

STANDARDS PRO TERÉNNÍ SPEKTROMETRY GAMA VE STRÁŽI POD RALSKEM

STANDARDS FOR FIELD GAMMA-RAY SPECTROMETERS IN CZECH REPUBLIC

Milan Matolín¹, Petr Křest'an², Vladimír Stojč³

Abstrakt

Kalibrační základna pro terénní gama spektrometry byla v roce 1975 vybudována státním podnikem ČSUP původně v Bratkovicích u Příbrami. Slouží pro kalibraci přenosných, leteckých a karotážních spektrometrů a radiometrů používaných při geologickém mapování, průzkumu ložisek uranu a monitorování životního prostředí. Aparatury pro letecká a pozemní radiometrická měření, prováděná od roku 1975 v Československu a později v České republice, byly kalibrovány pomocí povrchových standardů na této základně. Povrchové standardy jsou navázány na celosvětovou bázi IAEA velkoobjemových etalonů K, U, Th. O přestěhování základny z Bratkovic do Stráže pod Ralskem byla autory podána předběžná informace na konferenci Nové poznatky a měření v seismologii, inženýrské geofyzice a geotechnice, Ostrava 2010. Letošní příspěvek se zaměřuje na následné ověřovací práce a přináší i zkušenosti s prvním rokem provozu.

Abstract

The calibration facility for field gamma-ray spectrometers was established by the Czechoslovak Uranium Industry in Bratkovice near Příbram in 1975. It serves for calibration of portable, car-borne, airborne and logging gamma-ray spectrometers and radiometers used in geological mapping, uranium exploration and environmental studies. Airborne and ground radiometric measurements conducted in former Czechoslovakia and the Czech Republic since 1975 are levelled to calibration pads at this calibration facility. Calibration pads for portable gamma-ray spectrometers are tied to IAEA Global radioelement baseline. As authors already reported on the conference New Knowledge and Measurements in Seismology, Engineering Geophysics and Geotechnics Ostrava 2010, the facility was moved to Stráž pod Ralskem in 2009. This report focuses on the consequential verification works and brings also experiences of the first year of operation in the new placement.

Klíčová slova

paprsky gama, gama-spektrometrie, kalibrace, kalibrační modely ve Stráži pod Ralskem, Česká republika

1 Úvod

O přestěhování spektrometrické základny z Bratkovic u Příbrami do Stráže pod Ralskem byla podána informace na konferenci Nové poznatky a měření v seismologii, inženýrské geofyzice a geotechnice, Ostrava 2010 (Matolín a kol. 2010). Kalibrační základna byla vybudována státním podnikem ČSUP podle studie a návrhu z katedry užití geofyziky PŘF UK v Praze (Matolín, Dědáček 1971). Sestávala

ze standardů pro kalibraci radiometrických přístrojů pro povrchová a karotážní měření radioaktivity hornin. Účelem byla kalibrace přístrojů nově se rozvíjející terénní gama spektrometrie a kalibrace radiometrů pro měření úhrnného záření gama včetně zdokonalení automatizovaného zpracování číslicově zapisovaných terénních dat pro výpočet zásob ložisek radioaktivních surovin. Vybudování základny je podrobně popsáno jejími autory ve zprávě UP Liberec (Rojko, Zeman, Josovič, Staněk 1975). Protože již nebylo možné, zajistit provoz základny v původní lokalitě v Bratkovicích u současného majitele areálu, rozhodl se v roce 2009 státní podnik DIAMO Stráž pod Ralskem (nástupce ČSUP) přestěhovat ji do areálu odštěpného závodu Těžba a úprava uranu (TÚU) ve Stráži pod Ralskem jak pro její využití vlastním geofyzikálním pracovištěm na středisku pro monitorování a karotáž, tak i pro její využití širší odbornou veřejností zabývající se gama spektrometrií a radiometrií. Ústav hydrogeologie, inž. geologie a užitá geofyziky PřF UK v Praze zajistil pro tuto akci metodický dohled a nezbytná ověřovací měření radioaktivity.

Betonové standardy o celkové hmotnosti 24 tun byly přestěhovány na návěsu silničního tahače v listopadu roku 2009. Při nové instalaci ve Stráži pod Ralskem byla uplatněna řada námětů od dosavadních uživatelů, vedoucí ke zlepšení funkčnosti a pracovních podmínek při kalibraci přístrojů. Po stavební stránce byla základna nově zprovozněna v květnu roku 2010.

2 Ověřovací práce

Při stěhování a nové instalaci standardů byla snaha minimalizovat rizika jejich poškození nebo zhoršení funkčnosti. Po přestěhování bylo nutné zejména přesně ověřit, za jakých podmínek mohou být standardy dál používány tak, aby nově kalibrované přístroje poskytovaly správné výsledky. Pro tento účel posloužila především převazovací měření standardů dvojicemi osvědčených přístrojů před a po stěhování. V případě povrchových standardů šlo o dvojici terénních spektrometrů PřF UK v Praze, v případě karotážních standardů o dvojici gama karotážních sond TÚU.

Kromě převazovacích měření bylo potřeba ověřit i další související skutečnosti, jako bylo hned na počátku radiometrické a spektrometrické proměření nově vybraného prostoru (haly) nebo určitý počet laboratorních analýz složení materiálu některých standardů. Výsledkem všech ověřovacích prací bylo stanovení nových doporučených efektivních koncentrací K, U, Th v jednotlivých standardech. Užití doporučených koncentrací zajišťuje návaznost výsledků měření přístroji kalibrovanými dříve v Bratkovicích a měření s přístroji kalibrovanými v mírně odlišných podmínkách ve Stráži pod Ralskem. Podrobnosti jsou shrnuty v závěrečné technické zprávě (Matolín a kol. 2010).

2.1 Povrchové standardy

Geometrické uspořádání a okolní prostředí standardů pro kalibraci gama spektrometrů ve Stráži pod Ralskem je rozdílné od situace standardů v Bratkovicích. Po instalaci standardů PK, PU, PTh a P0 pro povrchová měření radioaktivity v objektu DIAMO s. p. MTZ č. 797 ve Stráži pod Ralskem v roce 2010 bylo provedeno jejich ověření.

Stanovení radiačních vlastností standardů PK, PU, PTh a P0 před stěhováním bylo realizováno stanovením citlivostí gama spektrometrů GR-320 v. č. 2181 a GS-256 v. č. 8407 (PřF UK v Praze) měřením v Bratkovicích 12. 8. 2009 a 12. 5. 2010 po jejich instalaci v hale

MTZ ve Stráži pod Ralskem (obr. 1). Porovnání citlivostí gama spektrometrů GR-320 a GS-256 stanovených v Bratkovicích (2009) a ve Stráži p. R. (2010) vykázalo podle obsahů K i podle měření úhrnné gama aktivity (TC) neshodu odezvy přístrojů na standardu PK ve smyslu chybějící radiace PK ve Stráži pod Ralskem. Přesná měření na standardech PK, PU, PTh a P0 byla zopakována ve Stráži pod Ralskem 12. 7. 2010 s dvěma spektrometry za stejných podmínek a záměry 4 x 300 s = 1200 s na každém standardu. Opakované kontrolní měření potvrdilo, že výsledky obou měření 12. 5. 2010 a 12. 7. 2010 ve Stráži pod Ralskem jsou identické



Obr. 1 *Ověřovací měření spektrometry GS-256 a GR-320 v květnu 2010*



Obr. 2 *Odstínění gama záření z různých směrů pomocí olověných cihel při sledování účinků stěn*

Posouzení geochemického složení PK standardu a podmínek jeho transportu za zvětšené vlhkosti ukázaly na vertikální redistribuci K ve standardu PK během stěhování standardů do Stráže pod Ralskem.

Dále k objasnění a potvrzení změn radiace na standardech PK a PTh situovaných v hale ve Stráži pod Ralskem a ke stanovení doporučených hodnot koncentrací K, U a Th ve standardech PK, PU, PTh a P0 ve Stráži pod Ralskem bylo použito:

- poměru citlivostí gama spektrometrů GR-320 a GS-256 stanovených 12. 8. 2009 na kalibrační základně Bratkovice a 12. 5. 2010 na kalibrační základně Stráž,

- přímého měření koncentrací K, U a Th spektrometry GR-320 a GS-256 12. 5. 2010 na standardech ve Stráži za užití citlivostí spektrometrů stanovených 12. 8. 2009 na standardech v Bratkovicích,
- výsledků studia koncentrací K, U a Th ve stěnách haly MTZ,
- stanovení účinků radiace stěn haly na středy standardů podle výsledků experimentu stínění radiace stěn deskou 5 cm Pb (obr. 2),
- opakovaného gama-spektrometrického stanovení rozdílových koncentrací K, U a Th mezi standardy PK, PU a PTh a standardem P0 spektrometry GR-320 a GS-256 12. 5. 2010 a 12. 7. 2010 ve Stráži pod Ralskem.

Doporučené hodnoty koncentrací radionuklidů ve standardech PK, PU a PTh v hale MTZ ve Stráži pod Ralskem vycházejí z výsledků opakovaného měření vždy dvěma gama spektrometry a stanovených koncentrací K, U a Th ve standardu P0 laboratorními analýzami.

S přihlédnutím k výsledkům studia radiace stěn haly MTZ přilehlých ke standardu PTh a při stanovení „koncentrace“ Th v PTh v rámci dalších experimentů a při hodnocení jednotlivých výsledků váženým průměrem byla upravena koncentrace Th ve standardu PTh. Kalibrace gama spektrometrů na kalibrační základně DIAMO s. p. ve Stráži pod Ralskem za užití těchto parametrů standardů (tab. 1) vede ke stanovení přírodních radionuklidů K, U a Th v horninách a přírodním prostředí na úrovni dat ČR 1992 – 2009. Hodnoty tab. 1 vycházejí z reality gama záření standardů a haly MTZ č. 797 ve Stráži pod Ralskem v červenci 2010.

2.2 Karotážní standardy

Narozdíl od povrchových standardů není měření v karotážních standardech (betonové válce o průměru 1,4 m a výšce 1,2 m) ovlivněno okolním prostředím. Potvrdilo se to i opakovaným měřením dvěma gama karotážními sondami. První měření bylo uskutečněno v Bratkovicích v roce 2008, po této návštěvě základny bylo rozhodnuto o jejím přestěhování. Při druhém měření stejnými sondami ve Stráži pod Ralskem v roce 2010 nebyly v karotážních standardech zjištěny oproti roku 2008 měřitelné rozdíly úhrnné gama aktivity. Pokud byly při vedení geofyzikálních databází užívány kalibrace z Bratkovic s původně doporučenými koncentracemi K, U, Th (viz tab. 2), potom je-li prioritou především přesná návaznost nových měření na tyto databáze, lze opět při kalibraci použít původně doporučené koncentrace.

U uranového (KU) a thoriového (KTh) standardu byla již v minulosti pozorována zřetelná vertikální nehomogenita koncentrací. Pro lepší využití standardů při kalibraci proto byla nyní věnována pozornost přesnému stanovení vertikálního průběhu koncentrací, a to pomocí nového detailního měření úhrnné gama aktivity a pomocí spektrometrických měření uskutečněných v minulosti.

Významná byla převazovací interkalibrace, kterou podle zadání Mezinárodní agentury pro atomovou energii uskutečnil v roce 1989 Geological Survey of Canada (GSC). Na počátku této rozsáhlé akce stálo spektrometrické porovnání karotážních standardů v Kanadě, USA a Austrálii, které bylo v roce 1989 rozšířeno i na řadu tehdy existujících evropských karotážních standardů (Killeen, Elliott 1990).

Tab. 1 Doporučené hodnoty zdánlivých koncentrací K, U a Th ve standardech PK, PU, PTh a P0 kalibrační základny DIAMO s. p. ve Stráži pod Ralskem, stav 2010.

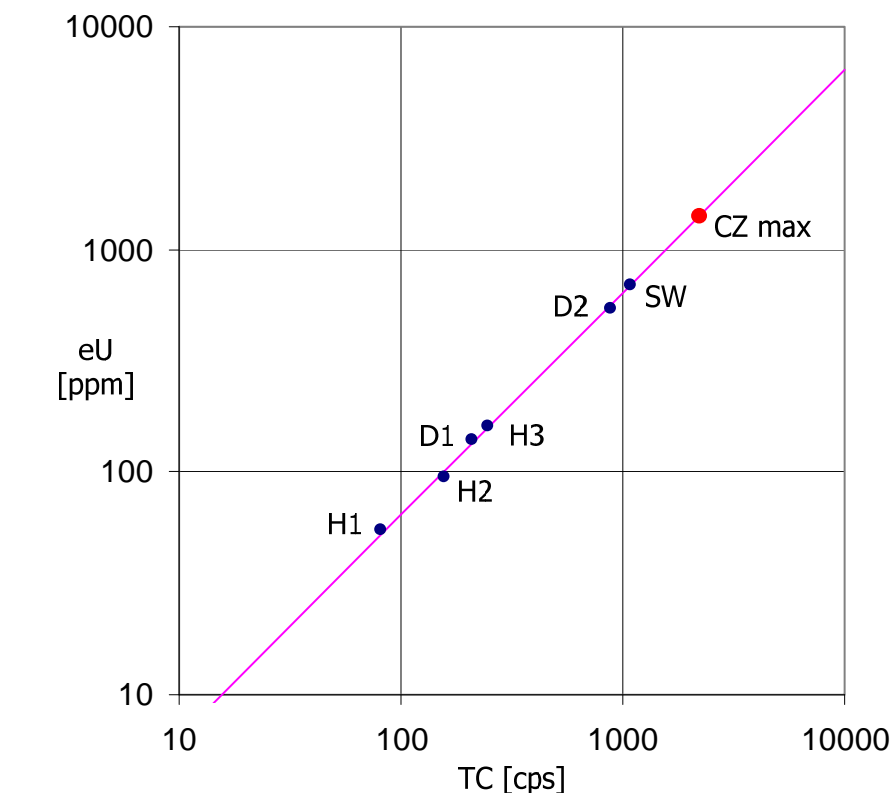
STANDARD	K [%]	U [PPM]	TH [PPM]
PK	15,33	2,4	2,1
PU	0,24	29,2	2,4
PTh	0,29	5,1	94,6
P0	0,02	0,3	0,9

Tab. 2 Původní laboratorně stanovené koncentrace K, U a Th ve standardech KK, KU, KTh a K0 kalibrační základny v Bratkovicích (Rojko a kol., 1975).

<i>STANDARD</i>	<i>K [%]</i>	<i>U [PPM]</i>	<i>TH [PPM]</i>
KK	46,2	0	0
KU	0,3	1200	26
KTh	0,3	61	1630
K0	0,02	1	2

Podrobné výsledky dvoudenního měření v Bratkovicích byly autorem (Killeen) poskytnuty pro PřF UK Praha. Na obr. 3 je znázorněna odezva karotážní gama spektrometrické sondy Tool J s detektorem CsI(Na) 25x76 mm při sérii interkalibračních měření v roce 1989. V diagramu je na vodorovné ose celková registrovaná četnost impulsů v energetickém okně 0,5 – 3 MeV, na svislé ose laboratorně určená ekvivalentní koncentrace uranu normovaná na stejné vrtné podmínky (body v diagramu představují primární uranové standardy na základnách: D1, D2 – Dánsko, H1, H2, H3 Maďarsko, SW Švédsko, CZ max – měřené maximum uprostřed standardu KU v Bratkovicích a k němu odvozená odpovídající koncentrace).

V Bratkovickém karotážním uranovém standardu (KU) má střední vodorovná vrstva o mocnosti přibližně 0,2 m podle laboratorních

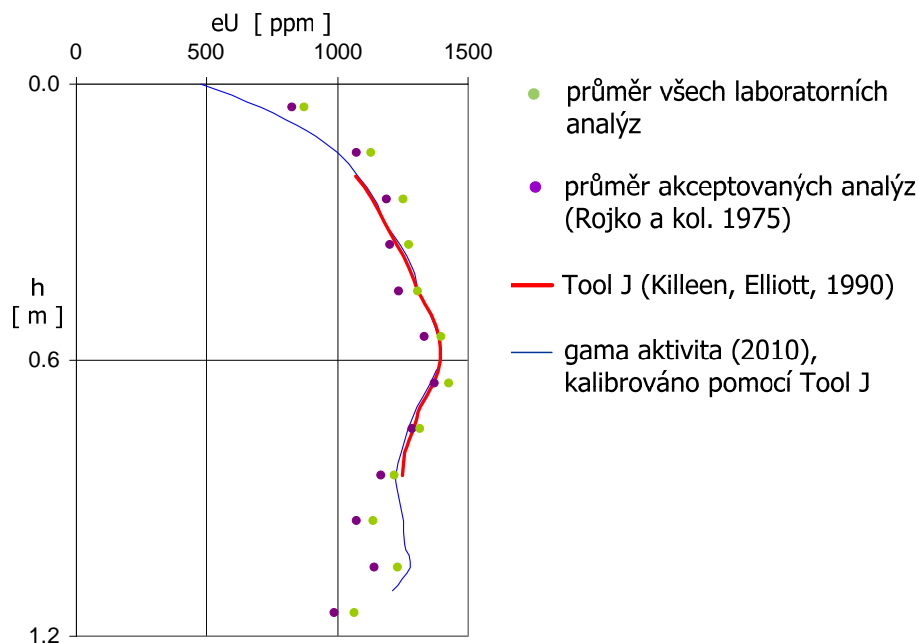


Obr. 3 Odezva karotážní gama spektrometrické sondy Tool J na různé koncentrace uranu v zahraničních a CZ karotážních standardech

analýz koncentrací uranu zhruba 1,1-krát vyšší než ostatní U-materiál. Průměrné koncentrace radionuklidů ve standardu byly na základě laboratorních analýz stanoveny původně hodnotami 1200 ppm U, 26 ppm Th a 0,3 % K. Z převazovacího měření v roce 1989 vyplývá pro maximum zdánlivé koncentrace uprostřed standardu hodnota 1393 ppm eU, z čehož připadá 1381 ppm na uran se svými produkty rozpadu.

Na obr. 4 je znázorněn vertikální průběh zdánlivé ekvivalentní koncentrace v karotážním uranovém standardu podle laboratorních analýz materiálu, podle gama spektrometrie GSC a podle nově měřené gama aktivity. Pokud je prioritou měření maximální přiblížení skutečným hodnotám, lze na základě provedeného porovnání doporučit modifikovanou tabulku koncentrací, kde jsou uvedeny kromě efektivních koncentrací uprostřed standardů i hodnoty 10 cm nad a pod středem (tab. 3).

Měřené hodnoty v karotážních standardech jsou sniženy vlivem útlumu gama záření v 5 mm silných hliníkových pažnicích, které snižují například úhrnnou gama aktivitu na cca 93,8 %. V jednotlivých spektrometrických energetických oknech je útlum odlišný.



Obr. 4 Vertikální průběh zdánlivé ekvivalentní koncentrace v karotážním uranovém standardu KU

3 Zkušenosti z provozu

V současné době je kalibrační základna užívána především pro periodickou kontrolu stability gama karotážních sond v přístrojovém parku karotážního pracoviště TÚU. Během uplynulého roku provozu byly standardy využity rovněž několika domácími i zahraničními firmami a institucemi, zabývajícími se výrobou terénních a karotážních gama spektrometrů nebo provádějícími povrchovou, leteckou i karotážní spektrometrii a radiometrii (obr. 5 a 6). Povrchové standardy posloužily rovněž pro výuku terénní gama spektrometrie a pro srovnávací měření emanací v radiační ochraně.

Při určování koncentrace radionuklidů se v geofyzikální radiometrii na kvalitě vyhodnocení projevují významně faktory, jako koeficient radioaktivní rovnováhy a míra úniku emanace u přeměnové řady uranu, nebo vlhkost horniny obecně u všech radionuklidů.

Moderní kvalitní měřicí přístroje by měly být již velmi stabilní a dobře nakalibrované od výrobce. Stávající kalibrační základna tedy řeší dílčí část celkové problematiky, tj. kontrolu stability přepočtu mezi koncentrací látek a jimi vyvolané odezvy konkrétního přístroje pro případ dobré radioaktivní rovnováhy, minimální emanace a vlhkosti. Jako nezbytný článek v celém řetězu má svoje důležité místo a mimo jiné nutí současné uživatele kontrolovaných geofyzikálních přístrojů si vždy znovu všechny podstatné faktory připomínat.

Tab. 3 Doporučené hodnoty zdánlivé efektivní koncentrace K , U a Th v karotážních standardech KK , KU , KTh s uvažováním útlumu hliníkových pažnic 90/80 pro spektrometrickou sondu (v závorce vpravo jsou hypotetické hodnoty po odstranění pažnic), stav 2011

STANDARD	H [M]	K [%]	U [PPM]	TH [PPM]
KK	0,5 – 0,7	44,0 (46,2)	0,2	0,5
KU	0,5	0,3	1287 (1344)	25 (26)
	0,6		1323 (1381)	
	0,7		1239 (1293)	
KTh	0,5	0,3	59 (61)	1529 (1586)
	0,6			1445 (1498)
	0,7			1441 (1494)
K0	0,8 – 1,0	0,02	0,3	0,9

Přesnou hodnotu útlumu lze v karotážních standardech určit empiricky tak, že ověřovaná karotážní sonda měří opakovaný záměr přes vloženou trubku známých vlastností.



Obr. 5 Příprava gamakarotážní sondy pro záměr ve standardu K0

Kdyby bylo podobné kalibrační zařízení připravováno dnes, byly by uplatněny i některé praktické poznatky, jako například použití nerozpustných draselných živců místo choulostivějšího chloridu draselného. Byl by nejspíš kladen větší důraz na homogenitu promíchání každé radioaktivní látky v betonu nebo v nějakém jiném dokonaleji hermetizujícím materiálu. Před čtyřmi desetiletími se drobným nedokonalostem nevyhnuly ani ostatní základny ve světě. Srovnávací práce uvádějí v některých případech například velmi vysokou příměs thoria v uranových standardech nebo podceněnou a nezakalkulovanou vysokou pórovitost a vlhkost. Pro Bratkovické karotážní standardy vyplynuly ze srovnávacího měření v roce 1989 proti ostatním standardům ve světě i přednosti, jako dostatečně nízký obsah doplňkových radionuklidů vůči stěžejním radionuklidům, nebo dlouhodobá časová stabilita díky ochraně vnitřního povrchu v betonu zalitou hliníkovou pažnicí. Kalibrační základna už je dnes i dokladem někdejšího úsilí o co nejkvalitnější standardizaci dat a interpretaci měření.

Literatura

GRASTY R.L., HOLMAN P.B. and BLANCHARD Y.B. Transportable calibration pads for ground and airborne gamma-ray spectrometers. *Geological Survey of Canada*, 1991, Paper 90-23.



Obr. 6 Příprava leteckého gamaspektrometru pro záměr na standardu PU

- IAEA *Construction and Use of Calibration Facilities for Radiometric Field Equipment*. TRS No. 309, IAEA, Vienna, 1989.
- IAEA *Radiometric Reporting Methods and Calibration in Uranium Exploration*. TRS No. 174, IAEA, Vienna, 1976.
- IAEA *Radioelement mapping: Basic Principles, Objectives, Guides, Technical Reports*. IAEA nuclear energy series, IAEA, Vienna, 2010, 123 pages.
- KILLEEN P.G. and ELLIOTT B.E. Model boreholes for gamma ray logging: Intercalibration of North American and European Calibration Facilities; In *Transactions of the 13th SPWLA European Formation Evaluation Symposium*, Budapest, October 22-26, 1990, paper GG, 14 pages.
- MATOLÍN M. *Stanovení technických parametrů cejchovací základny ČSÚP pro terénní gama spektrometry v Bratkovicích u Příbrami*. Zpráva PŘF UK Praha a UP Liberec, Praha, 1987.
- MATOLÍN M., DĚDÁČEK K. *Studie vybudování cejchovací základny pro terénní gama spektrometry v ČSSR*. Zpráva FMPE a PŘF UK, Praha, 1971.
- MATOLÍN M., KOBR M. Comparison measurement of terrestrial radiation by geophysical instruments. In *EEGS Budapest 6–9 September 1999, poster WIP1*.
- MATOLÍN M., KŘEŠŤAN P., STOJE V., VESELÝ P. Přestěhování kalibrační základny pro terénní spektrometry gama z Bratkovic do Stráže pod Ralskem, etapa 1, In *Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*, Ostrava, 2010, p. 69 – 78
- MATOLÍN M., KŘEŠŤAN P., STOJE V., VESELÝ P. *Přestěhování kalibrační základny pro terénní spektrometry gama z Bratkovic do Stráže pod Ralskem*. Zpráva PŘF UK a DIAMO Stráž pod Ralskem, Praha, 2010
- PROKOP P. *Studium podmínek cejchování terénních gama spektrometrů na cejchovací základně ČSÚP v Bratkovicích u Příbrami*. Dipl. práce PŘF UK, Praha, 1988.
- ROJKO R., ZEMAN J., JOSOVIČ M. & STANĚK M. *Výstavba cejchovací základny pro terénní spektrometry gama*. Zpráva GP ČSÚP, Liberec, 1975.
- STOJE V. *Ověření automatické interpretace gama karotáže na fyzikálním modelu*. Dipl. práce PŘF UK, Praha, 1978.

Autoři

- ¹ Prof. RNDr. Milan Matolín, DrSc, Ústav hydrogeologie, inž. geologie a užití geofyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2, tel.: (+420)221 951 545, e-mail: matolin@natur.cuni.cz.
- ² Ing. Petr Křešťan, Středisko monitorování a karotáže, odštěpný závod Těžba a úprava uranu (TÚU) státního podniku DIAMO, Máchova 201, 471 27 Stráž pod Ralskem, tel.: (+420) 487 894 417, e-mail: krestan@diamo.cz.
- ³ Mgr. Vladimír Stojé, Středisko monitorování a karotáže, odštěpný závod Těžba a úprava uranu (TÚU) státního podniku DIAMO, Máchova 201, 471 27 Stráž pod Ralskem, tel.: (+420) 487 894 498, e-mail: stoje@diamo.cz