

# Detailní gamaspektrometrické stanovení přírodních radionuklidů K, U a Th na okrajovém sudetském zlomu

Detailed gamma-ray spectrometric analysis of natural radionuclides of K, U, and Th on the Sudetic Marginal Fault

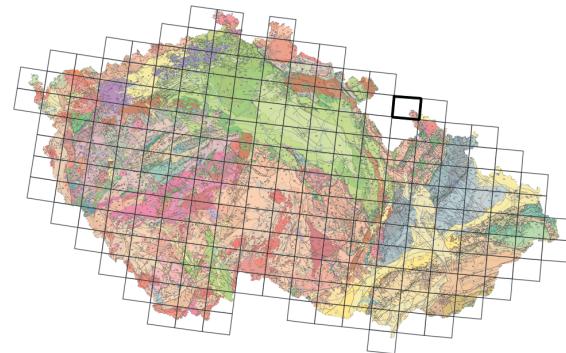
ONDŘEJ ŠÁLEK<sup>1</sup> – MILAN MATOLÍN<sup>1</sup> – PETR TÁBOŘÍK<sup>1, 2</sup> –  
PETRA ŠTĚPANČÍKOVÁ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6,  
128 43 Praha 2; ondrej.salek@natur.cuni.cz

<sup>2</sup> Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i., V Holešovičkách  
41, 182 09 Praha 8

**Key words:** Sudetic Marginal Fault, gamma-ray spectrometry, distribution of K, U, and Th

**Summary:** Concentrations of natural radionuclides of K, U and Th along vertical profile of a research trench studying the Sudetic Marginal Fault were established by detailed focused gamma-ray spectrometric measurements. Geological scheme of the profile is shown in the Fig 1. Analyses of K, U, Th were carried out by two gamma-ray spectrometers, i.e. GS-256 and newly introduced GT-40S (Georadis). The GS-256 is a portable gamma-ray spectrometer of standard design, which was calibrated at calibration facility Stráž pod Ralskem, Czech Republic. Focusing of GS-256 detector was achieved by placing the probe in a ring-shaped lead shield (thickness 30 mm, height 130 mm, inner diameter 140 mm, weight 21 kg). Since the lead shielding is changing instrument's response to gamma-rays and its calibration constants, it is necessary to apply shielding correction factors when determining K, U and Th (Table 1). The gamma-ray spectrometer GT-40S is specially designed for focused measurements. The lead shielding (thickness 25 mm, inner diameter 70 mm, weight 9 kg) is built into the probe. The GT-40S was calibrated using Grasty's transportable calibration pads. The results of measurements by GS-256 gamma-ray spectrometer on profiles 1 and 2 are shown in Fig 2.



(04-43 Bílý Potok)

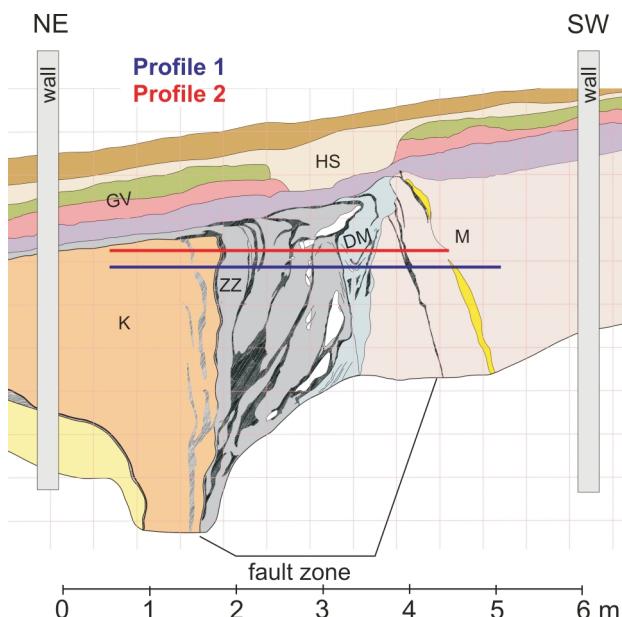
The comparison of results acquired by using the GS-256 and GT-40S instruments is presented in Fig 3.

The abnormality of the obtained radiometric data was statistically treated and tested using the range of  $\pm 3S$  (standard deviation) of the mean. The test has shown thorium anomaly to be bound to rocks of the fault zone, while concentrations of potassium and uranium have not indicated any significant change or affinity (Table 2, Fig. 2). Statistical identity of the results obtained by using the GS-256 and GT-40S instruments was tested by Student's t-test for paired samples based on a hypothesis that the results of measurements using two instruments are statistically not different. The test parameters are shown in Table 3. Potassium and uranium analyzed by the two instruments show small deviations close to magnitude of measurements errors. Concentrations of thorium established by the two gamma-ray spectrometers were found to be statistically identical.

Gamaspektrometrické stanovení přírodních radionuklidů K, U a Th je umožněno detekcí energie částic gama emitovaných těmito radionuklidů. Emitované energie gama kvant jsou pro každý prvek charakteristické. Pro identifikaci draslíku slouží detekce energie 1,46 MeV, pro identifikaci U energie 1,76 MeV a pro identifikaci Th energie 2,62 MeV. Terénní stanovení obsahů přírodních radionuklidů je obvykle prováděno pomocí přenosných gamaspektrometrů se scintilačními detektory typu NaI (Tl) nebo BGO.

Dosah gama záření v horninách je cca 35 cm. V geometrii měření  $2\pi$  sr (steradián), tj. na povrchu poloprostoru, analyzovaný vzorek horniny odpovídá přibližně hmotnosti 100 kg (Mareš et al. 1979). Tato geometrie měření je vhodná pro běžné účely vyhledávání ložisek radioaktivních surovin a stanovení radioaktivity přírodního prostředí. Detailní gamaspektrometrická měření úzce lokálních geologických objektů je vhodné provádět v geometrii  $<2\pi$  sr. Směrového příjmu gama záření lokálních geologických objektů lze dosáhnout umístěním detektoru do olověného stínění.

Koncentrace přírodních radionuklidů K, U a Th v horninách byla stanovena na lokalitě Bílá Voda v úseku sudetského zlomu. Cílem výzkumu bylo (1) zhodnotit projev zlomové zóny z hlediska distribuce K, U a Th a (2) porovnat kvantitativní výsledky měření s gamaspektrometry GS-256 (Geofyzika Brno) a nově vyvinutým přístrojem GT-40S (Georadis Brno). Měření s přístrojem GS-256 provedli Milan Matolín a Ondřej Šálek (PřF UK), měření s přístrojem GT-40S provedli Ivan Kašparec a Jan Mašek (Georadis Brno) v dubnu 2014.



Obr. 1. Schéma geologické situace stěny výzkumné rýhy a měřeného profilu. K – kvartérní sedimenty, ZZ – zlomová zóna s tektonickými brekciemi, DM – tektonicky deformované metamorfity, M – metamorfity (svory), GV – gelifluované vrstvy, HS – holocenní svahoviny / Fig. 1. Geological scheme of the wall of the research trench and of the measured profile. K – Quaternary sediments, ZZ – fault zone with tectonic breccia, DM – tectonically deformed metamorphites, M – metamorphites (mica schists), GV – gelifluvated layers, HS – Holocene colluvial deposits).

## Přenosné terénní gamaspektrometry a metodika měření

Studovaná lokalita se nachází 800 m vjv. od obce Bílá Voda, okr. Jeseník. Měření bylo provedeno na vertikální stěně části výzkumné rýhy Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i., o aktuální hloubce přibližně 2 m, která je zachována ve vystavěném přístřešku. Výzkumná rýha zachycuje kvartérní sedimenty a metamorfity oddělené subvertikální zlomovou zónou okrajového sudetského zlomu. Měřené profily se nacházejí na levé stěně rýhy při pohledu k JZ (obr. 1). Detailně změřeny byly dva horizontální profily s délkami 4,5 m (profil 1) a 3,9 m (profil 2). Počátek profilů se nacházel 60 cm od severovýchodní zdi přístřešku v hloubce 135 cm (profil 1) a 110 cm pod povrchem (profil 2). Krok měření na profilu byl 10 cm. Metráž profilu roste přibližně jz. směrem. Podle geologického

popisu se v měřeném profilu nacházejí pleistocenní sedimenty náplavového kužele (zachyceny měřením v metrážích 0,6–1,6 m), zlomová zóna s tektonickými brekciemi tvořenými drcenými úlomky křemene a živců (měření v metrážích 1,7–2,6 m), zvrásněné tektonické jíly a deformované metamorfity (měření v metrážích 2,7–4,0 m) a fylonitizované metamorfity (svory; měření v metrážích 4,1–5,1 m).

Měření na profilu 1 bylo provedeno přístroji GS-256 a GT-40S. Profil 2 byl měřen jen přístrojem GS-256. Detektor NaI(Tl) velikosti  $76 \times 76$  mm gamaspektrometru GS-256 byl umístěn v olověném stínění tvaru prstence se síhou stěny 30 mm, výškou stěny 130 mm, vnitřním průměrem prstence 140 mm a hmotností 21 kg. Sonda gamaspektrometru byla zcela zasunuta do Pb prstence, Pb prstenec i sonda nasedaly na stěnu rýhy.

Přístroj GT-40S má detektor typu BGO velikosti  $51 \times 51$  mm integrovaný do válcového krytu přístroje. Detektor je v sondě přístroje umístěn v olověném stínění se síhou stěny olova 25 mm. Vnější průměr sondy přístroje je 120 mm a hmotnost přístroje 9 kg. Olověný prstenec stínění je předsunut před čelo válcového detektora BGO, čímž zužuje svazek detekovaného gama záření. Přístroj GT-40S analyzuje obsah přírodních radionuklidů K, U a Th, udává velikost dávkového příkonu [nGy/h] a chybu měření.

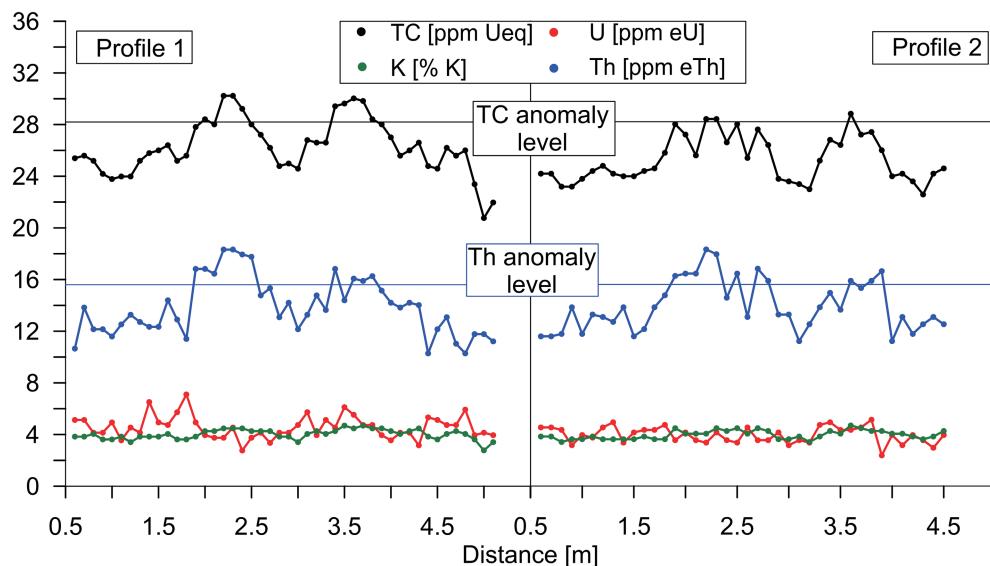
Parametry obou přístrojů z hlediska typu, velikosti detektoru, parametrů stínění a použitých kalibračních objektů jsou rozdílné. Do určité míry se z důvodu odlišné geometrie měření přístrojů liší hmotnost analyzovaného vzorku horniny. Přístroj GT-40S byl kalibrovaný v geometrii detektoru BGO se stíněním ( $\omega < 2\pi$  sr) na transportativních standardech R. Grastyho (Grasty – Holman – Blanchard 1991), zatímco přístroj GS-256 byl kalibrovaný pro geometrii měření bez stínění ( $\omega = 2\pi$  sr) na kalibrační základně DIAMO s. p. ve Stráži pod Ralskem (Matolín – Křestan – Stoje 2011). Výsledné hodnoty úhrnné aktivity gama a koncentrací K, U, Th v horninách pro měření GS-256 s Pb stínícím prstencem byly získány násobením výstupních údajů přístroje konverzními faktory ( $> 1$ ), stanovenými pro každý zájmový interval energie gama.

Konverzní faktory pro gamaspektrometr GS-256 byly stanoveny měřením radioaktivity na lokalitě Vojkov tvořené granitem sedlčanského typu s nadprůměrnou radioaktivitou. Byla provedena opakovaná měření jednoho bodu s detektorem bez olověného stínění a se stíněním. Doby měření byly šestkrát 4 minuty. Bylo zjištěno, že použitý olověný prstenec tloušťky 3 mm odstíní přibližně polovinu

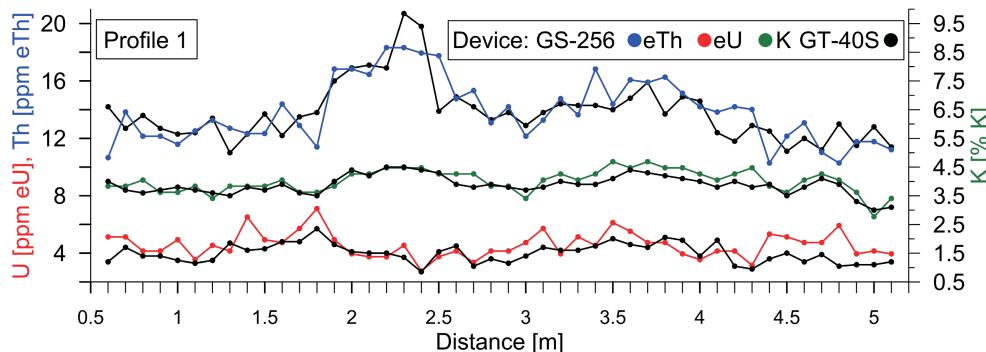
Tabulka 1. Stanovení konverzních faktorů pro přístroj GS-256 a geometrii měření s Pb prstencem a chyba stanovení radionuklidů tímto způsobem na lokalitě Vojkov / Table 1. Determination of conversion factors for GS-256 instrument with detector shielded by Pb ring and establishment of errors of analyses (locality Vojkov)

	TC [ppm Ueq]	K [% K]	U [ppm eU]	Th [ppm eTh]
The average value without Pb ring shielding	39,7	4,61	7,50	30,50
The average value with Pb ring shielding	19,7	2,17	3,80	16,32
Conversion factors	2,02	2,13	1,97	1,87
Error of concentration determination by GS-256	0,42	0,20	0,60	1,14

Obr. 2. Výsledky stanovení K, U, Th a úhrnné gama aktivity TC na profilech 1 a 2 přístrojem GS-256 / Fig. 2. The results of K, U, Th and total gamma-ray activity (total count, TC) on profiles 1 and 2 established by using GS-256 gamma-ray spectrometer.



Obr. 3. Srovnání výsledků stanovení K, U, Th přístroji GS-256 a GT-40S na profilu 1 / Fig. 3. Comparison of K, U, and Th analyses measured by GS-256 and GT-40S instruments on profile 1.



gama záření hornin. Konverzní faktory pro jednotlivé radioizotopy závisí na energii gama záření (tab. 1).

Výsledky analýz koncentrací přírodních radionuklidů K, U a Th přístrojem GS-256 na profilech 1 a 2 přes sudetský zlom na lokalitě Bílá Voda uvádí obr. 2. Výsledky analýz koncentrací přírodních radionuklidů K, U a Th přístroji GS-256 a GT-40S na profilu 1 jsou v obr. 3. Naměřené hodnoty ukazují na zvýšenou koncentraci Th na sudetském zlomu.

### Posouzení anomaly koncentrace Th na zlomové zóně a shody analýz provedených přístroji GS-256 a GT-40S

1. Pro posouzení rozdílnosti a anomaly výskytu přírodních radionuklidů K, U a Th (GS-256) byly použity: test rozdílnosti dvou souborů dat (a) a test významnosti anomálie (b).

a) Dva soubory dat radioaktivity jsou na hladině významnosti 95 % rozdílné, pokud platí:  $|X_1 - \bar{X}_2| > 2(S_1 + S_2)$  (Philipsborn 2006).  $\bar{X}_i$  je aritmetický průměr koncentrací radionuklidu v i-tém úseku,  $S_i$  je směrodatná odchylka výběru i-tého úseku. Byly testovány vždy dva sousední úseky na obou profilech, 1 a 2, definované geologickým popisem (obr. 1) hornin zájmového úseku sudetského zlomu. Stastická rozdílnost v koncentracích K, U a Th v žádném ze sousedních úseků vymezujících úseky rozdílné geologie na sudetském zlomu nebyla prokázána.

b) Anomalie obsahu radioaktivního prvku je významná na hladině významnosti  $3S_n$  pokud překračuje úroveň normálního pole (n) koncentrace  $C_n$  o více než trojnásobek směrodatné odchylky výběru  $S_n$  normálního pole. Za normální pole byly považovány hodnoty v kvartérních sedimentech a metamorfitech (svorech; obr. 1). Hladiny významnosti anomálie podle kritéria  $3S_n$  jsou uvedeny v tab. 2. Draslík a uran nevykazují anomální hodnoty koncentrací. Koncentrace thoria vykazuje na obou profilech kladné anomálie v metrážích odpovídajících tektonickým brekciím a deformovaným tektonickým jílům a metamorfitem v úseku zlomové zóny sudetského zlomu. Úhrnná gama aktivita vykazuje ve zlomové zóně anomálně zvýšené hodnoty v souladu s koncentrací thoria.

2. Pomocí párového t-testu (Anděl 1978) byly porovnány výsledky stanovených koncentrací K, U a Th v horninách s přístroji GS-256 a GT-40S (obr. 3). Testujeme hypotézu, že výsledky měření s oběma přístroji se statisticky neliší. Kritická hodnota t studentova rozdělení s 45 stupni volnosti na hladině  $\alpha = 0,05$  je 2,0. Aritmetický průměr ( $N_r$ ) rozdílů měřených koncentrací C mezi oběma přístroji ( $C_{GT-40S} - C_{GS-256}$ ), jejich výběrová směrodatná odchylka ( $S_r$ ) a hodnota testovací charakteristiky (T) jsou uvedeny v tab. 3. Pro draslík a uran hodnota testovacího kritéria T překračuje kritickou hodnotu a hypotéza je zamítнутa. Pro thorium hypotézu o shodnosti obou souborů dat nezamítáme.

Tabulka 2. Normální pole radioaktivity hornin  $C_n$ , standardní odchylka  $S_n$  a hladina významnosti anomálie  $C_n + 3S_n$  / Table 2. The level of radioactivity in rocks unaffected by fault  $C_n$ , standard deviation  $S_n$  and significant anomaly level  $C_n + 3S_n$  (profile 1 and 2, GS-256)

	TC [ppm Ueq]	K [% K]	U [ppm eU]	Th [ppm eTh]
$C_n$	24,5	3,8	4,3	12,4
$S_n$	1,2	0,3	0,8	1,1
$C_n + 3S_n$	28,2	4,7	6,6	15,6

Tabulka 3. Párový t-test shodnosti výsledků gamaspektrometrických analýz K, U a Th přístroji GS-256 a GT-40S / Table 3. Student's t-test for paired samples testing the conformity of K, U and Th gamma-ray spectrometric analyses using GS-256 and GT-40S instruments

	K [%]	U [ppm eU]	Th [ppm eTh]
$N_r$	-0,14	-0,58	-0,06
$S_r$	0,22	0,79	1,51
T	4,26	4,96	0,28
hypothesis	rejected	rejected	confirmed

## Závěry

Detailním terénním gamaspektrometrickým měřením byly na stěně průzkumné rýhy, zachycující okrajový sudetský zlom u obce Bílá Voda, stanoveny koncentrace přírodních radionuklidů K, U a Th. Podle výsledků těchto analýz se v zóně hornin deformovaných zlomem nacházejí anomální výskytu thoria. Koncentrace draslíku a uranu jsou v celém studovaném profilu bez významnějších změn.

Byla posouzena shodnost výsledků terénních gamaspek-

trometrických analýz fokusovaným měřením se dvěma nezávisle kalibrovanými přenosnými spektrometry GS-256 a GT-40S. Ze zhodnocení omezeného počtu 45 analýz terénního gamaspektrometrického stanovení K, U a Th přístroji GS-256 a GT-40S vyplývá, že stanovené koncentrace draslíku a uranu nejsou na hladině významnosti 95 % zcela shodné. Průměrný rozdíl ( $N_r$ ) mezi koncentracemi u K a U je blízký velikosti chyby měření (tab. 1 a 3). Míra shody analýz koncentrací K a U, zjištěných oběma přístroji, je vzhledem k rozdílné geometrii měření a způsobu kalibrace uspokojivá. Pro thorium byla shodnost výsledků stanovení Th přístroji GS-256 a GT-40S na hladině významnosti 95 % potvrzena. Popsaná technika fokusovaných měření s Pb stínícími prstenci a postup zpracování dat umožňuje použití standardních geofyzikálních gamaspektrometrů pro detailní posouzení výskytu přírodních radioelementů v lokálních geologických objektech.

*Poděkování.* Výzkum byl uskutečněn s podporou grantových projektů GA ČR P210/12/0573 a MŠMT LH12078. Autoři děkují za připomínky editorovi K. Kirchnerovi a recenzentům I. Barnetovi a J. Zemanovi.

## Literatura

- ANDĚL, J. (1978): Matematická statistika. – SNTL/ALFA, Praha.  
 GRASTY, R. L. – HOLMAN, P. B. – BLANCHARD, Y. B. (1991): Transportable calibration pads for ground and airborne gamma-ray spectrometers. – Geol. Survey Canada, Paper 90–23.  
 MAREŠ, S. – GRUNTORÁD, J. – HRÁCH, S. – KAROUS, M. – MAREK, F. – MATOLÍN, M. – SKOPEC, J. – VÁLEK, R. (1979): Úvod do užití geofyziky. – SNTL/ALFA, Praha.  
 MATOLÍN, M. – KŘEŠŤAN, P. – STOJE, V. (2011): Standardy pro terénní spektrometry gama ve Stráži pod Ralskem. – EGRSE Int. J. Explor. Geophys., Remote Sens. Env. 18, 3, 98–113.  
 PHILIPSBORN, H. (2006): Radioaktivität und Strahlungsmessung. – Bayer. Staatsminister. Umwelt, Gesundheit Verbraucherschutz. München.