

Vliv horninových kontaktů na objemovou aktivitu radonu a dávkový příkon gama záření hornin

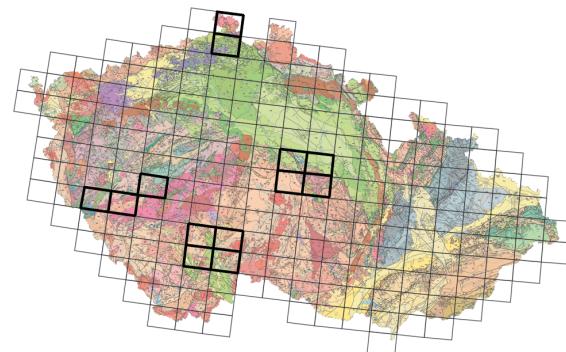
The influence of rock contacts on the soil gas radon concentration and gamma dose rate

Ivan Barnet – Petra Pacharová

Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1;
ivan.barnet@geology.cz

Key words: rock contacts, soil gas radon, gamma dose rate, Bohemian Massif

Summary: The profile measurements of soil gas radon (^{222}Rn) concentration and gamma dose rate (D') were carried out along the contact of rocks characterized by contrasting radon index (Neznaš et al. 2004). A total of 45 localities investigated were situated in four areas: Klatovy, Kytlice, Veselí nad Lužnicí and Chrudim showing a variable geology. Each profile comprised 3 measuring sites (25–50 m apart) with radon measurements done at a depth of 30, 40, 50, 80 cm, and gamma dose rate measurement 1 m above the surface. The local trend in profiles was compared with regional data from radon database of the Czech Geological Survey and with a radiometric map (Manová – Matolín 1998). This comparison resulted in mean 79 % accordance of both local and regional trends (range 67–100 %) in 4 areas with different geological environment. The direct evidence of rock contact at a scale of particular profiles was observed on 68 % of the measured localities. The lowest accordant radon concentration and gamma dose rate increase or decrease (55 %) on the immediate rock contact was observed in the Klatovy area, which can be explained by the presence of a wide belt of hornfelses situated in the contact zone of Variscan granitoids and Neoproterozoic metasediments. The highest accordance (80 %) was found in the area of Kytlice (a contact of trachytes with Cretaceous sediments), which is illustrated in Fig. 1 (joined profiles of 2 localities). The in-



(02-22 Varnsdorf, 02-24 Nový Bor, 13-41 Čáslav, 13-42 Pardubice, 13-43 Golčův Jeníkov, 13-44 Hlinsko, 21-24 Klatovy, 22-12 Březnice, 22-13 Nepomuk, 22-42 Bechyně, 22-44 Hluboká nad Vltavou, 23-31 Soběslav, 23-33 Veselí nad Lužnicí)

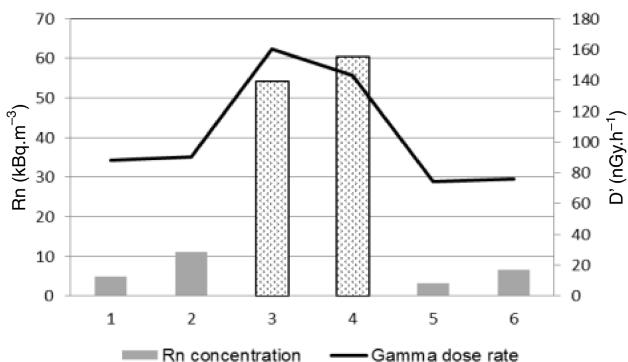
crease in soil gas radon concentration with depth was observed in the majority of measured profiles. However, in some cases, especially in the Veselí nad Lužnicí area (a contact of weathered Variscan granitoids or Moldanubian migmatites with Cretaceous sandstones and claystones), the upward release of radon was influenced by impermeable barriers. The mean radon concentration at depths of 50 and 80 cm was compared separately in 4 areas (Fig. 2). The significant difference in depth trend can be observed in the area of Klatovy (possible influence of contact metamorphism). The results of the project confirm the role of radiometric parameters as a useful tool for detection of rock contacts at a scale of tens of meters.

Měření objemové aktivity radonu (^{222}Rn) a dávkového příkonu D' v geologickém podloží je součástí radiační ochrany obyvatelstva před účinky přírodních radionuklidů. Vzhledem k pestrosti geologické stavby České republiky se rizikové geofaktory (mezi něž patří i radon) mohou projevit jednak ve specifických litologických typech hornin (např. granitoidy se zvýšenou koncentrací ^{238}U , z něhož vzniká ^{222}Rn), jednak na kontaktech těchto hornin s litologickými typy charakterizovanými nízkým radonovým indexem (Neznaš et al. 2004; např. křídové sedimenty). Na druhý jmenovaný typ geologického prostředí byly zaměřeny výzkumné práce, popsané v tomto článku.

Měření objemové aktivity radonu a dávkového příkonu gama záření hornin na horninových kontaktech se v roce 2014 soustředilo na identifikovatelné kontakty hornin s kontrastním radonovým indexem. Převažující radonový index byl odečten z map radonového indexu 1 : 50 000 na mapovém serveru České geologické služby. Měření bylo

provedeno ve čtyřech oblastech s pracovními názvy Klatovy (9 lokalit), Veselí nad Lužnicí (16 lokalit), Kytlice (5 lokalit) a Chrudim (15 lokalit), celkem 45 lokalit. Na každě lokalitě byla objemová aktivita radonu stanovena na třech odběrových místech tvořících horizontální profil (4 měření ve vertikálním profilu půd a zemin na každém odběrovém místě). Prostřední odběry byly obvykle situovány na kontaktu radonově kontrastních hornin, krajní odběry byly umístěny symetricky ve vzdálenosti 25–50 m od prostředního odběrového místa. Místa odběrů byla volena tak, aby krajní čtevečice měřených bodů byla situována prokazatelně na vybraných radonově kontrastních horninových typech, celý profil byl orientován obvykle kolmo na průběh horninového kontaktu (podle charakteru terénu). Základní typ hornin byl odečítán podle geologických map 1 : 50 000 na mapovém serveru ČGS.

Na měřených kontaktech hornin s kontrastním radonovým indexem byly srovnány lokální výsledky měření objemové



Obr. 1. Profil objemové aktivity radonu (Rn) v hloubce 80 cm a dávkového příkonu (D') na lokalitě Pustý zámek (kontakt křídových sedimentů – šedě, trachytů – textura) / Fig. 1. Profile of radon concentration (Rn, depth 80 cm) and gamma dose rate (D') at the locality Pustý zámek (a contact of Cretaceous sediments – in grey and trachytes – distinct texture).

aktivity radonu a dávkového příkonu v obou typech hornin a zjištována shoda s regionálními údaji o těchto veličinách. V případě obdobného průběhu lokálních a regionálních údajů (např. vysoké hodnoty Rn i D' v granitoidech a nízké hodnoty v křídových sedimentech) byla lokalita reprezentovaná měřeným profilem charakterizována souhlasným trendem lokálních i regionálních údajů, v případě neshody nesouhlasným trendem. Vlastní projev kontaktu hornin byl sledován z hlediska shodného nárůstu nebo poklesu obou měřených veličin ve vztahu k hodnotám měřeným v obou typech hornin situovaných na kontaktu.

Metodika

Objemová aktivita radonu byla měřena jednak ve třech hloubkových úrovních (obvykle 30, 40 a 50 cm) sondou vyvinutou pro stanovení vertikální distribuce radonu (Barnet – Pacherová 2013), čtvrtá hloubková úroveň – 80 cm – byla měřena klasickou sondou se „ztraceným hrotom“ (Neznal et al. 2004, sine 2013). Paralelně byl na odběrových místech měřen i dávkový příkon gama záření hornin, přičemž jeho měření bylo využíváno i pro stanovení přesnější pozice horninového kontaktu.

Objemová aktivita radonu byla měřena přístrojem RM 2 (výrobce Dr. Froňka, NUCLEAR TECHNOLOGY). Dávkový příkon gama záření hornin D' (IAEA 2003) byl měřen radiometrem RP 2000 (výrobce VF s.r.o. Černá Hora) ve výšce 1 m nad zemí.

Trojice odběrových míst na horninových kontaktech byly zhodnoceny z hlediska změny trendu objemové aktivity Rn a dávkového příkonu D' v porovnání s regionálními daty (souhlas nebo nesouhlas měřených hodnot na profilech s regionálním trendem). Regionální trend byl v případě objemové aktivity radonu určován podle radonové databáze ČGS, trend dávkového příkonu podle radiometrické mapy ČR (Manová – Matolín 1998). Na kontaktu byl hodnocen shodný nárůst nebo pokles měřených hodnot ^{222}Rn nebo D' jako zřetelný projev kontaktu, v případě ne-

shody nárůstu nebo poklesu se kontakt v měřených radiometrických parametrech neprojevil.

Zhodnocení výsledků z oblasti Klatovy

V oblasti Klatovy byla měření provedena na devíti lokalitách. Horninové rozhraní s kontrastním radonovým indexem je zde představováno granitoidy klatovské apofýzy středočeského plutonu (vysoký radonový index) a neoproterozoickými metasedimenty (nízký radonový index). V šesti z devíti měřených lokalit (67 %) byl zaznamenán souhlasný trend změn objemové aktivity radonu a dávkového příkonu na horninových kontaktech, odpovídající regionálním údajům obou měřených veličin podle radonové databáze ČGS a radiometrické mapy ČR 1 : 500 000 (Manová – Matolín 1998). Měření na kontaktech hornin prokázala shodné zvýšení objemové aktivity radonu a dávkového příkonu na třech lokalitách, shodný pokles obou veličin byl zaznamenán na dvou lokalitách, v ostatních případech nebyl zaznamenán shodný průběh měřených veličin nebo projevy kontaktu byly nezřetelné. Je to způsobeno patrně šířkou kontaktní zóny granitoidů klatovské apofýzy v neoproterozoických metasedimentech (kontaktních rohovcích).

Zhodnocení výsledků z oblasti Veselí nad Lužnicí

Radonově kontrastní horninové rozhraní bylo měřeno na šestnácti lokalitách situovaných na kontaktech granitoidů ševětínského plutonu a moldanubických migmatitů s křídovými sedimenty třeboňské pánve. V jedenácti ze šestnácti měřených lokalit (69 %) byl zaznamenán souhlasný trend změn objemové aktivity radonu a dávkového příkonu na horninových kontaktech, odpovídající regionálním údajům obou měřených veličin podle radonové databáze ČGS a radiometrické mapy ČR 1 : 500 000. Měření na kontaktech hornin prokázala shodné zvýšení nebo pokles objemové aktivity radonu a dávkového příkonu na deseti lokalitách (63 %), projevy kontaktu byly nezřetelné na jedné lokalitě a neshoda průběhu hodnot Rn a D' na kontaktu byla zaznamenána na čtyřech lokalitách. Nárůst radonu s hloubkou na těchto lokalitách nebyl potvrzen, i když se kontakt projevil v hloubkovém rozsahu zvýšenou hodnotou Rn blíže k povrchu (maximální hodnota je měřena obvykle v hloubce 80 cm). Křídové sedimenty jsou zde reprezentovány pískovci, slepenci, jílovci a prachovci a je proto pravděpodobné, že nestandardní hloubkový průběh hodnot objemové aktivity radonu na tomto typu kontaktů je ovlivněn velkou lokální nehomogenitou zvětralinového pláště a nepropustnými jílovitými bariérami v křídových sedimentech.

Zhodnocení výsledků z oblasti Kytlice

Měření v oblasti Kytlice se soustředilo na horninová rozhraní rumburského granitu (střední radonový index) a tra-

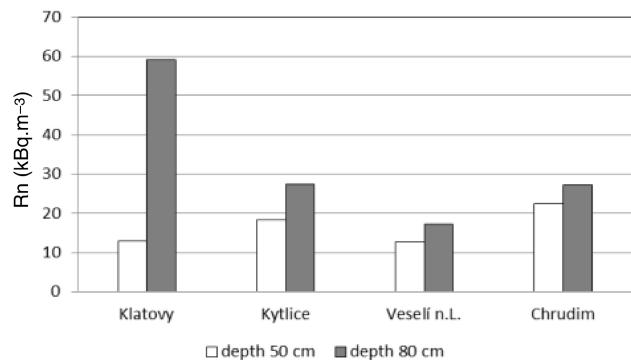
chytů (vysoký radonový index) s křídovými sedimenty (nízký radonový index). Na všech pěti měřených profilech byl zaznamenán souhlasný trend hodnot objemové aktivity Rn a dávkového příkonu D' (100 %), který odpovídá rozhraním těchto hornin i v regionálním měřítku. Na lokalitě 1 – Rybniště se kontakt projevil nárůstem objemové koncentrace Rn, avšak poklesem hodnot D' (kontakt granitu a křídových sedimentů). Výrazně detekovatelná rozhraní byla zjištěna na profilech situovaných mezi trachity a křídovými sedimenty (lokalita Nová Huť a lokality Pustý zámek 1 a 2). Měřené profily na obou lokalitách Pustý zámek jsou situovány východně a západně od výrazného výchozu trachytů v údolí Kamenice, navazují na sebe a představují ilustrativní změny objemové aktivity Rn a hodnot D' na prokazatelně detekovatelném rozhraní hornin (obr. 1).

Zhodnocení výsledků z oblasti Chrudim

Souhlasný trend změn objemové aktivity radonu a dávkového příkonu byl v oblasti Chrudim zaznamenán na dvacáti z celkem patnácti měřených lokalit (80 %). Horninová rozhraní byla zřetelně potvrzena zejména mezi granitoidy a křídovými sedimenty. Výrazný nárůst objemové aktivity radonu se projevil především na kontaktech situovaných v metamorfovaných horninách (fylity) a v paleozoických sedimentech (křemence a droby). V regionálním měřítku se oba typy hornin vyznačují středním radonovým indexem. Horninová rozhraní v granitoidních horninách, ortorulách a migmatitech se naopak projevují poklesem hodnot objemové aktivity radonu a nárůstem hodnot dávkového příkonu, což může být interpretováno jílovitým charakterem kontaktu (zamezujícím migraci radonu, ale zvyšujícím hodnoty K, U a Th). Příkladem může být lokalita Vršov, kde v blízkosti kontaktu gabra a migmatitu byly naměřeny extrémní hodnoty objemové aktivity radonu (214 a 647 kBq.m^{-3}), které neodpovídají regionálním hodnotám z radonové databáze. Je pravděpodobné, že tektonicky ovlivněný kontakt mezi gabry a migmatity má větší šířkový rozsah a extrémní nárůst objemové aktivity radonu je projevem laterálního transportu radonu konvekcí.

Hloubkový vývoj objemové aktivity radonu

Na všech odběrových místech byl sledován hloubkový vývoj objemové aktivity radonu. Měření na odběrových místech profilů byla provedena v hloubkách 30, 40, 50 a 80 cm. Téměř na všech odběrových místech byl potvrzen nárůst objemové aktivity radonu s hloubkou, i když v jednotlivých případech odběrových míst nebyla maximální hodnota radonu zjištěna vždy v hloubce 80 cm. Tyto případy byly dokumentovány především v oblasti Veselí nad Lužnicí, a to obvykle mimo odběrová místa situovaná přímo na kontaktu hornin s kontrastním radonovým indexem. V případě oblasti Veselí nad Lužnicí lze tento jev vysvětlit přítomností jílovité zvětralého pláště granitoidů, překrytých křídovými sedimenty se střídáním pískovců, slepenců a jílovců. Vzhledem k tomu, že všechna odběrová místa



Obr. 2. Průměrné rozdíly v objemové aktivity radonu (Rn) v hloubkách (depth) 50 a 80 cm ve čtyřech měřených oblastech / Fig. 2. Differences in mean Rn concentration (Rn) between depth levels of 50 and 80 cm in 4 measured areas.

vykazovala vysokou propustnost, lze tento jev přisoudit vytváření lokálních bariér pro migraci radonu v detailním měřítku odběrových míst. Zajímavé je srovnání průměrných hodnot objemové aktivity radonu v hloubce 50 cm a 80 cm mezi jednotlivými oblastmi. Zatímco v oblastech Kytlice, Chrudim a Veselí nad Lužnicí je hloubkový vývoj velmi podobný, na lokalitách v oblasti Klatovy je nárůst hodnot objemové aktivity radonu v hloubce 80 cm podstatně strmější (obr. 2). Vysvětlení je možno hledat v úsecích kontaktní metamorfózy granitoidů klatovské apofýzy.

Závěry

1. Lokální a regionální trend

Zpracováním výsledků měření objemové aktivity radonu a dávkového příkonu na horninových rozhraních s kontrastním radonovým indexem ze 45 lokalit bylo zjištěno, že v 79 % případů odpovídá lokální trend obou měřených veličin regionálnímu trendu. Nejvyšší shody – 100 % – bylo dosaženo v oblasti Kytlice na rozhraní granitoidů a trachytů s křídovými sedimenty. Nejnižší shoda – 67 % – byla zjištěna v oblasti Klatovy (rozhraní granitoidů klatovské apofýzy s neoproterozoickými metasedimenty). V této oblasti patrně sehrála svou roli nehomogenita intenzity kontaktní metamorfózy, detekovaná plošně variabilním výskytem rohovců a plodových břidlic. Detailní výsledky měření Rn a D', lokalizované na základě geologických a radonových map 1 : 50 000, potvrzují velmi dobrou kvalitu mapování zejména co se týká pozice rozhraní jednotlivých horninových typů.

2. Projevy horninových kontaktů

Lze obecně konstatovat, že horninové kontakty na radonově kontrastních horninových typech by se měly projevit shodnou změnou hodnot objemové aktivity radonu a dávkového příkonu, a to buď nárůstem, nebo poklesem obou měřených hodnot. Tato situace by umožňovala detailně detektovat horninová rozhraní nebo alespoň přispět ke

zpřesnění jejich pozice. Na souboru pětačtyřiceti měřených lokalit byla shodná změna Rn a D' zaznamenána v 68 % případů. Nejvyšší shody – 80% – bylo dosaženo opět v oblasti Kytlice a nejnižší shody – 55% – v oblasti Klatovy. Vysvětlujeme si to stejnými geologickými příčinami po- psanými v bodu 1.

Nárůst objemové aktivity radonu s hloubkou byl potvrzen ve všech měřených oblastech, přičemž oblast Klatovy se vyznačuje podstatně strmějším nárůstem hodnot, než byl zaznamenán v ostatních třech oblastech. Tuto skutečnost interpretujeme jako vliv geologického prostředí, postiženého účinky kontaktní metamorfózy.

Poděkování. Předložená práce vznikla jako součást Strategického plánu výzkumu České geologické služby (bod 3. Analýza zranitelnosti krajiny přírodními a antropogenními procesy) a byla finančně podpořena z projektu OG MŽP (ČGS 383900) v rámci Akčního plánu Radonového programu ČR 2010–2019. Zaměření výzkumných prací je v souladu s cíli Státní politiky životního

prostředí 2012–2020, kap. 4. Bezpečné prostředí, oddíl 4.1. Předcházení rizik. Autoři děkují editorovi K. Kirchnerovi a recenzentům I. Fojtíkové a M. Neznalovi za cenné připomínky.

Literatura

- BARNET, I. – PACHEROVÁ, P. (2013): Vertikální distribuce radiometrických parametrů na lokalitách s nízkou mocností půd a zemin – podklad pro hodnocení radonového indexu v extrémních geologických podmínkách. – MS Čes. geol. služba. Praha.
- IAEA-TECDOC-1363 (2003): Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. – IAEA Vienna.
- MANOVÁ, M. – MATOLÍN, M. (1998): Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000. GEOČR 500, CD-ROM. – Čes. geol. služba. Praha.
- NEZNAL, MATĚJ – NEZNAL, MARTIN – MATOLÍN, M. – BARNET, I. – MIKŠOVÁ, J. (2004): The new method for assessing the radon risk of building sites. – Spec. Pap. Czech Geol. Survey 16, 48 str.
- sine (2013): Doporučení SÚJB: Stanovení radonového indexu pozemku přímým měřením. http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/121031_Doporupeci_RIP.pdf.