 byla zjištěna aktivita radonu pouze 978 Bq/l, při kontrolním měření aktivity některých pramenů v květnu 2006 byla aktivita radonu nejvyšší - 2415 Bq/l.

Voda má chuť typickou pro vývěry z křídových opuk. Geologická pozice opuk v okolních ortorulách není jasná, pravděpodobně se jedná o tektonicky zavlečené horniny komplikovaného okraje kladského prolomu.

Voda Opukového pramene je studená (8,9°C - nejteplejší ze všech měřených vývěrů), velmi málo mineralizovaná (79 mg/l), slabě kyselá (pH 5,4), s relativně vysokou konduktivitou (14,7 mS/m) a celkovou tvrdostí (0,42 mmol/l). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-SO₄-HCO₃-NO₃.

Ve vodě Opukového pramene byly zjištěny ze všech odebraných vzorků nejvyšší koncentrace draslíku (1,8 mg/l) a hořčíku (2,0 mg/l), zvýšené koncentrace dusičnanů (17,0 mg/l), fluoridů (0,36 mg/l), stroncia (37,5 µg/l) a kadmia (0,52 µg/l).

V porovnání s vodou vrtu KSS-1, situovaného na opačném svahu mělkého údolí ve vzdálenosti cca 80 m, obsahuje voda Opukového pramene výrazně méně chloridů (0,3 mg/l proti 5,9 mg/l), arsenu (0,75 µg/l proti 7,98 µg/l) manganu (3,38 µg/l proti 34,75 µg/l); více síranů (19,8 mg/l proti 2,5 mg/l), hliníku (60 µg/l proti 2 µg/l) a stroncia (37,5 µg/l proti 16,7 µg/l).

další vývěry v okolí vrtu KSS-1

V bažinaté tůňce 80 m jižně od Opukového pramene byla zjištěna aktivita radonu ve vývěru Kr-7 v červnu 2005 - 1898 Bq/l, v listopadu 2005 - 1840 a v květnu 2006 - 2013 Bq/l. Dno tůňky v hloubce 60 cm je tvořeno písčítými zvětralinami ortorul. Intenzita záření gama v bahnitě výplni tůňky vzrůstá do hloubky. Při podchycení vývěru ve větší hloubce lze předpokládat zvýšení aktivity radonu.

Vývěr Kr-8 v bažince při pravém břehu potoka 40 m severně od vrtu KSS-1 má aktivitu radonu 1955 Bq/l v řídkém bahně, které pokrývá širší část údolí potoka v mocnosti přesahující 0,5 m. Bahno velmi pomalu deemanuje. Tento radioaktivní peloid je vhodný pro balneologické využití.



Obrázek 25: Opukový pramen v Dolní Hedči u Králík, aktivita radonu kolísá v závislosti na průtoku v rozmezí 980 až 2415 Bq/l.

Foto Barbora Paterová

Mariánský pramen – tradičně považovaný za radioaktivní

Pramen Panny Marie v údolí Plynárenského potoka, tradičně považovaný za léčivý a radioaktivní, vykazuje aktivitu radonu pouze 472 Bq/l. Další prameny v okolí, využívané pro zásobování Králík pitnou vodou, v literatuře popisované jako radioaktivní (Wagner 1931, Holluta 1929) nebyly měřeny z důvodu uzamčení jímacích šachet.

7.1.10 Úsek Horní Orlice

V širším okolí obce Horní Orlice v pramenné oblasti Tiché Orlice se nachází řada radiometrických anomálií, z nichž některé jsou vázány na vývěry vod (archiv DIAMO, obrázek 22).

V úseku Horní Orlice byla v červnu 2005 měřena aktivita deseti pramenů, ve všech byla zjištěna zvýšená aktivita gama proti přirozenému pozadí. Aktivita radonu ^{222}Rn byla měřena ve vodě 7 vývěrů (obrázek 23).

Žádný z měřených pramenů nedosahuje aktivity radonu 1500 Bq/l, nejvyšší aktivita byla zjištěna v prameni Kraví Bažinka (HO-1 B) - 978 Bq/l. Aktivita pramene Tiché Orlice (HO-3) byla zjištěna 667 Bq/l ze vzorku.

Z Kraví Bažinky (HO-1) byl v listopadu 2005 odebrán vzorek vody. Voda je studená (7,9°C), velmi málo mineralizovaná (74 mg/l), slabě kyselá (pH 5,7). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-SO₄-HCO₃.

Voda z vývěru HO-1 obsahuje proti ostatním vzorkům výrazně vysoké koncentrace hliníku (1742,0 µg/l), zinku (128,0 µg/l), chromu (3,57 µg/l), manganu (34,78 µg/l), niklu (1,69 µg/l) a síranů (26,6 mg/l). Dále jsou zvýšené koncentrace železa (0,12 mg/l), vanadu (0,32 µg/l) a stroncia (42,0 µg/l). Naproti tomu nízká je koncentrace uranu (0,29 µg/l).

Voda byla při odběru vzorku vizuálně čirá, mírně opaleskující. Filtrace vody byla i přes relativní vizuální čistotu velmi obtížná, voda měla povahu řídkého gelu (sólů), velmi pravděpodobně v důsledku aktuální precipitace hydratovaných oxidů hliníku.

Zvláště je Bublavý pramen (HO-4), vývěr pod Obrázkovou cestou jv. od pramene Tiché Orlice. Aktivita ^{222}Rn ve vodě je 989 Bq/l, z jemného ortorulového štěrku na dně vycházejí v pravidelných intervalech (cca 1 minuta) bubliny nepáchnoucího plynu, voda nemá charakter kyselky (neperlí).

V místě anomálie č. 163 na západním svahu vrchu Lískovec, s pramenem (max. 148 kBq/m³ – archiv DIAMO) nebyly nalezeny vývěry vody.

Přehled všech měřených vývěrů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěrů jsou uvedeny v příloze číslo 1.

7.1.11 Úsek Orličky

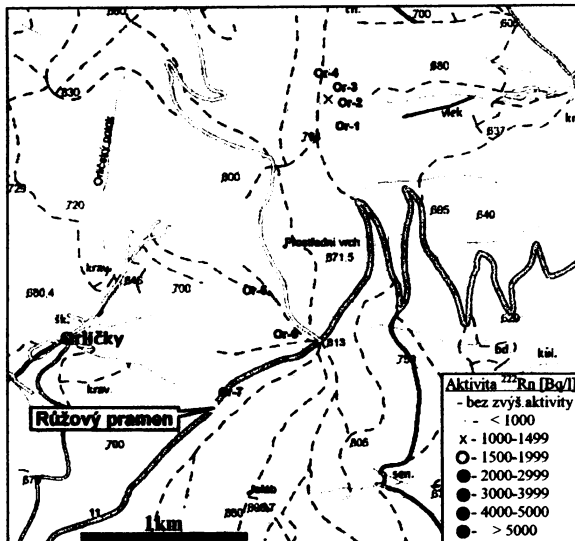
V oblasti od obce Orličky po Červenou Vodu byly zjištěny četné vývěry vod, některé z nich v blízkosti radiometrických anomálií - emanační anomálie č. 050, 052, 055, 056, 057, 059 a 061 listu M-33-70-C (archiv DIAMO, obrázek 26).

Na svazích Suchého vrchu a v okolí obce Orličky bylo v červnu 2005 zjištěno 7 pramenů se zvýšenou aktivitou gama proti přirozenému pozadí. Průměrná hodnota pozadí aktivity gama zde dosahuje 86 nGy/h na povrchu terénu a 106 nGy/h v jamce. Hranici aktivity radonu 1500 Bq/l překročila pouze voda Růžového pramene (Or-7) (obrázek 27).

Přehled všech měřených vývěrů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěrů jsou uvedeny v příloze číslo 1.



Obrázek 26: Úsek Orličky - výřez z mapy radiometrických anomálií 1 : 50 000 závodu UP-IV Nové Město n. Mor., list M-33-70C, Archiv DIAMO a.s., o.z. Dolní Rožinka (čtvercová síť 1x1 km)



Obrázek 27: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Orličky

Růžový pramen (pramen u stromu číslo 11)

Nejvyšší aktivita radonu byla zjištěna v Růžovém prameni (Or-7). Aktivita vzorku vody přesahovala hranici 1500 Bq/l (1553 Bq/l), tato hodnota však nebyla potvrzena měřením in situ (pouze 966 Bq/l).

Voda Růžového pramene (Or-7) je studená (6,3°C), velmi málo mineralizovaná (51 mg/l), slabě kyselá (pH 5,6). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-SO₄-HCO₃. Voda je slabě narůžovělá s nahořklou chutí.

Voda obsahuje proti ostatním pramenům výrazně více stroncia (43 µg/l), barya (173,04 µg/l) a radia (0,091 Bq/l), mírně zvýšené jsou koncentrace hořčíku (2,0 mg/l) a stříbra (0,157 µg/l).

7.1.12 Úsek Mladkov - Těchonín

Četné radiometrické anomálie byly nalezeny v okolí Mladkova a v údolí Těchonínského potoka. S vývěry vody volně souvisí pouze anomálie č. 019 a 030 listu M-33-70-C (archiv DIAMO, obrázek 28).

V místě anomálie 019 nebyly nalezeny žádné vývěry vody ani zvýšená intenzita záření gama proti přirozenému pozadí.

V místě anomálie č. 030 nebyly zjištěny zvýšené hodnoty intenzity gama záření proti přirozenému pozadí.

V okolí Mladkova a v údolí Těchonínského potoka byla v červnu 2005 měřena radioaktivita více než 60 vývěrů vod, z nichž pouze u 8 byla zjištěna zvýšená gama aktivita proti přirozenému pozadí



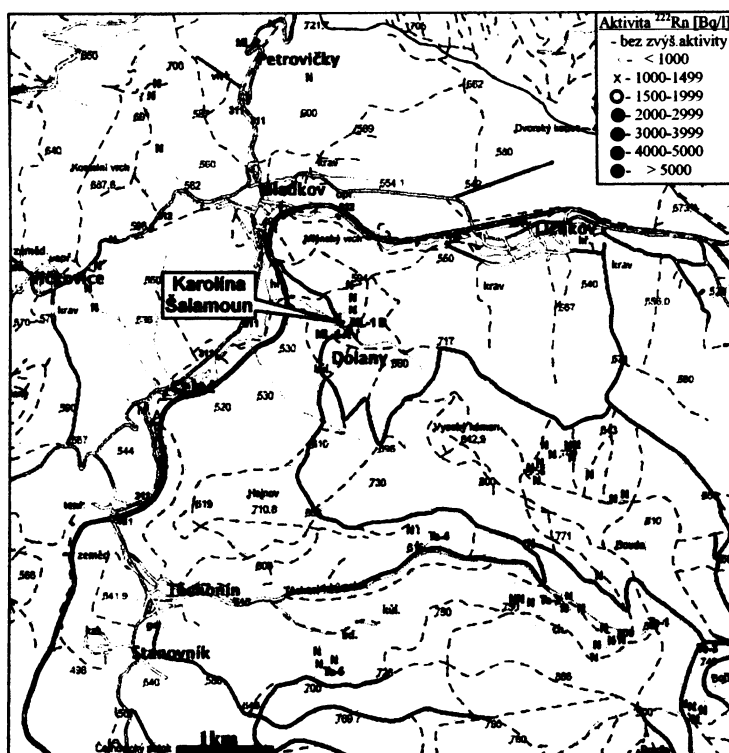
Obrázek 28: Úsek Mladkov-Těchonín - výřez z mapy radiometrických anomálií 1 : 50 000 závodu UP-IV Nové Město n. Mor., list M-33-70C, Archiv DIAMO a.s., o.z. Dolní Rožinka (čtvercová síť 1x1 km)

(obrázek 29).

Aktivita radonu byla měřena ve vodě 16 pramenů, hranici 1500 Bq/l přesahuje voda pramenů Šalamoun (Ml-1 A) - 1553 Bq/l a Karolína (Ml-1 B) - 1668 Bq/l.

V údolí Těchonínského potoka a pramenné oblasti Boříkovického potoka vyvěrají velmi četné drobné prameny. Většina z nich však nejeví zvýšenou intenzitu záření gama v sedimentech vývěru proti přirozenému pozadí.

Přehled všech měřených vývěrů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěrů jsou uvedeny v příloze číslo 1.



Obrázek 29: Mapa radioaktivity pramenů - úsek Mladkov - Těchonín

Vývěry radioaktivních vod v okolí Mladkova byly objeveny již během prvních měření radioaktivity pramenů v oblasti orlicko-sněžnické klenby (Wagner 1931, Holluta 1929). Pramen na svahu *Mühlbergu* (Mlýnský vrch nad Mladkovem) jihovýchodně od železniční stanice, měřili se shodnými výsledky Holluta (1350 Bq/l) i Wagner (1330 Bq/l).

Tyto prameny v Mladkově byly nově měřeny v roce 2004 (Goliáš, nepublikovaná data) - ve svahu nad cestou byly ve dvou antropogenních zářezích nalezeny vývěry vody s aktivitou 1120 Bq/l a 1176 Bq/l. Jedná se pravděpodobně o dva vývěry téhož zdroje (větve). Zjištěná aktivita velmi dobře koreluje s aktivitami radonu naměřenými Hollutou i Wagnerem.

V červenci 2004 byly oba blízké vývěry nově podchyceny a pojmenovány Šalamoun (Ml-1 A) a Karolína (Ml-1 B) (obrázek 29).

Obrázek 30: Prameny Karolína (bližší) a Šalamoun (vzdálenější) nad cestou od železniční stanice Mladkov k tvrzi Bouda, po úpravě v červenci 2004. Aktivity radonu 1668 Bq/l a 1558 Bq/l.



pramen Karolína

Pramen Karolína (Ml-1 B) je méně vydatný, ale aktivnější vývěr v zářezu ve svahu nad cestou, blíž k cestě.

Výkopovými pracemi v zářezu nad pramenem byly zjištěny sněžnické ortoruly, porušené četnými puklinami s vyvěrající radioaktivní vodou. Na dno rýhy byla položena perforovaná trubka (HDPE, profil 32 mm). Dva metry od čela rýhy byla vybudována 25 cm široká hrázka z litého betonu, před kterou byla vyvedena trubka s radioaktivní vodou. Prostor za hrázkou byl vyplněn praným štěrkopískovým materiálem rozvětralých ortorul. Retenční prostor byl překryt protiradonovou zemní fólií z vysocesítovaného polyethylenu (HDPE), která výrazně omezuje unikání radonu z vody a zároveň zabraňuje kontaminaci zdroje radioaktivní vody infiltrací srážkových vod.

V prostoru hrázky pramene Karolína byla zpod izolační fólie vyvedena nad povrch trubka pro inhalace radonu (obrázek 30). Fólie byla dále těsněna vrstvou dusaného hlinitého materiálu a povrch byl upraven záhozem.

Hrázky se ztraceným bedněním byly z vnější strany utěsněny relativně nepropustným zásypem ze siltového pokryvu z okolí a nepraného materiálu z výkopů. Čelo hrázky bylo upraveno z místního kamene ve formě na sucho skládané zidky.

Po podchycení byla zjištěna aktivita radonu ve vodě pramene Karolína 1524 Bq/l při vydatnosti 0,13 l/s. Aktivita radonu ve vzduchu z inhalačního bodu byla 1360 Bq/l.

V roce 2005 byl pramen Karolína opět měřen, v červnu byla zjištěna aktivita ^{222}Rn 1553 Bq/l, v listopadu 2005 aktivita 1668 Bq/l.

Voda pramene Karolína je studená (7,7°C), velmi málo mineralizovaná (58 mg/l), slabě kyselá (pH 5,4). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-SO₄-NO₃-HCO₃.

Ve vzorku vody pramene Karolína byly zjištěny ze všech vzorků nejnižší koncentrace iontů HCO₃⁻ (8,5 mg/l), olova (0,17 µg/l), nízká je koncentrace uranu (0,29 µg/l). Aktivita radia ^{226}Ra byla zjištěna menší než mez detekce metody (0,01 Bq/l). Mírně vyšší je koncentrace hořčíku (1,9 mg/l).



Obrázek 31: Inhalační bod instalovaný při podchycení pramene Karolína v červenci 2004. Aktivita radonu ve vzduchu 1360 Bq/l. Foto Viktor Goliáš.

pramen Šalamoun

Vydatnější, méně aktivní pramen výše ve svahu nad pramenem Karolína byl nazván pramen Šalamoun (Ml-1 A).

Podchycovací výkopové práce na prameni Šalamoun byly ukončeny v kvartérním pokryvu, skalní výchoz nebyl zastižen. Do vývěru ze sutí byla položena perforovaná trubka (HDPE, profil 32 mm). Dva metry od čela rýhy byla vybudována 25 cm široká hrázka z litého betonu, před kterou byla vyvedena trubka s radioaktivní vodou. Prostor za hrázkou byl vyplněn praným štěrkopískovým materiálem rozvětralých ortorul. Retenční prostor byl překryt protiradonovou zemní fólií z vysocesítovaného polyethylenu (HDPE). Inhalační bod nebyl na prameni Šalamoun vytvořen. Úprava terénu byla provedena obdobně jako u pramene Karolína.

Po podchycení byla zjištěna aktivita radonu ve vodě pramene Šalamoun 1284 Bq/l při vydatnosti 0,36 l/s.

V roce 2005 byl pramen Šalamoun opět měřen, v červnu byla zjištěna aktivita ^{222}Rn 1438 Bq/l, v listopadu 2005 aktivita 1553 Bq/l.

V okolí pramenů Šalamoun a Karolína byla měřena aktivita radonu ve 12 dalších vývěrech, s nejvyšší aktivitou 676 Bq/l ve vývěru asi 80 m západně od pramene Šalamoun.

Ve stráni nad nádražím, odkud Jetel a Rybářová (1979) popisují pramen Republika a další radioaktivní vývěry, nebyly žádné vývěry vod se zvýšenou aktivitou ^{222}Rn nalezeny.

pramen knížete Rostislava - tradičně považovaný za radioaktivní

Vývěry radioaktivních vod, dnes podchycené jako prameny Šalamoun a Karolína, byly v minulosti (v poválečném období?) svedeny kameninovými rourami po svahu k cestě, kde byla voda vyvedena do pomníčku, pramen byl pojmenován knížete Rostislava. V roce 2004 byl pramen měřen, s velmi nepříznivým výsledkem - aktivita radonu ve vodě vytékající z pomníčku byla pod mezí stanovitelnosti (pod 5 Bq/l).

Při podrobném ohledání okolí pramene bylo zjištěno, že „Radioaktivní pramen knížete Rostislava“ je pouze zachycený výtok vody z potůčku přitékajícího z lesa, napájeného prameny Šalamoun a Karolína. Původní kameninové roury svádějící vodu z vývěrů nad cestou do pomníčku byly pravděpodobně v minulosti odcizeny. Radon z vody tekoucí potůčkem po povrchu velmi rychle uniká, proto byla v pomníčku zjištěna zanedbatelná aktivita.

7.1.13 Úsek Říčky

V Orlických horách byly v okolí Říček na území mezi Kamencem, Rokytnicí v Orl. h. a státní hranicí nalezeny četné radiometrické anomálie (obrázek 32), v některých případech indikující výskyty uranového zrudnění. V této oblasti nebyly při podrobném studiu jednotlivých anomálií v archivu DIAMO zjištěny žádné anomálie související s vývěry vody.

Preclík (1967) popisuje v oblasti Orlických hor anomálie vázané na vývěry vod:

- sv. okolí obce Říčky - 12 radiometrických anomálií, vázané převážně na žíly lamprofytrů, z nich 4 vázané na vývěry radioaktivních vod,
- okolí Zákoutí a Deštné - 7 komplexních anomálií v silně zvodnělém terénu, 1 způsobená vývěrem radioaktivní vody,
- sz. od Hadince - 5 anomálií na žilách lamprofytrů, další 4 způsobené výrony radioaktivních vod.

Intenzita gama záření ani výsledky emanačních měření na těchto anomáliích nejsou dostupné (začerněno). Přesnou polohu anomálií vázaných na vývěry radioaktivních vod však Preclík (1967) neuvádí.

V červnu roku 2005 bylo na úseku Říčky zjištěno 16 pramenů se zvýšenou aktivitou gama proti přirozenému pozadí. Aktivita radonu byla měřena ve vodě čtyř pramenů (obrázek 33). Přehled všech měřených vývěrů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěrů jsou uvedeny v příloze číslo 1.

pramen Loučka

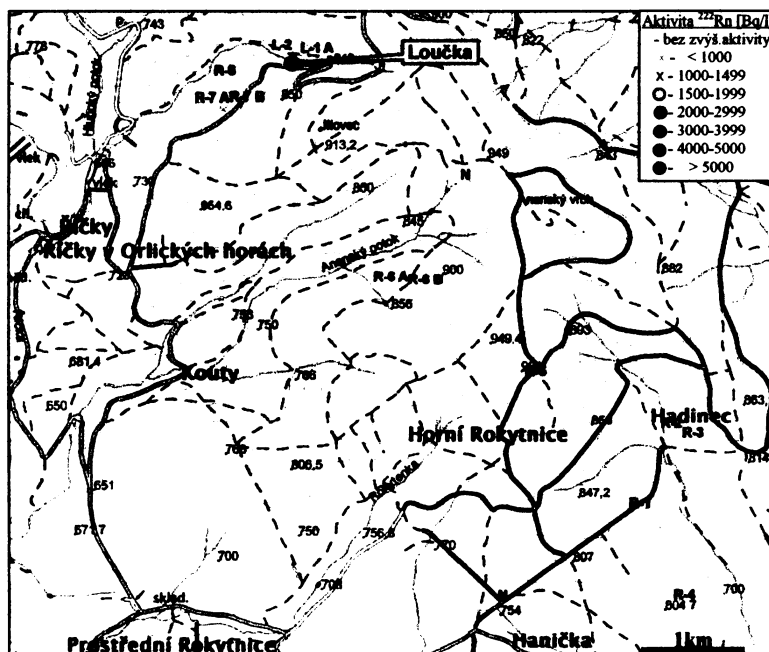
Nejvyšší aktivitu radonu dosáhla voda z pramene Loučka (L-1) - 2109 Bq/l. Při vzorkování a měření vybraných pramenů v listopadu 2005 byla zjištěna aktivita radonu 1783 Bq/l.

Voda pramene Loučka (L-1) je studená (6,7°C), velmi málo mineralizovaná (77 mg/l), pH neutrální (pH 6,3). Chemický typ vody (molární) je Ca-Na-HCO₃. Voda má mírně nahořklou chuť.

Ve vzorku vody byly zjištěny ze všech analyzovaných vzorků nejvyšší koncentrace barya (715,2 $\mu\text{g/l}$) a uranu (2,68 $\mu\text{g/l}$), dále vysoké koncentrace iontů HCO_3^- (41,0 mg/l), chromu (0,93 $\mu\text{g/l}$) a vanadu (0,20 $\mu\text{g/l}$). Naproti tomu byly zjištěny nejnižší koncentrace kadmia (0,08 $\mu\text{g/l}$) a thoria (<0,005 $\mu\text{g/l}$). Anomální koncentrace barya a uranu mohou být způsobeny přítomností blízké (fluorit)-barytové mineralizace za doprovodu drobného uranového zrudnění.



Obrázek 32: Úsek Říčky - výřez z mapy radiometrických anomálií 1 : 50 000 závodu UP-IV Nové Město n. Mor., list M-33-69B, Archiv DIAMO a.s., o.z. Dolní Rožinka (čtvercová síť 1x1 km)



Obrázek 33: Mapa radioaktivity pramenů v úseku Říčky

7.1.14 Úsek Rychlebské hory

V Rychlebských horách byla v oblasti výskytu ortorul a jejich kontaktu s metamorfity obalu orlicko-sněžnické klenby zjištěna řada radiometrických anomálií (obrázek 34) a byla zde těžena uranová ložiska Javorník (Zálesí) a Jelení vrch (Stárková, Zrůstek 1976). Přesto v této oblasti nebyly při terénním měření radioaktivity pramenů v červenci 2006 při nízkých vydatnostech pramenů zjištěny žádné vývěry vod s aktivitou radonu ^{222}Rn dosahující 1000 Bq/l.

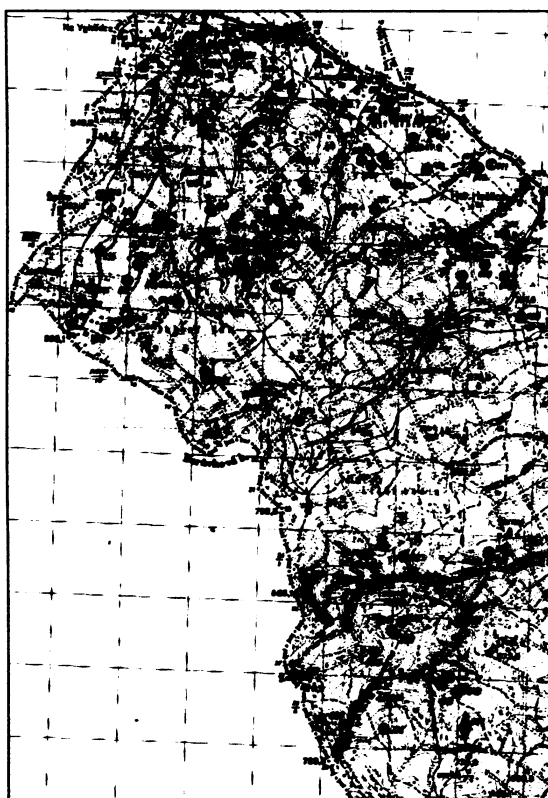
V archivu DIAMO bylo z Rychlebských hor nalezeno 8 radiometrických anomálií vázaných na vývěry vod nebo mokřiny (mapový list M-33-58-D):

- anomálie č. 001 - mokřina pod výchozem uranové žíly ložiska Javorník (Zálesí) - mokřina nenalezena, ložisko je v současnosti odvodňováno štolovými patry.
- anomálie č. 035, 041 a 091 v blízkosti uranového ložiska Jelen, max. 832 kBq/m³ - bažinky byly v době měření vyschlé,
- anomálie č. 044, 045, 047 a 053 jihozápadně od ložiska Jelen, 340 kBq/m³ - prameny byly v době měření vyschlé, anomálie č. 044 nenalezena, pravděpodobně je v mapě chybně zakreslena.

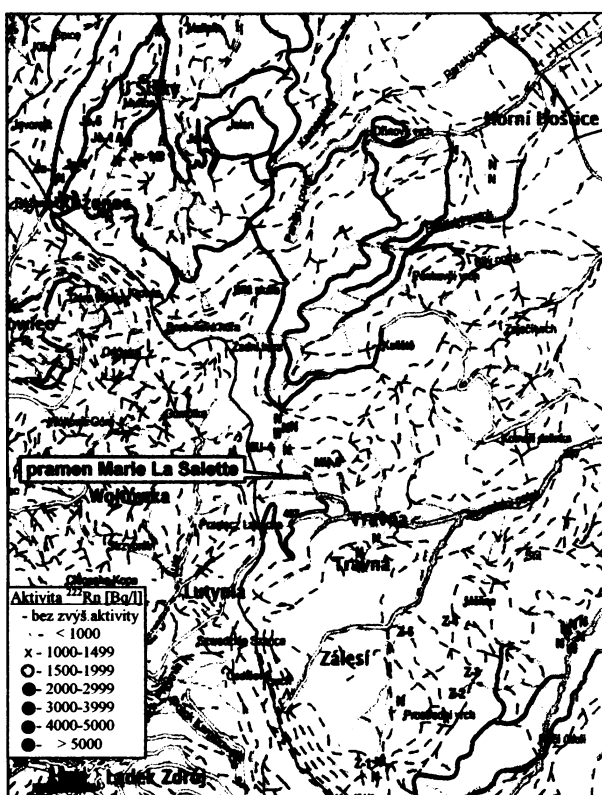
Celkem bylo v úseku Rychlebské hory měřeno 40 pramenů (obrázek 35) v okolí ložisek Jelení vrch a Javorník (Zálesí), v Mariánském a Račím údolí a v okolí hradu Rychleby a Horních Hoštic. Pouze 6 pramenů jeví zvýšenou aktivitu gama v sedimentech pramene proti přirozenému pozadí.

Aktivita radonu byla měřena ve vodě deseti vývěrů, maximální hodnota 656 Bq/l byla zjištěna ve vývěru Je-4, západně od Jeleního vrchu.

Přehled všech měřených vývěrů, zjištěné intenzity gama záření, výsledky měření aktivity radonu a GPS souřadnice jednotlivých vývěrů jsou uvedeny v příloze číslo 1.



Obrázek 34: Úsek Rychlebské hory - výřez z mapy radiometrických anomálií 1 : 50 000 závodu UP-IV Nové Město n. Mor., list M-33-58D, DIAMO a.s., o.z. Dolní Rožínka (čtvercová síť 1x1 km)



Obrázek 35: Mapa radioaktivity pramenů v úseku Rychlebské hory

pramen Marie La Salette v Travné – tradičně považovaný za radioaktivní

V Mariánském údolí u Travné byla měřena aktivita pramene Panny Marie La Salette (obrázek 36), který je tradičně považován za radioaktivní a léčivý. Ve vyvěrající vodě byla zjištěna aktivita radonu pouze 265 Bq/l. Tato hodnota aktivity neopravňuje vodu nazývat radioaktivní.



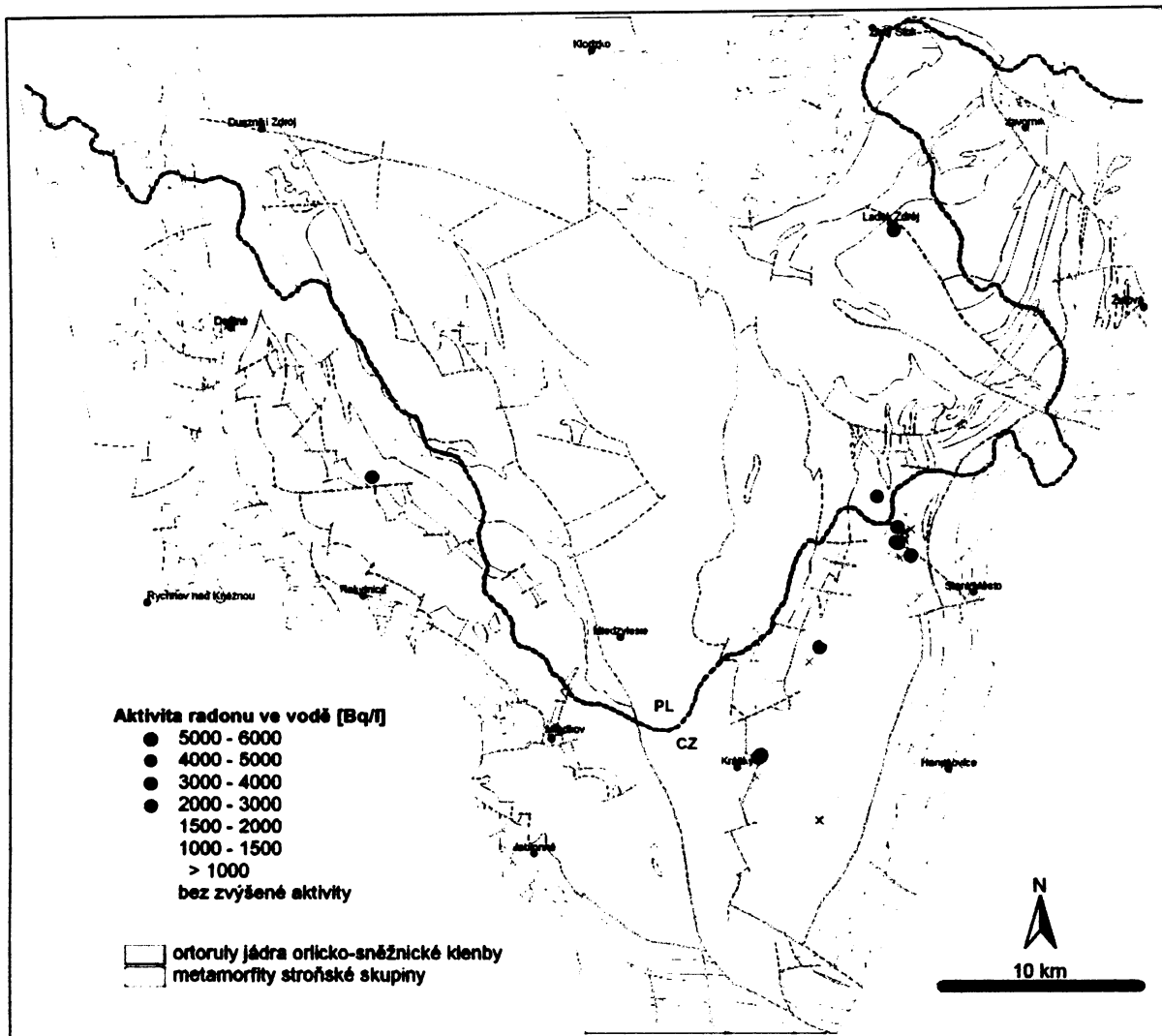
Obrázek 36: Pramen Panny Marie La Salette v Mariánském údolí u Travné, tradičně považovaný za radioaktivní a léčivý. Aktivita radonu pouze 265 Bq/l. Foto B. Paterová

Přehled vývěrů radioaktivních minerálních vod (aktivita $^{222}\text{Rn} > 1500 \text{ Bq/l}$) je uveden v tabulce číslo 6, přehled všech měřených pramenů (označení, aktivita ^{222}Rn , intenzita gama záření, průtok, GPS souřadnice) je uveden v příloze č.1. Mapa radioaktivity pramenů měřených v oblasti orlicko-sněžnické klenby je zobrazena na obrázku 37.

V celé oblasti orlicko-sněžnické klenby byla měřena gama aktivita cca 160 dalších pramenů, pokud však nebyla zjištěna zvýšená aktivita pramene vzhledem k aktivitě gama pozadí, pozice pramene nebyla zaměřena přístrojem GPS, ale pouze orientačně zanesena do mapy.

Tabulka 6: Prameny s aktivitou ^{222}Rn větší než 1500 Bq/l.

Úsek	Pramen		aktivita ^{222}Rn [Bq/l]	poznámka
	označení	název		
Střbrnice	S-4	Čtrnáctka	2 415	po podchycení, původní vývěry S-4A 2128 Bq/l, S-4B 2243 Bq/l, S-4C 2472 Bq/l, voda v šachtici z příčných puklin 2485 Bq/l
	S-6	Jakubův pramen	2 358	původní vývěry S-6A 2358 Bq/l, S-6B 2128 Bq/l, po podchycení 2070 Bq/l
	S-14	Marie	2 300	po podchycení, původní vývěry S-14A 2128 Bq/l, S-14B 1840 Bq/l, S-14C 1955 Bq/l
	S-15	Jelení koupel	2 013	vývěr S-15 B
	S-16	U Devíti prasátek	1 610	vývěr S-18 D
	S-9		1 610	
Střbrnice-jih	H-1		1 840	
Králský – Dolní Hedeč	KSS-1	vrt KSS-1	5 175	vrt KSS-1, přetok cca 0,07 l/s
	Kr-4	Opukový pramen	2 415	vývěr Kr-4
	Kr-7		2 012	
	Kr-8		2 415*	radioaktivní peloidy u vrtu KSS-1 (* aktivita řídkého bahna)
Trojmórski Wierch	TV-5	pramen Rybníček	1898	vývěr TV-5 B
Mladkov	MI-1 B	Karolína	1 668	vývěr MI-1 B po podchycení
	MI-1 A	Šalamoun	1 553	vývěr MI-1 A po podchycení
Říčky	L-1	pramen Loučka	2 109	vývěr L-1
Orličky	Or-7	Růžový pramen	1 553	vývěr Or-7
Mlýnský potok	MP-2		1 955	
	MP-5 A		1 668	
	MP-5 B		2 128	
	MP-10		1 898	



Obrázek 37: Mapa radioaktivity pramenů nově nalezených či ověřovaných v orlicko-sněžnické klenbě. V polské části doplněny aktivity pramenů podle Przylibského (2005). Geologická mapa upravena podle Cymermana (1997) a Opletala (1980).

7.2. Chemické rozborů

Ze vzorků vody odebraných ze 16 vybraných radioaktivních pramenů v listopadu 2005 bylo stanoveno celkem 36 chemických, fyzikálních a radiologických ukazatelů, dalších 5 ukazatelů bylo stanoveno přímo v terénu.

Vody všech vzorkovaných pramenů jsou studené, velmi málo mineralizované, neutrální až slabě kyselé. Z chemického hlediska je převládajícím chemickým typem vod (molární typ) $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4$ (5 vzorků) a $\text{Ca-Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ (4 vzorky). Dále se byly zjištěny vody typu $\text{Na-Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$, $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-NO}_3$, $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-NO}_3$, $\text{Ca-Na-SO}_4\text{-HCO}_3\text{-NO}_3$, $\text{Ca-Na-SO}_4\text{-NO}_3\text{-HCO}_3$, Ca-Na-HCO_3 a Ca-HCO_3 (po 1 vzorku).

Ve vodě některých vzorkovaných pramenů byly zjištěny výrazně zvýšené koncentrace některých kovů, které jsou pravděpodobně způsobeny mineralogickými anomáliemi v horninách, z nichž vyvěrají radioaktivní vody. Mírně zvýšená koncentrace dusičnanů ve vzorku vody z Opukového pramene v Králíkách-Dolní Hedči je pravděpodobně způsobena zemědělskou činností na okolních polích a pastvinách.

Celkový přehled všech zjištěných hodnot je uveden v tabulce v příloze č. 2.

Jednotlivé ukazatele - terénní měření a základní fyzikálně-chemický rozbor

Teplota vod je celkově nízká, pohybuje se mezi 5,0 - 8,9°C, mírně klesá s rostoucí nadmořskou výškou. Nejvyšší je teplota Mléčného pramene (KS-10), vyvěrajícího z krasových systémů v masivu Králického Sněžníku.

Hodnoty pH zjištěné v terénu se pohybují v rozmezí 5,0 až 6,5 - nejnižší hodnoty v pramenech S-9, S-14 a S-15, nejvyšší HO-1 a TV-5. Laboratorně zjištěné hodnoty pH (25°C, časová prodleva od odběru) se pohybují mezi 5,6 a 6,3 u čtrnácti vzorků, vyšší hodnota (6,7) byla zjištěna ve vodě z pramene L-1 a maximální hodnota ve vodě pramene KS-10 (7,4).

Konduktivita vod vzorkovaných pramenů je velmi nízká, což je způsobeno výrazně sníženou schopností ortorul obohacovat podzemní vody minerálními látkami. Zjištěné hodnoty se pohybují od 4,6 do 15,3 mS/m (terénní měření) a od 4,2 do 14,3 mS/m (laboratorní měření (25°C, časová prodleva od odběru)). Nejnižší konduktivitu mají vody z pramenů v úseku Stříbrnice, nejvyšší hodnoty vody z oblasti Králík. Nejvyšší hodnota byla zjištěna v krasovém prameni KS-10 (Mléčný pramen).

Velmi nízká je též celková mineralizace analyzovaných vod, maximální zjištěná hodnota 111 mg/l u vzorku z pramene KS-10, ostatní hodnoty se pohybují v rozmezí 36-81 mg/l.

Hodnoty Eh měřené v terénu přímo ve vyvěrající vodě se pohybují v rozmezí 18 - 267 mV. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny ve vodě pramenů úseku Stříbrnice a dalších výše položených vývěřů, nejnižší hodnoty ve vodách z okolí Králík.

Celková tvrdost vody se byla zjištěna v rozmezí 0,13-0,42 mmol/l u 15 vzorků a 0,68 mmol/l u vzorku z pramene KS-10.

Hodnoty KNK_{4,5} se pohybují v rozmezí 0,14 - 0,46 mmol/l u čtrnácti vzorků, vyšší hodnota (0,67 mmol/l) byla zjištěna ve vodě z pramene L-1 a maximální hodnota ve vodě pramene KS-10 (1,1 mmol/l). Hodnoty ZNK_{8,3} jsou rozptýleny v rozmezí 0,2-0,48 mmol/l.

Obsah volného CO₂ ve vodách vzorkovaných pramenů je nízký, pohybuje se v rozmezí 8,80 - 21,10 mg/l. Nejvyšší hodnota byla zjištěna v prameni KS-10.

Koncentrace amonných iontů (NH₄⁺) ani dusitanů (NO₂⁻) nepřesáhly v žádném ze vzorků detekční limit použité metody - 0,03 mg/l pro amonné ionty a 0,01 mg/l pro dusitany. Koncentrace dusičnanů (NO₃⁻) se pohybují v rozmezí 0,85 - 24,0 mg/l, nejvyšší hodnota byla zjištěna ve vzorku vody z vrtu KSS-1. Zvýšená hodnota v tomto i několika dalších vzorcích je pravděpodobně způsobena pozicí vývěřů v zemědělsky využívaných pozemcích (pastviny dobytka).

V 15 vzorcích odebraných z přirozených povrchových vývěřů podzemní vody se koncentrace chloridů (Cl⁻) pohybují v rozmezí 0,3 - 2,0 mg/l. Ve vzorku vody z vrtu KSS-1 byla zjištěna vyšší koncentrace chloridů, 5,9 mg/l. Koncentrace fluoridů (F⁻) byla ve 13 vzorcích zjištěna v rozmezí 0,07 - 0,20 mg/l, vyšší koncentrace ve vodě z pramenů Kr-4 (0,36 mg/l) a MP-2 (0,51 mg/l) a nejvyšší koncentrace F⁻ ve vodě z vrtu KSS-1 - 0,54 mg/l.

Koncentrace síranových iontů (SO_4^{2-}) je značně variabilní, v rozmezí 2,5 - 26,5 mg/l. Nejnižší koncentrace byla zjištěna ve vodě vrtu KSS-1, nejvyšší v prameni HO-1.

Koncentrace iontů HCO_3^- byly ve 13 vzorcích zjištěny v rozmezí 8,5 - 21,0 mg/l. Ve vzorku v vrtu KSS-1 je koncentrace HCO_3^- 28,0 mg/l, ve vzorku z pramene L-1 41,0 mg/l a maximální koncentrace byla zjištěna v jediném krasovém prameni KS-10 - 67,1 mg/l.

Koncentrace sodíku (Na^+) byla ve 14 vzorcích zjištěna v rozmezí 3,2 - 6,4 mg/l. Ve vodě z krasového pramene KS-10 je koncentrace sodíku nižší (1,8 mg/l), naopak je nejvyšší koncentrace ve vodě vrtu KSS-1 - 8,5 mg/l.

Koncentrace vápníku (Ca^{2+}) je nejnižší v pramenech úseku Stříbrnice - v šesti vzorcích 4,4 - 6,0 mg/l. Prameny v okolí Králík jeví koncentrace Ca^{2+} vyšší, 9,8 - 13,4 mg/l, nejvyšší hodnota byla zjištěna v krasovém prameni KS-10 - 25,4 mg/l.

Koncentrace hořčíku (Mg^{2+}) se pohybuje v rozmezí 0,5 - 2,0 mg/l, nejnižší je ve vzorcích z pramenů v úseku Stříbrnice. Koncentrace draslíku (K^+) v rozmezí 0,69 - 1,3 mg/l, nejvyšší hodnota byla zjištěna ve vodě pramene Kr-4 - 1,8 mg/l.

Koncentrace železa ve všech vzorcích odebraných z přirozených povrchových vývěrů je velmi nízká, v základním rozboru (Vodní Zdroje a.s.) pouze tři vzorky přesahují detekční limit použitě metody (0,04 mg/l) - prameny KS-10 (0,09 mg/l) a HO-1 (0,12 mg/l) a vrt KSS-1 (0,25 mg/l). Koncentrace Fe stanovené metodou AAS (LGÚ PŘF) přesáhly detekční limit 0,009 mg/l ve třech vzorcích - prameny HO-1 (0,17 mg/l) a S-14 (0,24) a vrt KSS-1 (0,25 mg/l). Vyšší koncentrace železa ve vzorku vody z vrtu KSS-1 (0,25 mg/l) může pocházet z ocelové výstroje vrtu, jejíž stav není blíže znám.

Detekční limit pro stanovení koncentrace iontů PO_4^{3-} (0,01 mg/l) přesáhly pouze vody dvou pramenů, S-4 (0,61 mg/l) a S-6 (0,45 mg/l).

Kovy

V geochemické laboratoři LGÚ PŘF byly metodou ICP-MS analyzovány koncentrace 19 vybraných kovů v odebraných vzorcích vody.

Koncentrace hliníku byla ve 13 vzorcích zjištěna v rozsahu 2 - 91 $\mu\text{g/l}$, vyšší hodnoty ve vodě z pramenů MP-2 (171 $\mu\text{g/l}$), S-14 (275 $\mu\text{g/l}$) a výrazně zvýšená koncentrace ve vzorku z pramene HO-1 - 1742 $\mu\text{g/l}$.

Koncentrace titanu byla ve 13 vzorcích zjištěna v rozsahu 0,6 - 1,1 $\mu\text{g/l}$, vyšší hodnoty ve vodě z pramenů HO-1 (1,6 $\mu\text{g/l}$), TV-5 (2,2 $\mu\text{g/l}$) a výrazně zvýšená koncentrace ve vzorku z pramene S-14) - 10,5 $\mu\text{g/l}$.

Koncentrace vanadu byla ve 13 vzorcích zjištěna v rozsahu 0,04 - 0,08 $\mu\text{g/l}$, vyšší hodnoty ve vodě z pramenů KS-10 (0,15 $\mu\text{g/l}$), L-1 (0,20 $\mu\text{g/l}$), HO-1 (0,32 $\mu\text{g/l}$) a nejvyšší koncentrace ve vzorku z pramene S-14 - 0,39 $\mu\text{g/l}$.

Koncentrace chromu byla ve 14 vzorcích zjištěna v rozsahu 0,00 - 0,52 $\mu\text{g/l}$, vyšší koncentrace ve vodě z pramene L-1 (0,93 $\mu\text{g/l}$), a výrazně vyšší koncentrace ve vzorku z pramene HO-1 - 3,57 $\mu\text{g/l}$.

Koncentrace manganu byla ve 13 vzorcích zjištěna v rozsahu 0,58 - 0,54 µg/l, vyšší hodnoty ve vodě z pramenů KSS-1 (19,45 µg/l) a ST-5 (28,80 µg/l) a nejvyšší koncentrace ve vzorku z pramene HO-1 - 34,78 µg/l.

Koncentrace kobaltu byla ve 13 vzorcích zjištěna v rozsahu 0,011 - 0,039 µg/l, vyšší hodnoty ve vodě z pramenů S-14 (0,071 µg/l), HO-1 (0,091 µg/l) a výrazně zvýšená koncentrace kobaltu ve vzorku z pramene ST-5 - 0,304 µg/l.

Koncentrace niklu byla v 15 vzorcích zjištěna v rozsahu 0,24 - 1,22 µg/l, nejvyšší koncentrace ve vzorku z pramene HO-1 - 1,69 µg/l.

Koncentrace mědi byla v 15 vzorcích zjištěna v rozsahu 0,32 - 1,68 µg/l, výrazně zvýšená koncentrace mědi byla zjištěna ve vzorku z pramene S-15 - 8,09 µg/l.

Koncentrace zinku byla v 10 vzorcích zjištěna v rozsahu 6,0 - 20,0 µg/l, v pěti vzorcích vyšší hodnoty 38,0 - 64,7 µg/l a výrazně zvýšená koncentrace ve vzorku z pramene HO-1 - 128,0 µg/l.

Koncentrace arsenu byla ve 14 vzorcích zjištěna v rozsahu 0,38 - 3,14 µg/l, výrazně vyšší koncentrace ve vzorcích z pramenů KSS-1 (7,90 µg/l) a TV-5 (9,83 µg/l).

Koncentrace stroncia je v odebraných vzorcích rozptýlena v rozmezí 9,5 - 43 µg/l. Nejvyšší koncentrace byly zjištěny v pramenech Or-7 a HO-1 (42,0 a 43,0 µg/l), nejnižší koncentrace ve vzorcích z pramenů v úseku Stříbrnice (5 hodnot 9,5 - 20,0 µg/l).

Koncentrace stříbra byla ve 14 vzorcích zjištěna v rozsahu <0,005 - 0,095 µg/l, vyšší hodnota ve vodě z pramene Or-7 (0,157 µg/l) a nejvyšší koncentrace ve vzorku z pramene S-14 - 0,246 µg/l.

Koncentrace kadmia byla ve 14 vzorcích zjištěna v rozsahu 0,08 - 0,36 µg/l, vyšší hodnoty ve vodě z pramenů Kr-4 (0,52 µg/l) a KSS-1 (0,69 µg/l).

Koncentrace barya byla ve 14 vzorcích zjištěna v rozsahu 1,74 - 15,62 µg/l, výrazně vyšší koncentrace ve vodě z pramene Or-7 (173,04 µg/l) a maximální koncentrace ve vzorku z pramene L-1 - 715,20 µg/l.

Koncentrace olova byla ve 14 vzorcích zjištěna v rozmezí 0,17 - 0,89 µg/l, vyšší koncentrace ve vodě z pramene MP-2 (1,92 µg/l) a nevyšší koncentrace ve vzorku z pramene S-15 - 3,28 µg/l.

Koncentrace bismutu byla ve vzorku z vrtu KSS-1 0,23 µg/l, v ostatních vzorcích nepřesáhly koncentrace bismutu mez detekce použité metody (0,005 µg/l).

Koncentrace thoria se v 15 vzorcích pohybuje v rozmezí <0,005 - 0,15 µg/l, nejvyšší koncentrace byla zjištěna ve vodě z pramene S-14 (0,32 µg/l).

Koncentrace uranu byla ve 14 vzorcích zjištěna v rozsahu 0,29 - 1,55 µg/l, vyšší hodnoty ve vodě z pramenů S-15 (2,39 µg/l) a L-1 (2,68 µg/l).

8. Diskuse

V oblasti orlicko-sněžnické klenby byly objeveny četné vývěry vod se zvýšenou aktivitou rozpuštěného radonu, vody 20 pramenů splňují kritéria pro zařazení do kategorie vod minerálních (aktivita ^{222}Rn větší než 1500 Bq/l). Tyto vývěry jsou vázány na ortoruly jádra orlicko-sněžnické klenby.

Z hlediska predikce prostorového rozmístění radioaktivních pramenů se jako bezcenné jeví mapy radonového rizika (Barnet et al. 1998) a mapa chemismu minerálních vod (Zoubek, edit. 1998). Oblasti zvýšené aktivity radonu jsou vázány na výskyt ortorul jádra orlicko-sněžnické klenby, jak bylo zjištěno vyhledávacím průzkumem radioaktivních surovin (Stárková, Zrůstek 1976) a potvrzeno touto prací.

Materiály dostupné v archivu s. p. DIAMO jsou velmi věrohodné, na převážné většině popisovaných anomálií vázaných na vývěry radioaktivních vod byly nalezeny vody se zvýšenou aktivitou ^{222}Rn .

Zvolená metoda vyhledávacího radiohydrogeochemického průzkumu byla velmi úspěšná. V oblasti byla měřena aktivita pramenů v perspektivních úsecích (na základě archivní rešerše). V ostatních partiích orlicko-sněžnické klenby nebyly vyhledávacím průzkumem radioaktivních surovin (Stárková, Zrůstek 1976) zjištěny žádné radiometrické anomálie spjaté s vývěry vod. Přítomnost vývěrů radioaktivních vod je v těchto partiích možná, avšak málo pravděpodobná.

Prostorové rozmístění pramenů radioaktivních vod je velmi nepravidelné, jedná se převážně o bodové výskyty vod s vysokou aktivitou ^{222}Rn . Způsob plošného vyjádření radioaktivity vod, použitý Przylibským (2005) se jeví jako nevhodný, příliš zobecňující a potlačující bodové rozmístění radioaktivních pramenů.

Hustota výskytu radioaktivních pramenů je v české části orlicko-sněžnické klenby výrazně větší než na území Polska, což je pravděpodobně způsobeno menší prozkoumaností polského území. V současnosti nebylo provedeno mnoho nových měření aktivity ^{222}Rn ve vodách, Przylibski (2005) shrnuje a ověřuje většinou pouze výsledky starších prací. Při detailnějším radiohydrogeochemickém průzkumu oblastí výskytu ortorul lze předpokládat objevení dalších zdrojů radioaktivních vod i na území Polska.

Prameny radioaktivních vod jsou pravděpodobně vázány na tektonicky porušené zóny - v části úseku Stříbrnice doloženo geofyzikálním průzkumem, v okolí vrtu KSS-1 v Dolní Hedči lze komplikovanou tektonickou stavbu předpokládat. Pro podrobnější interpretaci rozmístění vývěrů radioaktivních vod by bylo nutné provést geofyzikální průzkum zaměřený na tektonickou stavbu okolí vývěrů.

Společnou charakteristikou většiny zkoumaných vývěrů radioaktivních minerálních vod je geometrie jejich okolí. Tyto vody vyvěrají často ze širokých rovných svahů a přes velkou vydatnost některých pramenů není odtékající vodou vytvořena žádná erozní rýha. Otázkou je, proč nedochází k denudaci eluvia podložních ortorul ani v poměrně prudkých svazích a zda se může jednat o prameny velmi mladé, u kterých erozní rýha ještě není vytvořena.

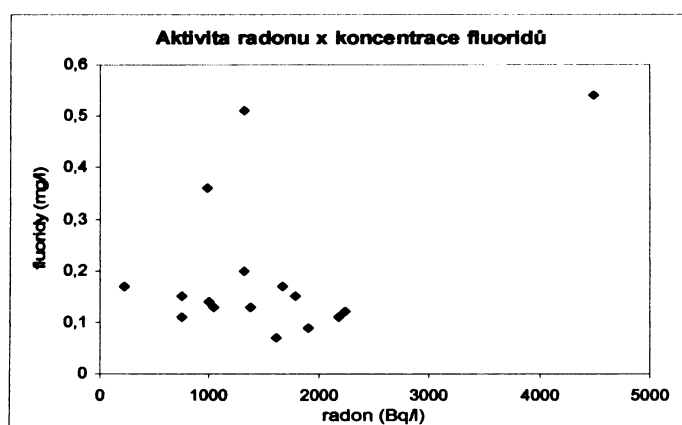
Pro výskyt vývěrů radioaktivních vod je výrazně limitujícím faktorem porušení přirozeného režimu proudění vod v důsledku hornických prací. V blízkém okolí vytěžených uranových ložisek Javorník (Zálesí) a Jelení vrch v Rychlebských horách nebyly nalezeny vývěry vod se zvýšeným obsahem radonu, podobná je situace v okolí štoly Sněžník na polské straně Kladského sedla (Przylibski 2005). V oblastech, kde byly zjištěny četné vývěry radioaktivních minerálních vod (Stříbrnice, Králíky - Dolní Hedeč), nebyly hornické práce provedeny.

Z hlediska chemismu se jedná o vody velmi málo mineralizované (max. 110 mg/l), studené, slabě kyselé až neutrální reakce. Jediným výrazně zvýšeným ukazatelem ve všech vzorkovaných vodách je aktivita radonu ^{222}Rn . Ojedinele však byly zjištěny výrazně vysoké

výrazně vysoké koncentrace některých kovů - hliník až 1742 $\mu\text{g/l}$ v prameni Kraví bažinka (voda byla při odběru vzorku vizuálně čirá, mírně opaleskující, filtrace vody byla i přes relativní vizuální čistotu velmi obtížná, voda měla povahu řídkého gelu (sólu), velmi pravděpodobně v důsledku aktuální precipitace hydratovaných oxidů hliníku); baryum až 715 $\mu\text{g/l}$ v prameni Loučka (anomální koncentrace barya může být způsobena přítomností blízké (fluorit)-barytové mineralizace za doprovodu drobného uranového zrudnění).

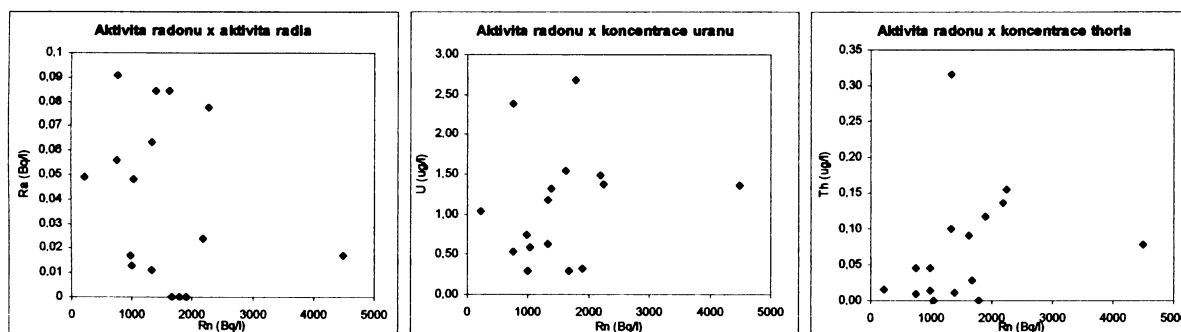
Hydrogeochemicky odlišné od většiny vzorkovaných vod jsou vody krasového Mléčného pramene v údolí Moravy pod Králickým Sněžníkem a Opukového pramene v Dolní Hedči u Králík. I v těchto vodách byly zjištěny zvýšené koncentrace radonu - Mléčný pramen 219 Bq/l, což svědčí o smíšeném původu vody; Opukový pramen až 2415 Bq/l - pravděpodobná pozice pramene na tektonicky komplikovaném okraji Králického prolomu.

Mezi aktivitou radonu a koncentrací jiných prvků ve vodách vzorkovaných pramenů nebyla zjištěna žádná závislost. Přímá úměra mezi aktivitou rozpuštěného radonu a koncentrací fluoridů ve vodě, jak popisuje Salih et al. (2004), nebyla zjištěna (obrázek 38).



Obrázek 38: Graf závislosti aktivity radonu na koncentraci fluoridů

Zároveň nebyla prokázána žádná závislost mezi aktivitou radonu a dalšími radioaktivními složkami vod - radiem, uranem ani thoriem (obrázek 39), podobně jak popisují Salih et. al. (2002). Toto zjištění podporuje domněnku Macáka (1959) o výnosové zóně radioaktivních vod, jejichž zdroj (předpokládané uranové zrudnění) je uloženo hlouběji pod povrchem. Naproti tomu Salih et al. (2004) popisují pozitivní korelaci mezi aktivitou radonu a koncentrací uranu ve vodách.



Obrázek 39: Graf závislosti aktivity radonu a) aktivity radia, b) koncentrace uranu, c) koncentrace thoria

Nepřítomnost jiných radioaktivních prvků ve vodách může být vysvětlena podle Wooda (2004), jehož model je založen na difuzi a iontové výměně, kdy zdrojem radonu ve vodách je rozpad radia, sorbovaného na stěnách puklin. Vznik těchto nízkomineralizovaných

radonových vod popisuje Przylibski (2005) infiltrací povrchových vod do hloubek max. 30-50 metrů, kde dochází k difuzi radonu z okolních hornin a ke vzestupnému proudění vod po zónách tektonického porušení, které způsobují značnou prostorovou variabilitu aktivity radonu v povrchových vývěrech. Otázkou je, zda lze takto vysvětlit i značně vysoké aktivity radonu ve vodách zastižených ve větších hloubkách (např. vrt KSS-1 v Dolní Hedči u Králík - 5 175 Bq/l, hloubka 80 m, lze předpokládat obohacování vody radonem ve výrazně větších hloubkách). Vznik nízkomineralizovaných vod s vysokým obsahem rozpuštěného radonu ve větších hloubkách Przylibski nepředpokládá.

Prameny, tradičně považované za radioaktivní (pramen Knížete Rostislava u Mladkova, Mariánský pramen u Králík, pramen Rudolf/Leopold Grabner u Severomoravské chaty, Adélin pramen u Stříbrnice, pramen Panny Marie La Salette v Travné), byly diskreditovány, aktivita radonu v jejich vodách zdaleka nedosahuje kritéria pro radioaktivní minerální vody (1500 Bq/l).

9. Závěr

V oblasti výskytu ortorul v orlicko-sněžnické klenbě byly provedeny terénní vyhledávací práce, zaměřené na vývěry radioaktivních vod. Celkově byla měřena aktivita více než 350 pramenů, z nichž 20 splňuje kritéria zařazení do kategorie minerálních vod - aktivitou rozpuštěného radonu ^{222}Rn větší než 1500 Bq/l. Maximální aktivita radonu 5175 Bq/l byla zjištěna ve vodě přetokového vrtu KSS-1 v Dolní Hedči u Králík.

Nejvíce vývěrů radioaktivních minerálních vod bylo objeveno v okolí obce Stříbrnice ve východní části masivu Králického Sněžníku. Další lokalitou s četnými vývěry radioaktivních minerálních vod je mělké údolí bezejmenného potoka na severozápadním okraji obce Dolní Hedeč u Králík, kde byly objeveny také relativně velké akumulace vzácných radioaktivních peloidů. Prameny radioaktivních minerálních vod byly potvrzeny v Mladkově a objeveny v údolí Mlýnského potoka a na dalších lokalitách.

Plošné rozmístění vývěrů radioaktivních minerálních vod je velmi nerovnoměrné, bodové či klastrové, vázané na tektonicky porušené partie podložních hornin. Radioaktivitu pramenů nelze zobecňovat plošně.

Byla prokázána vhodnost použití měření intenzity záření gama v sedimentech vývěrů jako velmi dobré a nenáročné metody indikace zvýšených aktivit radonu ^{222}Rn ve vodách. Kontrolními měřeními T. Przylibského z univerzity ve Wroclawi byla prokázána spolehlivost použití emanometrické metody měření aktivity radonu ^{222}Rn ve vodách.

Z výsledků chemických rozborů vod vybraných pramenů vyplývá nemožnost použití chemických analýz jako indikátorů zvýšených aktivit radonu ^{222}Rn .

Z hydrochemického hlediska se jedná o vody chladné, málo mineralizované, slabě kyselé až neutrální reakce, jejichž jedinou výrazně zvýšenou složkou je obsah rozpuštěného radonu ^{222}Rn .

Prameny radioaktivních minerálních vod Čtrnáctka, Marie a Jakubův ve Stříbrnici a pramen Šalamoun a Karolína v Mladkově byly nově podchyceny, vznikla tak místa vhodná pro pitné kúry a inhalace přírodního radonu, jehož pozitivní účinky v malých dávkách jsou v současnosti předmětem lékařských výzkumů.

Nejlépe přístupným pramenem, který zároveň dosahuje nejvyšší aktivity radonu z nově upravených vývěrů (2 415 Bq/l) je pramen Čtrnáctka blízko silnice z obce Stříbrnice k chatě Návří. Další možností odběru radioaktivních vod jsou prameny Šalamoun a Karolína v Mladkově, při silniče z Mladkova k tvrzi Bouda.

Perspektivní pro další balneologické využití vzácných radioaktivních minerálních vod jsou prameny Rybníček u osady Heřmanice, pramen Marie severně od Stříbrnice a lokalita Králíky - Dolní Hedeč.

V případě pramene Rybníček by bylo vhodné opravit rozvalenou hrázku, znovu napustit původní rybníček a vytvořit tak místo využitelné pro přírodní koupele v radioaktivních vodách.

Pramen Marie severně od Stříbrnice vyvěrá z velmi rozlehlé emanační anomálie, která vzniká pravděpodobně v důsledku rozptýlení radioaktivity (deemanace) velmi silného zdroje radonových vod. Tento zdroj by bylo vhodné lokalizovat a ověřit geofyzikálním průzkumem a případně podchytit vrtnými pracemi.

Lokalita Králíky - Dolní Hedeč zahrnuje přetokový vrt KSS-1 s aktivitou 5175 Bq/l, Opukový pramen a další vývěry radioaktivních minerálních vod, včetně poměrně bohatého ložiska vzácných radioaktivních peloidů. Podrobným geofyzikálním průzkumem tektonicky komplikované lokality a případnými vrtnými pracemi by mohly být objeveny další zdroje radioaktivních minerálních vod, pravděpodobně s ještě vyšší objemovou aktivitou radonu, než obsahují vody vrtu KSS-1.

Tato práce potvrdila předpoklady výskytu četných vývěrů radioaktivních minerálních vod v oblasti orlicko-sněžnické klenby. Doufám, že přispěje k objasnění problematiky výskytu radioaktivních minerálních vod na území České Republiky, k rozšíření povědomí o těchto vodách mezi odbornou i laickou veřejností a k jejich případnému terapeutickému využití.

Praha, květen 2007

Tomáš Lipanský

10. Literatura

- Barnet I., Mikšová J., Procházka J. (1998): Mapa radonového rizika 1 : 500 000. – Atlas map České republiky GEOČR 500 na CD. – ČGÚ Praha.
- Ciezkowski, W., Pulina, M., Řehák, J. (1993): Poslední výsledky polsko-českých výzkumů v oblasti Králického Sněžníku. - IV. symposium o krasu krkonošsko-jesenické soustavy. - Knihovna České Speleologické společnosti, 24, Praha
- Cymerman, Z. (1997): Structure, kinematics and an evolution of the Orlica-Śnieżnik Dome, Sudetes. - Prace Państwowej instytutu geologicznego, CLVI, Warszawa
- Czudek, T. (edit.) (1972): Geomorfologické členění ČSSR. - Studia Geographica 23, ČSAV, Geografický ústav Brno v nakladatelství Academia
- ČHMÚ (2006): Hydrologická ročenka České republiky 2005, Český hydrometeorologický ústav, Praha
- Čurda, J. (1992): Vývoj regionálního znečištění podzemní vody v ekohydrogeologickém systému Orlických hor a jejich podhůří. MS ČGÚ Praha
- Čurda J., Jinochová, J., Majer, V., Müller, V., Manová, M., Sářka, V., Skácel, J., Skácelová, D., Večeřa, J., Žáček, V. (2003): Vysvětlivky k souboru účelových geologických a ekologických map přírodních zdrojů v měřítku 1:50 000, listy 04-14 Bílý Potok, 04-44 Javorník, 14-21 Travná, 14-22 Jeseník, Česká geologická služba, Praha
- Deetjen, P. et al. (2005): Radon als Heilmittel - Therapeutische Wirksamkeit, biologischer Wirkungsmechanismus und vergleichende Risikobewertung. - RADIZ Schlema, Verlag Dr. Kovač, Hamburg
- Demek, J., Kopecký, J., Vitek, J. (1997): Geomorfologické poměry listu základní mapy Žamberk 14-14 ve východních Čechách, - Geografie IX. Sbor. katedry geografie pedagogické fak. Masarykovy Univerzity, 23-57, Brno
- Fojt, B., Dolníček, Z., Kopa, D., Sulovský, P., Škoda, R. (2005): Paragenetická charakteristika hypogenních minerálních asociací ložiska Zálesí u Javorníku, Časopis Slezského Muzea (Opava), 54: 223-280, 2005
- Folger, P. F., et al. (1997): ²²²Rn transport in fractured crystalline rock aquifer: results from numerical simulations, Journal of Hydrology 195 (1997), 45-47, Elsevier
- Grzeškowiak, A. (2006): Two Types of „Augen Gneises“ in the Śnieżnik Metamorphic Unit, Poland. - Geolines, 2006, 20, ProQuest Science Journals. pg. 46
- Holluta, J. (1929): Über radioaktive Quellen in den Sudeten, HDI-Mitteilungen des Hauptvereines deutscher Ingenieure in der Tschechosl. Rep.
- Jetel, J., Rybářová, L. (1979): Minerální vody Východočeského kraje, Ústřední ústav geologický, Praha

- Jirkovský, R. (1953): Minerální prameny ve Slezsku, Slezský studijní ústav, příloha Přírodovědeckého Sborníku Ostravského kraje. roč. XIV (1953). č. 1-2
- Kafka, J., edit. 2003: Rudné a uranové hornictví České Republiky. - Anagram, Ostrava, 2003
- Krásný, J., et al. (1981): Mapa odtoku podzemní vody ČSSR 1:100 000, Český hydrometeorologický ústav, Praha
- Kröner, A., Jaeckel, P., Hegner, E., Poletal, M. (2001): Single zircon ages and whole-rock Nd Isotopic systematics of early Paleozoic granitoid gneisses from the Czech and Polish Sudetes (Jizerské hory, Krkonoše Mountains and Orlice-Sněžník Complex) - Int. J. Earth Sciences (Geol. Rundsch.) (2001) 90: 304-324
- Krutský, M. (1974): Orlické hory - mramory. Závěrečná zpráva. - MS Geofond, Praha
- Lange, U. et al. (2005): The orthogneisses of Orlica-Śnieżnik complex (Western Sudetes, Poland): geochemical characteristics, the importance of pre-Variscan migmatization and constraints on the cooling history. - Journal of the Geological Society, London, Vol. 162, 2005, pp. 973-984
- Macák, P. (1959): Průzkum v oblasti Jeseníků. MS Československý uranový průmysl. Geofond Praha, P097533
- Macák, P. (1957): Závěrečná zpráva o hydrogeologicko-radiologickém průzkumu v oblasti Jeseníků. MS Archiv DIAMO a.s., o.z. Dolní Rožinka
- Malkovský, M. (1977): Důležité zlomy platformního pokryvu severní části Českého masívu. - Výzkumné práce Ústředního ústavu geologického. 14ú. 30pp. Praha
- Manová, M., Matolín, M. (1995): Radiometrická mapa ČR, 1:500 000. ČGÚ Praha
- Müller, V. (edit.) (2003): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50 000, listy 04-14 Bílý Potok, 04-44 Javorník, 14-21 Travná, 14-22 Jeseník, Česká geologická služba, Praha
- Müller, V. (edit.) (1997): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50 000, listy 14-23 Králíky, Česká geologická služba, Praha
- Müller, V. (edit.) (1999): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50 000, listy 14-41 Šumperk, Česká geologická služba, Praha
- Müller, V. (edit.) (2003): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50 000, list 14-14 Žamberk, Česká geologická služba, Praha
- Nový, V., Hrubý, J. (1966): Zpráva o výsledcích geologicko-průzkumných prací za rok 1965, MS Ústřední zpráva uranového průmyslu Příbram. Geologický průzkum uranového průmyslu Příbram, závod Nové Město na Moravě

- Olmer, M. - Kessler J. (1990): Hydrogeologické rajóny, Práce a Studie 176, Výzkumný ústav vodohospodářský. Praha
- Opletal, M. (1997): Geneze ortorol orlicko-sněžnické jednotky, MS Masarykova Univerzita, Brno
- Opletal, M. (1980): Geologie Orlických hor. 1. vydání, ÚÚG v Akademii, Praha
- Preclík, J. (1967): Závěrečná zpráva o vyhledávacích pracích na radioaktivní suroviny v oblasti Orlických hor. - MS Geofond Praha, P 20261
- Prosová, M. (1974): Geneze reliktního terciéru (sv. část Českého masivu) - Ústav geol. věd Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, Praha
- Przylibski, T. A. (2000): Radon concentration changes in medicinal groundwaters of Ladek Zdrój (Sudety Mountains, SW Poland). - Journal of Environmental Radioactivity 48 (2000), 327-347
- Przylibski, T. A. (2004b): Concentrations of ^{226}Ra in rocks of the southern part of Lower Silesia (SW Poland). - Journal of Environmental Radioactivity 75 (2004), 171-191
- Przylibski, T. A. (2004a): Radon concentrations in groundwaters of the Polish part of the Sudety Mountains (SW Poland). - Journal of Environmental Radioactivity 75 (2004), 193-209
- Przylibski, T. A. (2005): Radon - Składnik swoisty wód leczniczych Sudetów. - Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław. Polsko
- Quitt, E. (1971): Klimatické oblasti Československa, Academia, Studia Geographica 16, GÚ ČSAV v Brně. 73 s
- Rama, W. S. Moore (1984): Mechanism of transport of U-Th series radioisotopes from solids into ground water, Geochimica et Cosmochimica Acta, Volume 48, Issue 2, February 1984, Pages 395-399
- Salih, I., Bäckström, M., Karlsson, S., Lund, E., Pettersson, H. B. L. (2004): Impact of fluoride and other aquatic parameters on radon concentration in natural waters. - Applied Radiation and Isotopes 60 (2004) 99-104
- Salih, I., Pettersson, H. B. L., Sivertun, A., Lund, E. (2002): Spatial correlation between radon (^{222}Rn) in groundwater and bedrock uranium (^{238}U): GIS and geostatistical analyses. - J. Spatial Hydrol. 2 (2), 1-10
- Stárková Z., Zrůstek, V. (1976): Prognózní ocenění ČSSR na uran, oblast č. 44 - Orlicko-kladská klenba, MS GEAM, 197 s.
- Valečka, J. (1988): Sedimentologie svrchní křídly v Králickém příkopu. - Sbor. geol. věd, Geol., 43, 147-191, Praha

Wagner, A. (1942) – Radioaktivität der Quellen im Sudetenland. - Firgenwald, Bd. 13,
Pöschelberg

Wagner, A. (1931): Radioaktivität und radioaktive Quellen in den Sudetenländern, Sammlung
Gemeinnütziger Vorträge. Nov.-Dec. 1931. Nr. 631/632. Praha

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

Zoubek, J., edit. (1998): Atlas map České Republiky GeoČR500 na CD. Český geologický
ústav, Praha

Zyma, Z. 1991: Vrt KSS-1, Králíky - Hedeč, MS Vodní zdroje Zličín s.p., Praha

sine (1960): Revizní skupina. MS archiv s. p. DIAMO, o. z. Dolní Rožínka

Geologický archiv s. p. DIAMO, o.z. Dolní Rožínka

Přílohy:

Příloha 1: Tabulka radioaktivity pramenů

Příloha 2: Tabulka chemických rozborů

Příloha 3: Detailizační mapa anomálie 014 – pramen Čtrnáctka

Příloha 4: Detailizační mapa anomálie 003 – pramen Marie

M - 33 - 70 - B
 K - 55 - 05 - 020
 T - 26 - 25 - 000
 STARÉ MĚSTO
 C - 6

ANOMÁLIE Č. 65021

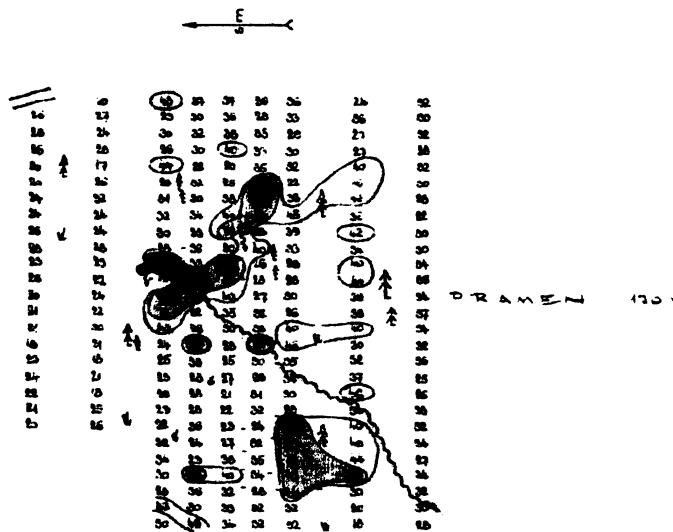
STŘÍBRNICE

DETAIL ZÁŘEČ. Č. 65021

S.T. STARÉ MĚSTO POUŠTĚ

GRUPINA ZÁŘEČ NA MORAVĚ

1 : 500



V V V Ě T L I V Ě :

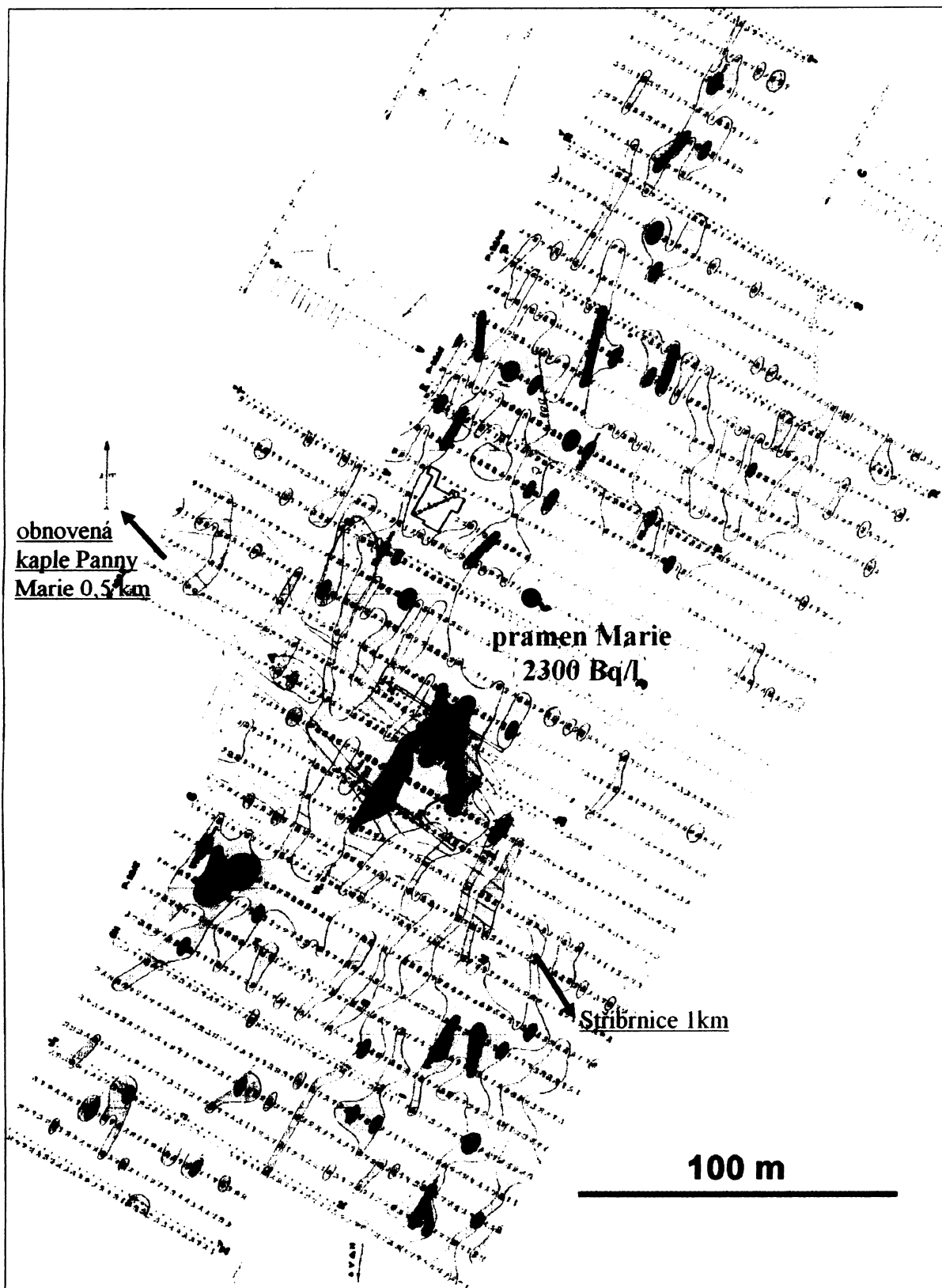
1	50 - 50
2	50 - 100
3	100 - 200
4	200 - 500
5	OZNAČENÁ V TERÉNU

10 GEOLOGICKÝ PRŮZKUM TYPYK NOVÉ MĚSTO	ANOMÁLIE Č. 65021 - 65021		
	J M Ě N A	P O D P I S	
KRÉSKA	K. JINDROVÁ	<i>[Signature]</i>	
OF. DETAILIZACE	M. LAMBAČKOVÁ	<i>[Signature]</i>	
VED. PRACOVNÍK	L. MÁLEK	<i>[Signature]</i>	
ŠAN. GEOPHYK.	V. VESELÝ	<i>[Signature]</i>	
	D N Ě	J M Ě N A	Č. PRŮZKUMU
ANOMÁLIE Č. 65021	16. 6. 05	T. 01. 01. 01	050
		STUŽKA	006
		P. 100, 0. 100	
ANOMÁLIE Č. 65021	16. 6. 05	ANOMÁLIE Č. 65021	050
		STUŽKA	006
		P. 100, 0. 100	

Příloha č. 3:

Detailizační mapa radiometrické anomálie číslo 65021 (podle novějšího číslování 014) listu M-33-70-B v úseku Stříbrnice - ukázka podkladů pro radiohydrogeologický průzkum radioaktivních pramenů v roce 2005.

Na této anomálii byl nalezen pramen radioaktivní minerální vody, pojmenovaný Čtrnáctka, podle čísla anomálie. Aktivita radonu po podchycení zdroje dosahuje 2415 Bq/l. (Katalog radiometrických anomálií závodu UP-IV Nové Město n. Mor., Archiv DIAMO s.p.o.z. Dolní Rožinka)



Příloha č. 4:

Detailizační mapa radiometrické anomálie číslo 65010 (podle novějšího číslování 003) listu M-33-70-B nad Stříbrnicí. Velmi rozsáhlá anomálie, vznikající rozptýlením předpokládaného zdroje velmi aktivní vody, perspektivní pro další průzkumné práce. (Katalog radiometrických anomálií závodu UP-IV Nové Město n. Mor., Archiv DIAMO s.p.o.z. Dolní Rožínka)