

Vertikální distribuce objemové aktivity radonu v prostředí s extrémně nízkou mocností půd a zemin

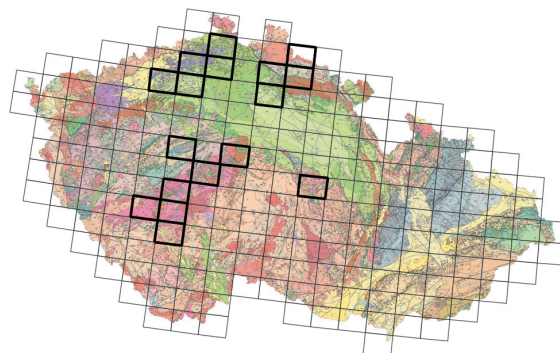
Vertical distribution of soil gas radon concentration in the environment of extremely low thickness of soils and subsoils

IVAN BARNET – PETRA PACHEROVÁ

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

Key words: soil gas radon concentration, extremely low soil thickness

Abstract: A method of "Radon risk assessment of building sites" was approved in the Czech Republic by legislation in 2004. The standard method is based on soil gas radon sampling in the depth of 80 cm on building grounds. However, in some geological environments with extremely low thickness of soils and subsoils the standard depth is hardly achievable. Therefore the relationship of soil gas radon concentrations in a vertical profile, gamma dose rate and gammaspectrometrical measurements was studied on 106 localities characterised by low soil thickness and different radon index of basement rocks within the major geological units of the Czech Republic. The soil gas radon concentrations were measured using a newly developed soil probe operating with a side intake of soil gas. The linear regression of radon concentration and depth was confirmed until the most frequented achieved depth of 30–40 cm. The



(02-34 Bílina, 02-46 Litoměřice, 02-41 Ústí nad Labem, 02-42 Česká Lípa, 02-24 Nový Bor, 03-32 Jablonec nad Nisou, 03-23 Harrachov, 03-41 Semily, 03-34 Sobotka, 13-44 Hlinsko, 12-41 Beroun, 12-44 Týnec nad Sázavou, 13-31 Říčany, 22-21 Příbram, 22-14 Blatná, 22-23 Mirovice, 22-41 Písek)

use of complementary parameters – gamma dose rate and gamma spectrometric field measurements has not brought statistically usable relationship in wide scale of variable geologic bedrock.

Současný způsob stanovení radonového indexu (sine 2002, 2013, Neznal et al. 2004) doporučuje odběr vzorků půdního vzduchu ve většině geologických prostředí z hloubky 80 cm. Vyskytují se však případy, kdy odběr z této hloubky nelze uskutečnit pro nízkou mocnost půd a zemin nad masivní horninou. Tato skutečnost byla zohledněna v příloze 4 (sine 2013) na základě empirických údajů. Výzkum, provedený v rámci projektu ČGS 380200, byl proto zaměřen na zhodnocení vertikální distribuce objemové aktivity radonu a radiometrických charakteristik geologického podloží na lokalitách s velmi nízkou mocností půd a zemin s rozdílným radonovým indexem v podložním horninovém typu.

Metoda

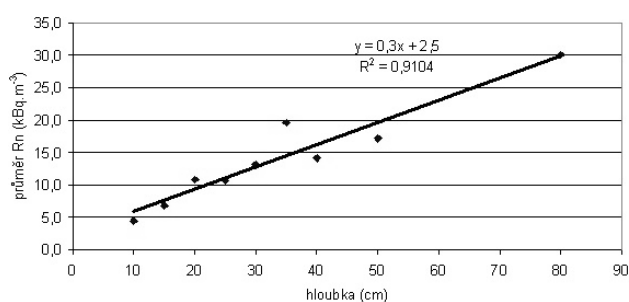
Pro odběry půdního vzduchu v prostředí extrémně nízkých mocností půd a zemin byla vyvinuta a terénně ověřena sonda, umožňující odběr půdního vzduchu z vertikálně přesně definované úrovně. Sonda byla modifikována z běžně používané sondy (Neznal et al. 2004, Barnet et al. 2008) se „ztraceným hrotem“ přivařením hrotu a vyvrtáním osmi bočních otvorů pro odběr půdního vzduchu se zajištěním těsnosti odběru (Barnet et al. 2012). Výsledky kontrolních měření prokázaly shodu s původní sondou se ztraceným hrotem s koeficientem lineární regrese $R = 0,97$ v největší

dosažené hloubce na hranici pevné horniny. Výběr 106 testovaných lokalit byl prioritně zaměřen na prokazatelnou nízkou mocnost půd a zemin, obvykle nepřesahující 35 cm. Proto byla odběrová místa situována v blízkosti výchozů, opuštěných lomových etáží a zářezů cest. Vzdálenost zarážené sondy od stěny zářezu nebo lomové stěny byla volena s dostatečnou rezervou vzhledem k možnosti přísávání půdního vzduchu z volné stěny lomu či zářezu. Na jednotlivých lokalitách byly měřeny obvykle 3 vertikální úrovně odběru půdního vzduchu v hloubkovém intervalu 10–50 cm. Odběry půdního vzduchu byly prováděny Jeannettou o objemu 150 ml. Měření objemové aktivity radonu bylo doplněno od r. 2013 měřením gamaspektrometrie a dávkového příkonu gama záření hornin na povrchu a na blízkém výchozu horniny. Gamaspektrometrická data byla měřena přístrojem GS 256 (výrobce Geofyzika Brno), dávkový příkon gamazáření hornin D' (IAEA 2003) byl měřen radiometrem RP 2000 (výrobce VF a.s. Černá Hora) a objemová aktivita radonu byla měřena přístrojem RM 2 (výrobce Dr. Froňka, NUCLEAR TECHNOLOGY).

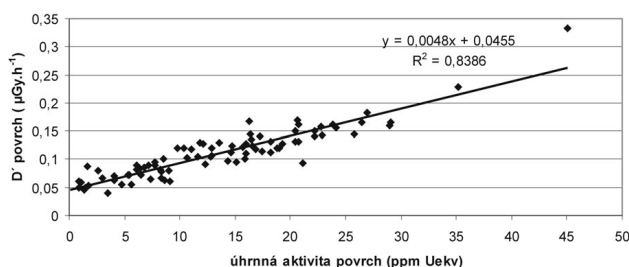
Dalším kritériem výběru ploch pro měření byl rozdílný radonový index hlubšího geologického podloží. Měřené lokality byly situovány na převažujícím geologickém podloží proterozoických metasedimentů, metavulkanitů a vápenců (okolí Prahy), granitoidů (okolí Chrudimi), neovulkanitů (okolí Litoměřic), křídových sedimentů (okolí

Tabulka 1. Průměrné objemové aktivity radonu v hloubkových úrovních v šesti měřených oblastech

hloubka (cm)	průměr Rn (kBq.m ⁻³)						průměr Rn celk. (kBq.m ⁻³) v měřené hloubce
	Praha	Chrudim	Litoměřice	Turnov	Kytlice	Písek	
10	1,2		2,6	4,5	6,7	7,2	4,4
15	1,5		6,2	14,1	2,2	10,2	6,8
20	3,4	12,3	11,8	9,9	13,4	14,1	10,8
25	1,9		8,6	13,6	18,7		10,7
30	5	32	6,3	11,6	8,1	15,3	13,1
35	5,8		25	29,4	18,3		19,6
40	8,6	37	10,1	7,4	7,3		14,1
50		40,8		6,8	3,9		17,2



Obr. 1. Průměrná objemová aktivita radonu v hloubkových úrovních do 50 cm s doplněním průměru ze všech hornin v hloubce 80 cm podle radonové databáze ČGS.



Obr. 2. Vztah úhrnné aktivity a dávkového příkonu na povrchu na měřených lokalitách.

Kytlice), metamorfítů železnobrodského krystalinika (okolí Turnova) a granitoidů střeodočeského plutonu a metamorfítů moldanubika (okolí Písku).

Vertikální distribuce objemové aktivity radonu

Měření objemové aktivity radonu bylo prováděno na každé lokalitě obvykle ve třech hloubkových úrovních, lišících se podle lokální geologické situace. Největší frekvence maximální dosažené hloubky se pohybovala mezi 30–40 cm. Souborným zpracováním dat ze 106 lokalit byl prokázán nárůst radonu s hloubkou až ke kontaktu s masivní horninou i s uvážením možného přísátí atmosférického vzduchu v nejsvrchnějším měřeném horizontu. Na převážné většině

ploch byla podle odporu sání zjištěna vysoká propustnost, na několika plochách s podložím neovulkanitů a zvětralých vápenců střední a nízká propustnost. Data objemové aktivity radonu v rozdílných hloubkových úrovních byla souborně zpracována pro etapy projektu realizované v letech 2012 a 2013. Průměry objemové aktivity radonu jsou pro jednotlivé zpracovávané oblasti uvedeny v tab. 1. Nárůst průměrné objemové aktivity radonu v hloubkových úrovních do 50 cm je prezentován v obr. 1.

Nejvyšší hodnoty objemové aktivity radonu byly zjištěny v hloubkovém intervalu 30–40 cm, což odpovídá převažující maximální hloubce kontaktu půd a zemin nízké mocnosti s pevnou horninou, zjištěné během výzkumu. Zároveň to potvrzuje správnost výběru lokalit, zaměřeného na prokazatelně nízkou mocnost kvartérních sedimentů.

Trend hloubkového vývoje objemové aktivity radonu, měřený modifikovanou sondou, byl doplněn též o údaje z radonové databáze spravované ČGS. Na podloží plošně nejrozšířenějších křídových sedimentů se nachází 34 % dat, ostatní typy horninového podloží jsou zastoupeny rovnoměrně. Průměrná objemová aktivita radonu, počítaná ze všech dat a měřená podle standardní metodiky SÚJB v hloubce 80 cm je 30,1 kBq.m⁻³. Tato hodnota byla připojena do grafu hloubkového trendu objemové aktivity radonu (obr. 1). Vyšší procentuální podíl dat na křídových sedimentech (převažující nízký radonový index a nižší hodnoty objemové aktivity radonu) by mohl ovlivnit výsledný průměr, proto byl vypočten rovněž průměr objemové aktivity radonu s vyloučením křídových sedimentů. Průměrná objemová aktivita radonu, počítaná v této variantě a měřená podle metodiky SÚJB ve standardní hloubce 80 cm, je 33,8 kBq.m⁻³. Srovnáním obou hodnot je zřejmé, že ani jeden převažující horninový typ v datovém souboru neovlivní lineární regresní závislost objemové aktivity radonu na hloubce odběru.

Vztah měřených radiometrických parametrů a objemové aktivity radonu

Cílem měření radiometrických veličin bylo zjištění jejich vzájemných korelací a výběr nejvhodnější z nich jako možného doplňku pro měření objemové aktivity radonu na

lokality s extrémně nízkou mocností půd a zemin. Pozornost byla zaměřena zejména na potvrzení korelací úhrnné aktivity a dávkového příkonu D' (označení podle IAEA TECDOC 1363 z roku 2003). Souborné zpracování dat potvrdilo regresní lineární vztahy obou sledovaných veličin s vysokým koeficientem lineární regrese. Dávkový příkon byl následně zvolen především s ohledem na finanční dostupnost různých typů radiometrů a tím i větší možnost praktického použití ve srovnání s gamaspektrometry. Vztah úhrnné aktivity a dávkového příkonu je graficky znázorněn v obr. 2 (měření na povrchu) a obr. 3 (měření na blízkém výchozu).

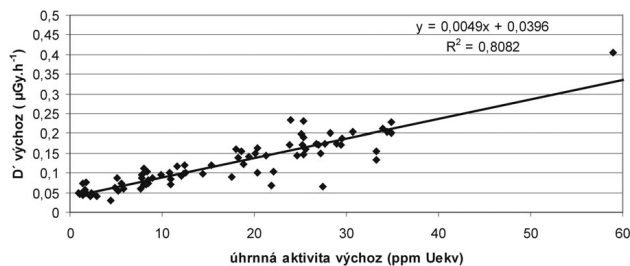
V první fázi posouzení možného vztahu dávkového příkonu a objemové aktivity radonu byla sledována závislost objemové aktivity radonu na dávkovém příkonu na výchozech, měřená ve třech oblastech (Litoměřice, Turnov a Kytlice – viz obr. 4, značení závislostí fialově pro D' na výchozu do $0,13 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ a zeleně nad $0,13 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$). Podle předběžného zpracování byla tato závislost interpretována jako lomená lineární (bod lomu $0,13 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$), případně jako exponenciální.

Vzhledem k převažujícímu typu horninového podloží v těchto oblastech (neovulkanity, metamorfity železno-brodského krystalinika a křídové pískovce) bylo v druhé fázi doplněno ještě měření na třinácti lokalitách v oblasti Písek (podloží tvořené granity, granodiority, durbachity a migmatity), u nichž bylo předpokládáno doplnění více dat v oblasti dávkového příkonu nad $0,13 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$. Tento předpoklad se po vyhodnocení dat potvrdil a výsledky regresní závislosti z oblasti Písek jsou znázorněny v obr. 4 černou barvou.

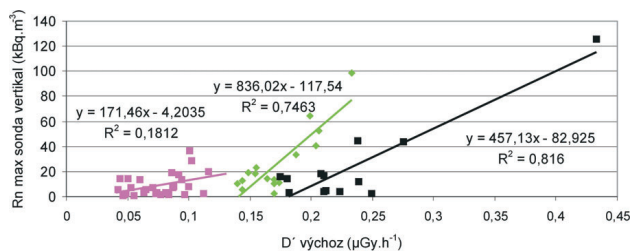
Po vyhodnocení doplněných dat bylo zjištěno, že maximální objemová aktivita radonu je sice lineárně závislá na vyšších hodnotách dávkového příkonu, ale tato závislost v rozsahu D' vyšším než $0,13 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ nenavazuje na data z dříve měřených oblastí Litoměřice, Turnov a Kytlice. Proti původnímu předpokladu tak nebyla zjištěna jednoznačná závislost $R_n - D'$ pro celý měřený rozsah hodnot D' , i když v grafu byla použita maximální objemová aktivita radonu (na kontaktu zeminy s masivní horninou), odpovídající geologickým prostředím měření D' na výchozu masivní horniny. Využití dávkového příkonu jako doplňujícího parametru pro stanovení radonového indexu pozemku v prostředí s extrémně nízkou mocností půd a zemin nebylo proto prokázáno s dostatečnou statistickou spolehlivostí pro celkový rozsah měřených hodnot D' .

Závěry

- Měření objemové aktivity radonu ve vertikálním profilu, dávkového příkonu, gamaspektrometrie na povrchu a na výchozech v prostředí s extrémně nízkou mocností půd a zemin bylo provedeno celkem na 106 lokalitách v prostředích s rozdílnou geologickou stavbou a radonovým indexem podloží. Měření potvrdila lineární regresní závislost mezi objemovou aktivitou radonu a hloubkou do 30–40 cm. Závislost dávkového příkonu,



Obr. 3. Vztah úhrnné aktivity a dávkového příkonu na výchozech na měřených lokalitách.



Obr. 4. Závislost maximální objemové aktivity radonu na dávkovém příkonu (měření na výchozech na lokalitách z oblastí Litoměřice, Turnov, Kytlice a Písek).

koncentrace uranu a objemové aktivity radonu není jednoznačná ve všech měřených oblastech, liší se podle typu podložních hornin.

- Funkčnost měřené sondy s bočním odsáváním půdního vzduchu byla ověřena zejména na lokalitách s převažující vysokou propustností, což bylo dáno specifickou lokalizací na místech s extrémně nízkou mocností půd a zemin. Možný rozsah přísávání atmosférického vzduchu nebylo možno prokazatelně kvantifikovat, nicméně srovnání výsledků objemové aktivity radonu získaných s pomocí sondy pro vertikální měření a klasické sondy se ztraceným hrotem potvrdilo shodu v nejvyšší dosažené hloubce na kontaktu masivní horniny a zeminy s koeficientem lineární regrese $R = 0,97$.

Poděkování. Předložená práce vznikla jako součást Strategického plánu výzkumu České geologické služby a byla finančně podpořena z projektu OG MŽP (ČGS 380200) v rámci Akčního plánu Radonového programu ČR. Autoři děkují za cenné připomínky editorovi K. Kirchnerovi a recenzentům M. Neznalovi a I. Fojtíkové.

Literatura

- BARNET, I. – PACHEROVÁ, P. – NEZNAL, MATĚJ – NEZNAL, MARTIN (2008): Radon in geological environment – Czech experience. – Czech Geol. Survey Spec. Pap. 19, 70 str.
- BARNET, I. – PACHEROVÁ, P. – PROCHÁZKA, J. (2012): Etapová zpráva za r. 2012 Vertikální distribuce radiometrických parametrů na lokalitách s nízkou mocností půd a zemin – podklad pro hodnocení radonového indexu v extrémních geologických podmínkách. – MS Min. život. prostředí. Praha.
- NEZNAL, MATĚJ – NEZNAL, MARTIN – MATOLÍN, M. – BARNET, I. – MIKŠOVÁ, J. (2004): The new method for assessing the radon risk of building sites. – Czech Geol. Survey Spec. Pap. 16, 48 str.
- IAEA – TECDOC – 1363 (2003): Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. – IAEA. Vienna.

sine (2002): Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů, o radiační ochraně. – St. úřad pro jader. bezpeč. Praha. http://www.radonovyprogram.cz/radonovyprogram/images/clanky/vyhlaska_307.pdf

sine (2013): Doporučení SÚJB: Stanovení radonového indexu pozemku přímým měřením. – St. úřad pro jader. bezpeč. Praha. http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/121031_Doporučení_RIP.pdf