

Kalibrace přenosných gamaspektrometrů na standardech kalibrační základny DIAMO s.p. ve Stráži pod Ralskem a stanovení pozadí

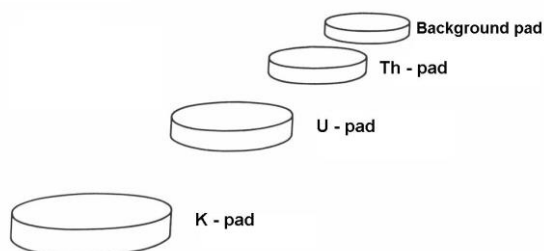
Milan Matolín
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
28.7.2017

Geofyzikální terénní měření s přenosnými gamaspektrometry jsou zaměřena na stanovení přírodních radionuklidů draslíku, uranu a thoria, tří hlavních zdrojů gama záření v horninách. Standardní postup terénního stanovení hmotnostní koncentrace K, U a Th je prováděn měřením vybraných linií energie gama záření přírodních radionuklidů K, U, a Th. Draslík je stanovován detekcí energie 1461 keV emitované izotopem ^{40}K , stanovení K je přímé, výsledky se vyjadřují v % K. Uran je stanovován detekcí energie 1764 keV emitované izotopem ^{214}Bi (členem přeměnové řady ^{238}U), stanovení U je nepřímé, výsledky se vyjadřují v ekvivalentní koncentraci U v jednotkách ppm eU. Thorium je stanovováno detekcí energie 2615 keV emitované izotopem ^{208}Tl (členem přeměnové řady ^{232}Th), stanovení Th je nepřímé, výsledky se vyjadřují v ekvivalentní koncentraci Th v jednotkách ppm eTh.

Při měření zdrojů gama záření na povrchu zemském je společně s gama zářením zdroje registrován signál pozadí (Background). Pro stanovení radioaktivity zdroje je nutné od sumární naměřené hodnoty hodnotu pozadí odečíst.

1. Kalibrace přenosných gamaspektrometrů na kalibrační základně DIAMO s.p.

Kalibrační základna DIAMO s.p. ve Stráži pod Ralskem je vybavena cylindrickými betonovými standardy (calibration pads) PK, PU, PTh o průměru 1,9 m a výšce 0,62 m nabohacenými jednotlivě přírodními radionuklidy K, U, Th a nulovým standardem background pad) P0. Koncentrace přírodních radionuklidů ve standardech byly stanoveny (Tab. 1)



Tab. 1. Doporučené hodnoty koncentrací radionuklidů ve standardech PK, PU, PTh a P0 kalibrační základny DIAMO s.p. (Matolín, Křest'an, Stoj'e, Veselý, 2010)

Standard	% K	ppm U	ppm Th
PK	15.33	2.4	2.1
PU	0.24	29.2	2.4
PTh	0.29	5.1	94.6
P0	0.02	0.3	0.9

Cílem kalibrace přenosných gamaspektrometrů na kalibrační základně DIAMO s.p. je stanovení citlivostí přístrojů (instrument sensitivities, s_{ij}) k detekci radionuklidů j (K, U a Th) ve zvolených intervalech energie gama záření i (1, 2, 3). Při kalibraci gamaspektrometru se na standardech PK, PU, PTh, P0 měří četnosti impulsů n_i (imp/s nebo imp/min) a citlivosti s_{ij} se stanoví ze vztahů rozdílových četností impulsů a rozdílových koncentrací radionuklidů ve standardech PK, PU, PTh a nulovém standardu P0 (IAEA 1989, IAEA 2003). Pro měření na standardu PK platí vztahy:

$$\begin{aligned} n_{1PK} - n_{1P0} &= s_{1K}(c_{KPK} - c_{KP0}) + s_{1U}(c_{UPK} - c_{UP0}) + s_{1Th}(c_{ThPK} - c_{ThP0}) \\ n_{2PK} - n_{2P0} &= s_{2K}(c_{KPK} - c_{KP0}) + s_{2U}(c_{UPK} - c_{UP0}) + s_{2Th}(c_{ThPK} - c_{ThP0}) \quad (A) \\ n_{3PK} - n_{3P0} &= s_{3K}(c_{KPK} - c_{KP0}) + s_{3U}(c_{UPK} - c_{UP0}) + s_{3Th}(c_{ThPK} - c_{ThP0}) \end{aligned}$$

kde s_{ij} - citlivosti spektrometru k detekci j -tého radionuklidu v i -tém intervalu energie (imp/s na jednotkovou koncentraci radionuklidu)
 n_i - četnost impulsů pozadí v i -tém intervalu energie na uvedeném standardu
 c_j - hmotnostní koncentrace j -tého radionuklidu v uvedeném standardu

Obdobně pro měření na standardech PU a PTh.

Z měření na standardech PK, PU, PTh a P0 se stanoví celkem 9 rovnic typu (A), z kterých maticovým počtem určíme 9 citlivostí s_{ij} . Tyto citlivosti stanovené měřením na standardech o omezených rozměrech se opraví pro geometrii terénního měření odpovídající nekonečnému poloprostoru $\omega = 2\pi$ sr násobením opravou G na geometrii standardu (IAEA 1989). Poměr R pole záření gama cylindrického standardu o poloměru r (m) a výšce minimálně 0,5 m (vrstva gama záření nasycená) ku gama záření nekonečného poloprostoru, při podmínce $h/r < 0,2$ je možno vyjádřit vztahem $R = 1 - h/r$, kde h (m) je výška středu scintilačního krystalu nad středem standardu. Násobná konstanta opravy na geometrii standardu je $G = 1/R$ (IAEA 2003). Hodnoty citlivostí spektrometru, opravené na geometrii standardů, se vloží (převážně jako inverzní matice citlivostí) do paměti gamaspektrometru.

Při měření na standardech PK, PU a PTh je přístrojem registrována radioaktivita standardu + radioaktivita zdrojů blízkého okolí standardu (t. zv. „pozadí“ na kalibrační základně = součet radiace kosmického záření, vzdušného radonu v hale, podlahy a stěn haly kalibrační základny a vnitřní kontaminace přístroje). K odstranění vlivu „pozadí“ v hale kalibrační základny slouží měření radiace na nulovém standardu P0 a následné odečtení tohoto „pozadí“ použitím rozdílových četností impulsů $n_{i \text{ standard}} - n_{iP0}$ a rozdílových koncentrací $c_{j \text{ standard}} - c_{jP0}$ vztahů (A). Malé rozdíly v radiaci stěn a podlahy haly kalibrační základny v blízkosti jednotlivých standardů jsou zohledněny v údajích doporučených hodnot koncentrací radionuklidů ve standardech (Tab. 1). Nulový standard P0 a „pozadí“ stanovené na P0 slouží pouze k účelu kalibrace gamaspektrometru.

Při kontrolním a doplňkovém měření radiace ve Stráži pod Ralskem 12.7.2010 byla změřena objemová aktivita (koncentrace) radonu (^{222}Rn) v hale MTZ. V hale jsou umístěny standardy PU, KU a vrstevnaté standardy uranu VU generující radon. Produkty přeměny radonu, zejména ^{214}Pb a ^{214}Bi jsou intenzivními zdroji záření gama o energii detekované při kalibraci spektrometrů. Objemová aktivita radonu byla měřena přístrojem RADIM 2 (PřF UK v Praze) s polovodičovým detektorem detekcí záření alfa ^{218}Po , prvního produktu přeměny radonu. Měření bylo realizováno v době 9:00 hod – 16:30 hod. Po otevření vrat haly MTZ byla v první

hodině měření 9:00 – 10:00 hod orientačně stanovena objemová aktivita v ovzduší haly 35 Bq/m³, pro měření v intervalu 10:00 – 16:30 hod objemová aktivita radonu klesla na 14 Bq/m³. Hrubě orientační měření s přístrojem RADIM II umístěným na stole v hale ukazuje na obvyklou akumulaci radonu v uzavřeném objektu a poklesu radonu po větrání. Hrubý odhad gama záření generovaného zdroji radonu v hale v první hodině po otevření haly je na úrovni standardních odchylek gamaspektrometrických měření. Pro vyloučení jakýchkoliv změn radiace během kalibrace je vhodné začít měření v odvětrané hale.

2. Terénní gamaspektrometrické stanovení K, U, Th a odpovídající pozadí

Při měření radioaktivity hornin na povrchu zemském jsou měřené četnosti impulsů (imp/s nebo imp/min) ve zvolených intervalech energie záření gama součtem radiace kosmického záření, vzdušného radonu, vnitřní kontaminace samotného přístroje a radiace K, U a Th v hornině. Pozadí při terénních geofyzikálních měřeních radioaktivity hornin zahrnuje účinek kosmického záření, vzdušného radonu a vnitřní kontaminaci přístroje. Radioaktivita horniny se určí jako rozdíl hodnoty naměřené v terénu a hodnoty pozadí. Hodnota pozadí se pro daný přístroj a terénní průzkumy stanoví měřením na vodní ploše.

Vhodná vodní plocha pro stanovení pozadí radiometrických přístrojů je dostatečně rozsáhlá, s plochým terénem břehů a hloubkou vody minimálně 1 m. Měření pozadí se provede na plavidle z neradioaktivního materiálu (dřeva, plastu a pod) ve vzdálenosti minimálně 60 m od břehů. Registrována je četnost impulsů v každém ze zvolených intervalů energie záření gama gamaspektrometru. Doporučený čas expozice na vodě je několikrát opakovaně 10 minut. Na rozsáhlé vodní ploše s hloubkou vodní vrstvy minimálně 1 m je radioaktivita podložních hornin (dna vodní plochy) absorbována hmotou vody (Tab. 2) a radiometr nesený plavidlem registruje účinek pozadí (kosmické záření, vzdušný radon, vnitřní kontaminaci přístroje). Hodnoty takto stanovené četnosti impulsů (obvykle imp/min) ve 4 zvolených intervalech energie spektrometru (TC, K, U, Th) se vloží do paměti spektrometru. Moderní gamaspektrometry při stanovení úhrnné gama aktivity (TC) a koncentrace přírodních radionuklidů K, U, Th v horninách hodnotu pozadí odečtou a zobrazí výsledné údaje koncentrací K (%K), U (ppm eU) a Th (ppm eTh) na displeji přístroje.

Ideální volba vodní plochy pro stanovení pozadí přístroje pro následné terénní měření zájmového území má horniny podobného složení jako jsou horniny v zájmovém území průzkumu. Vodní plocha v hlubším údolí řeky není vhodným objektem pro stanovení pozadí.

Tabulka 2 Úbytek pole záření gama o energii 2615 keV absorpcí ve vodě o mocnosti h (m). Pro E = 2615 keV, $\mu = 4,33 \text{ m}^{-1}$. Výpočet podle $e^{-\mu h}$ a podle $E_2(\mu h)$.

h (m)	$e^{-\mu h}$	$E_2(\mu h)$
0,0	1	1
0,1	0,65	0,34
0,2	0,41	0,18
0,5	0,11	0,03
1,0	0,014	0,002
2,0	0,00017	0,000016
3,0	0,00000226	0,00000015
5,0	0,000000002	0,000000001

Rozdíl mezi hodnotou „pozadí“ registrovanou na standardu P0 na kalibrační základně DIAMO s.p. ve Stráži pod Ralskem a hodnotou pozadí registrovanou nad vodní plochou závisí na radioaktivitě hornin území vodní plochy, emanování radonu z hornin, reliéfu terénu břehů vodní plochy, a na její nadmořské výšce. Orientační hodnoty kladného rozdílu hodnot P0 – pozadí na vodní ploše, při vyjádření rozdílu v koncentracích přírodních radionuklidů, je 0,6 % K, 1,0 až 1,5 ppm eU a 4,0 až 4,5 ppm eTh.

Literatura

- IAEA (1989): Construction and Use of Calibration Facilities for Radiometric Field Equipment. Techn. Reports series No. 309, IAEA, Vienna.
- IAEA (2003): Guidelines for radioelement mapping using gamma-ray spectrometry data. IAEA-TECDOC-1363, IAEA, Vienna, 1-173.
- Matolín M., Křest'an P., Stoj'e V., Veselý P. (2010): Přestěhování kalibrační základny pro terénní spektrometry gama z Bratkovic do Stráže pod Ralskem. Zpráva, DIAMO, Stráž pod Ralskem.