

PŘEHLEDNÉ GEOLOGICKÉ MAPOVÁNÍ

STANDARDIZACE RADIOMETRICKÉ MAPY ČESKÉ REPUBLIKY 1 : 500 000

Standardization of the radiometric map of the Czech Republic 1 : 500 000

MILAN MATOLÍN - ZDENĚK JÁNĚ - JÁN SENČÁK - JANA SLEPIČKOVÁ

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2

Key words: Environmental Radioactivity, Radioactivity of Rocks, Radiometric Map of the Czech Republic, Verification and Standardization of Radiometric Maps

RADIOMETRICKÁ MAPA ČESKÉ REPUBLIKY
1 : 500 000

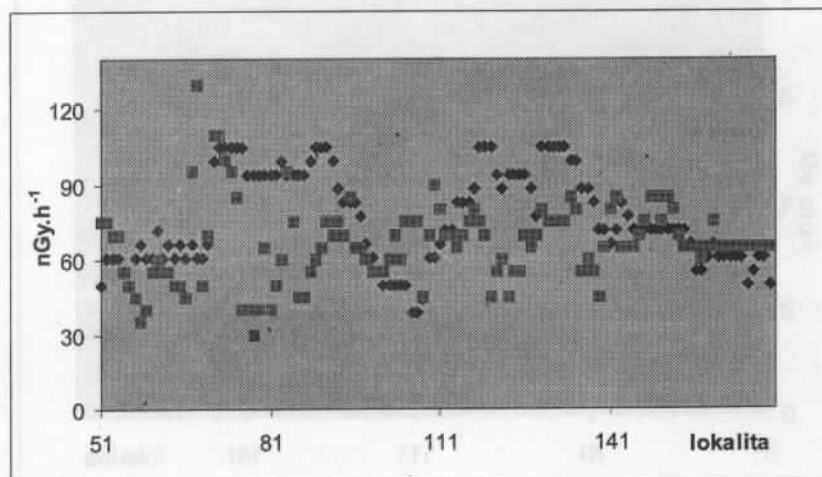
Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000, zpracovaná za podpory grantu Univerzity Karlovy a grantu GA ČR, vydaná ČGÚ v r. 1995 (MANOVÁ, MATOLÍN 1995), vyjádřená v dávkovém příkonu gama záření, je založena na regionálním (1957–1959) a detailním (1960–1971) leteckém měření úhrnné gama aktivity, letecké gama spektrometrii (od 1976) a je doplněna výsledky pozemních a laboratorních radiometrických měření. Letecká měření provedla Geofyzika, Brno. Původní letecké mapy izoliní expozičního příkonu záření gama v měřítku 1 : 200 000, byly převedeny do vektorového tvaru digitalizací dat a vyjádřeny na území ČR 871652 numerickými údaji v pravidelné síti 300x300 m. Zpětná kalibrace dat mapy byla realizována PŘF UK za podpory grantu UK č. 131 v r. 1994 za účelem vyjádření dat v dávkovém příkonu a vyrovnání údajů mapy. Ke zpětné kalibraci bylo gamaspektrometricky změřeno 122 regionálních profilů 1–5 km dlouhých, rozložených na celém území ČR v nízko, středně a vysoko radioaktivních horninách. Výsledná mapa izolinií, s krokem 10 nGy.h⁻¹, byla zkonstruována ČGÚ počítačovým zpracováním metodou kriging. Regionální terestrická radiace v České republice, tvořené magmatickými, sedimentární-



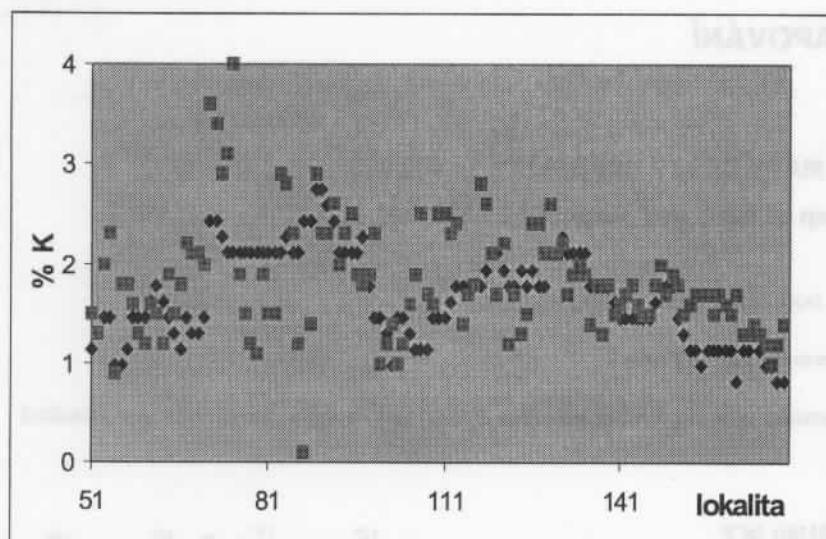
mi a metamorfovanými horninami, je v mezích 15 až 200 (6–245) nGy.h⁻¹, se střední hodnotou 65.6 +/- 19.0 nGy.h⁻¹. Hodnoty radioaktivity řadí globálně ČR do skupiny států s nejvyšší radioaktivitou (GREEN, HUGHES, LOMAS 1993).

OVĚŘENÍ A STANDARDIZACE RADIOMETRICKÉ
MAPY ČR 1 : 500 000

Technika radiometrických měření, zpracování dat a konstrukce radiometrických map přispívají k odchylkám výsledných údajů. Výsledky ovlivňují statistický charakter radioaktivního rozpadu a zvolené expozice detekce radioaktivity, technické parametry použitých přístrojů, kalibrační standardy a způsoby kalibrace přístrojů, geometrie, hustota a způsob terénního radiometrického měření, zpracování



Obr. 1. Hodnoty dávkového příkonu terestrického gama záření podél česko-polské hranice
 ■ Data z měření v ČR v roce 1998
 ◆ Data podle mapy dávkového příkonu gama záření v Polsku



Obr. 2. Koncentrace K v horninách stanovená terénní gama spektrometrií podél česko-polské hranice

■ K data z měření v ČR v roce 1998
◆ K data podle mapy koncentrace K v Polsku (1994), upraveno

dat, vyrovnaní dat a volba grafické prezentace (MATOLÍN 1974, 1997). Jestliže radiometrické mapy a data jsou využívány pro kvantitativní hodnocení radioaktivity životního prostředí, spolehlivost uváděných radiometrických dat musí být přijatelná a má být ověřena.

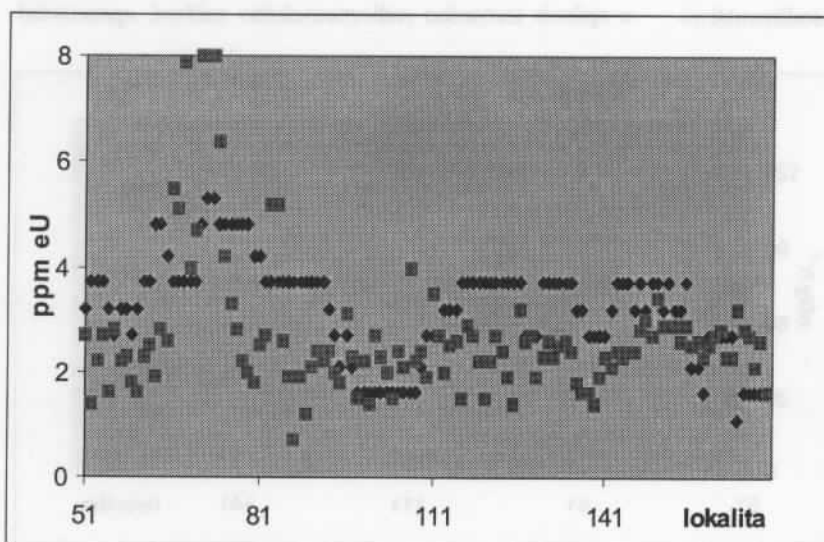
Vnitřní ověření radiometrické mapy České republiky 1 : 500 000 bylo provedeno v letech 1995 a 1996 na PFF UK. V roce 1995 bylo na území ČR přenosným gama spektrometrem GS-256 změřeno dynamicky 81 regionálních profilů v 761 úsecích o délce 200 m, výsledky byly vyjádřeny v dávkovém příkonu a srovnány s údaji radiometrické mapy ČR 1 : 500 000. Střední rozdíl srovnávaných souborů $2,1 \text{ nGy.h}^{-1}$ indikuje dobré regionální vyrovnaní dat, zatímco střední odchylka $\pm 13,8 \text{ nGy.h}^{-1}$ ilustruje rozdíly pro jednotlivé lokality. V roce 1996 byla pozemní gamaspektrometrií změřena na 49 stanicích síť $1 \times 1 \text{ km}$ plocha $6 \times 6 \text{ km}$ u Lovosic. Střední hodnota dávkového příkonu $50,7 \text{ nGy.h}^{-1}$ a median 53 nGy.h^{-1} jsou dobře srovnatelné s intervalem hodnot $50\text{--}60 \text{ nGy.h}^{-1}$ uváděným radiometrickou mapou 1 : 500 000. V roce 1996 bylo přenosným gama spektrometrem GS-256 změřeno na území ČR podél česko-německé hranice (Sasko)

v úseku 200 km dlouhém dynamicky 50 regionálních profilů v 255 úsecích o délce 200 m a výsledky byly srovnány s radiometrickou mapou ČR 1 : 500 000. Střední rozdíl srovnávaných souborů dat je $1,7 \text{ nGy.h}^{-1}$ se střední odchylkou $\pm 12,9 \text{ nGy.h}^{-1}$.

Pozemní měření byla realizována se spektrometrem GS-256 kalibrovaným na kalibračních základnách Bratkovice (ČR), Langenlebar (Austrie) a ověřeným srovnávacím měřením se spektrometrem Geological Survey of Canada, kalibrovaným v Kanadě.

Vnější ověření radiometrické mapy České republiky 1 : 500 000 bylo započato za podpory grantu UK č. 289 v r. 1997. Srovnání radiometrických map České republiky 1 : 500 000 a SRN (Saska) 1 : 400 000 (Borsdorf, Malinowski 1994) v hraničním pásmu délky cca 250 km na 66 párech stanic přilehlých z obou stran k hranici, se středním rozdílem hodnot dávkového příkonu gama záření $1,3 \pm 13,3 \text{ nGy.h}^{-1}$, indikuje dobrou shodu map.

Srovnávací měření radioaktivity přírodního prostředí za účasti organizací SRN (Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) Berlin, Bundesanstalt für Geowissenschaften und

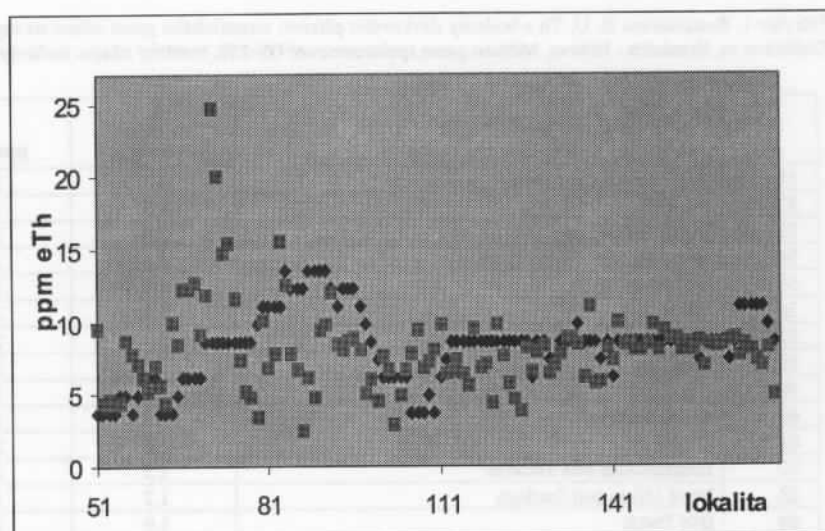


Obr. 3. Koncentrace U v horninách stanovená terénní gama spektrometrií podél česko-polské hranice

■ U data z měření v ČR v roce 1998
◆ U data podle mapy koncentrace U v Polsku (1994), upraveno

Obr. 4. Koncentrace Th v horninách stanovená terénní gama spektrometrií podél česko-polské hranice

- Th data z měření v ČR v roce 1998
- ◆ Th data podle mapy koncentrace Th v Polsku (1994), upraveno



Rohstoffe (BGR) Hannover) a ČR (Přírodovědecká fakulta UK (PřF UK) Praha) bylo realizováno v červenci a srpnu 1997 v oblastech Altenburg, Rodewich, Dolní Žandov, Mariánské Lázně a Karlovy Vary v horninách s nízkou, střední a vysokou radioaktivitou. BFS použil dva energiově nezávislé (radiologické) digitální přístroje AD-b 6150, BGR digitální gama spektrometr GIS-5A a analogový radiometr SPP 2, PřF UK digitální gama spektrometry GS-256 a GS-512, analogový gama spektrometr GIS-3, digitální měřič úhrnné aktivity gama RP 103D a analogový monitor dávkového příkonu RP-114. Přístroje používané německou stranou byly kalibrovány v SRN, přístroje používané českou stranou v ČR. Stanovené rozdíly dávkového příkonu terestrického gama záření v mezích 0 až 20 nGy.h⁻¹ (extrémně 0–40 nGy.h⁻¹) byly analyzovány za pomoci výsledků účelových studií vlivů fluktuací radioaktivity, stanovení pozadí, kalibrace přístrojů, klimatických změn a geometrie měření.

VÝZKUM RADIOAKTIVITY HORNIN PODÉL ČESKO-POLSKÉ HRANICE V ROCE 1998

Terénní gamaspektrometrické měření

V roce 1998 bylo na území ČR podél celé česko-polské hranice v severních Čechách a severní Moravě v úseku cca 400 km dlouhém přenosným gama spektrometrem GS-256 změřeno dynamicky 119 regionálních profilů o délce 1 km. Regionální profily byly měřeny vždy v 5 dílčích úsecích po 200 m a dobou záměru $t = 2 \text{ min}/200 \text{ m}$. Výsledky gamaspektrometrického měření byly vyjádřeny v koncentracích radionuklidů K, U a Th v horninách a v hodnotách dávkového příkonu gama záření (tab. 1). Spektrometr GS-256 byl kalibrován 15. 6. 1998 na kalibrační základně Bratkovice, pozadí bylo stanoveno měřením na vodní ploše 17. 6. 1998 ve Lhotě u Staré Boleslavi.

Srovnání měřených hodnot dávkového příkonu gama záření s radiometrickou mapou ČR 1 : 500 000

Střední hodnoty dávkového příkonu terestrického gama záření regionálních profilů č. 51–169 (tab. 1), stanovené výpočtem pomocí určených koncentrací K, U, Th v horninách a převodních konstant (IAEA 1991) byly srovnány s údaji radiometrické mapy ČR 1 : 500 000. Střední hodnoty srovnávaných souborů 59,2 nGy.h⁻¹ a 66,6 nGy.h⁻¹, koeficientu korelace $r = 0,66$, a rozdílu srovnávaných souborů 7,4 +/- 15,4 nGy.h⁻¹, s vyššími hodnotami údajů radiometrické mapy ČR ve východní části hranice (regionální profily č. 129–169), kvantifikují diferencii lokálních měření a regionálního zpracování dat mapy a indikují potřebu ověření dat mapy ve východní části území ČR.

Srovnání hodnot dávkového příkonu gama záření radiometrických map ČR a Polska

Radiometrická mapa Polska 1 : 750 000 je sestavena z výsledků pozemního gamaspektrometrického měření 19 528 stanic na severojižních regionálních profilech vzdálených 17 km s krokem měření stanic 1 km (0,5 km). Měření v Polsku bylo realizováno přenosnými gama spektrometry GS-256 kalibrovány v ČR (STRZELECKI et al. 1993). Hodnoty dávkového příkonu gama záření radiometrických map ČR 1 : 500 000 a Polska 1 : 750 000 byly srovnány v hraničním pásmu délky cca 400 km na 119 párech míst přilehlých z obou stran k hranici. Střední hodnoty srovnávaných souborů 66,6 nGy.h⁻¹ (CZ) a 69,2 nGy.h⁻¹ (PL) a střední rozdílu srovnávaných dvojic dat 2,6 +/- 21,9 nGy.h⁻¹ potvrzují obecnou shodu úrovní map, zatímco vysoká hodnota střední odchylky rozdílu dat 21,9 nGy.h⁻¹ indikuje obtížnost srovnání údajů podmíněných rozdílnou hustotou vstupních dat a konstrukcí map a lokální geologií a odpovídající radioaktivitou párových hodnot na obou stranách hranice.

Tabulka 1. Koncentrace K, U, Th a hodnoty dávkového příkonu terestrického gama záření na regionálních profilech podél hranic s Polskem v úseku Oldřichov na Hranicích - Hrčava. Měřeno gama spektrometrem GS-256, uvedeny střední hodnoty z měření 5 úseků po 200 m.

	Lokalita	K %K	U ppm eU	Th ppm eTh	Da nGy.h ⁻¹
51	Oldřichov na Hranicích	1,5	2,7	9,6	58,9
52	Uhelná	1,3	1,4	4,3	35,7
53	Horní Vítkov	2,0	2,2	4,6	50,1
54	Horní Vítkov	2,3	2,7	4,3	56,1
55	Kunratice	0,9	1,6	4,4	31,8
56	Víska	1,8	2,8	8,7	61,1
57	Filipovka	1,8	2,2	7,8	55,5
58	Andělka	1,6	2,3	7,1	51,7
59	Háj	1,3	1,8	6,2	42,7
60	Dolní Oldřiš	1,2	1,6	5,2	37,7
61	Srbská	1,6	2,3	6,9	51,2
62	Jindřichovice pod Smrkem	1,5	2,5	5,6	47,8
63	Nové Město pod Smrkem	1,2	1,9	4,4	37,4
64	Bílý Potok	1,9	2,8	9,9	65,4
65	Smědava	1,5	2,6	8,5	55,6
66	Jizerka	1,8	5,5	12,3	85,4
67	Kořenov	2,2	5,1	12,3	88,4
68	Harrachov	2,1	7,9	12,7	104,1
69	Harrachov - Rýžoviště	2,1	4,0	9,2	73,1
70	Harrachov	2,0	4,7	11,8	82,3
71	Špindlerův Mlýn - Petrovka	3,6	8,0	24,7	154,1
72	Špindlerův Mlýn - Petrovka	3,4	8,0	20,0	139,7
73	Špindlerův Mlýn - Špindlerovka	2,9	8,0	14,7	120,0
74	Pec pod Sněžkou - Lučňá bouda	3,1	6,4	15,4	115,3
75	Pec pod Sněžkou - Sněžka	4,0	4,2	11,6	105,1
76	Horní Malá Úpa	1,9	3,3	7,3	61,8
77	Horní Malá Úpa	1,5	2,8	5,2	48,5
78	Horní Malá Úpa	1,2	2,2	4,8	40,1
79	Horní Malá Úpa	1,1	2,0	3,4	34,2
80	Horní Aibeřice	1,9	1,8	10,1	60,3
81	Žacléf	1,5	2,5	6,8	50,8
82	Královec	1,5	2,7	7,8	54,8
83	Královec	2,9	5,2	15,5	106,1
84	Bečkov	2,8	5,2	12,6	97,6
85	Petřkovice	2,3	2,6	7,8	64,3
86	Horní Adršpach	1,2	1,9	6,7	43,2
87	Dolní Adršpach - přír. rezerv.	0,1	0,7	2,5	11,5
88	Zdoňov	1,4	1,9	6,1	44,3
89	Vernéřovice	2,9	1,2	4,8	56,7
90	Vižnov	2,3	2,1	9,4	65,4
91	Ruprechtice	2,3	2,4	9,8	68,1
92	Hynčice	2,6	2,2	12,0	76,4
93	Hefmánkovice	2,0	2,4	8,5	61,0
94	Janovičky	2,3	2,0	8,0	61,4
95	Šonov	2,5	1,8	8,7	64,6
96	Šonov	1,9	3,1	8,8	64,4
97	Otovice	1,8	2,3	8,1	56,8
98	Božanov	1,9	1,5	5,0	45,8
99	Studená	2,3	2,2	6,0	57,5
100	Machovská Lhota	1,0	1,4	4,5	32,2
101	Malá Černná	1,2	2,7	7,7	50,2
102	Náchod	1,4	2,3	6,7	48,1
103	Česká Černná	1,0	2,0	2,8	31,4
104	Olešnice v Orlických horách	1,2	1,5	4,9	36,4
105	Olešnice v Orlických horách	1,6	2,4	6,7	51,3
106	Deštné v Orl. h. - Šerlíšský Ml.	1,9	2,1	7,8	56,2
107	Deštné v Orl. h. - Masarykova ch.	2,5	4,0	9,4	78,8
108	Kunštát	1,7	2,2	6,8	51,7
109	Podlesí	1,6	2,4	7,2	52,5
110	Neratov	2,5	1,9	8,1	58,0
111	Bartošovice v Orlických hor.	2,5	3,5	9,8	77,0
112	České Petrovice	2,3	2,7	6,4	55,4

Tabulka č. 1 pokračování

113	Lichkov	2,4	2,0	6,6	59,2
114	Králíky	1,4	2,5	7,3	50,7
115	Hefmanice	1,7	2,6	6,4	52,9
116	Horní Morava - Jelení vrch	1,8	1,5	5,6	46,0
117	Horní Morava	2,8	2,9	9,6	77,0
118	Stříbrnice	2,6	2,7	6,8	66,3
119	Nová Seninka	2,1	2,2	7,1	57,7
120	Staré Město	1,7	1,5	4,4	41,7
121	Kunčice - Medvědí bouda	2,2	2,2	9,8	65,7
122	Petřkov	1,2	2,7	7,6	50,0
123	Horní Lipová	1,7	2,4	5,7	50,1
124	Nýznerov	1,3	1,9	4,7	39,5
125	Petrovice	1,5	1,4	3,8	37,0
126	Nové Vilémovice	2,4	3,2	8,2	70,0
127	Travná	2,4	2,6	6,5	62,4
128	Bílá Voda	2,1	2,7	7,9	62,5
129	Horní Hoštice	2,6	1,9	8,3	65,5
130	Horní Hoštice - Bílý Potok	2,1	2,3	6,4	56,5
131	Bílý Potok	2,2	2,6	6,9	60,7
132	Javorník - Ves	1,7	2,3	7,8	54,7
133	Bernartice	1,9	2,5	8,9	61,2
134	Horní Hefmanice	2,0	2,6	8,8	62,9
135	Vidnava	1,9	2,4	8,4	59,4
136	Vidnava	1,4	1,8	6,2	44,0
137	Strachovičky	1,8	1,6	11,0	60,1
138	Kolovice	1,3	1,6	5,7	40,3
139	Ondřejovice	1,8	1,4	5,8	46,0
140	Zlaté Hory	1,5	1,9	8,2	50,9
141	Petrovice	1,6	2,3	7,3	52,2
142	Bartultovice	1,7	2,1	10,0	59,1
143	Hlínka	1,8	2,4	8,4	58,1
144	Slezské Pavlovice	1,6	2,3	8,4	54,9
145	Osoblaha	1,5	2,4	8,1	53,5
146	Matějovice	1,5	2,4	8,0	53,2
147	Slezské Rudoltice	1,8	2,8	8,4	60,4
148	Pískořov	2,0	3,0	9,8	67,6
149	Krásné Loučky	1,7	2,7	8,0	57,5
150	Krnov	1,9	3,4	9,4	67,6
151	Branice	1,8	2,9	8,9	62,2
152	Skrochovice	1,5	2,9	8,8	58,0
153	Vavrovice	1,6	2,9	8,1	57,6
154	Oldřichov	1,7	2,6	8,6	58,4
155	Hněvošice	1,7	2,9	8,0	58,6
156	Sudice	1,7	2,5	8,7	58,1
157	Chuchelná	1,5	2,5	7,0	51,8
158	Příst'	1,7	2,3	8,5	56,5
159	Hať	1,6	2,5	8,3	55,8
160	Kopytov	1,5	2,7	8,5	56,1
161	Věrnovice	1,7	2,8	8,7	59,8
162	Prstná	1,3	2,3	8,9	52,3
163	Karviná - Ráj	1,3	2,3	7,6	49,0
164	Zpupná Lhota	1,4	3,2	8,5	57,7
165	Osůvky	1,3	2,8	8,0	52,8
166	Vendryně	1,2	2,7	7,3	49,2
167	Nýdek	1,0	2,1	7,0	42,5
168	Bukovec	1,2	2,6	8,2	50,9
169	Hrčava	1,1004	1,6	4,9	39,6

Srovnání koncentrací K, U a Th v horninách v ČR a Polsku

Hodnoty koncentrací K, U a Th v horninách v hraničním pásmu 400 km dlouhém byly srovnány na 119 párech míst přílehlých z obou stran k hranici. Hodnoty K, U, Th v ČR

byly stanoveny gamaspektrometrickým měřením regionálních profilů č. 51–169 v roce 1998, hodnoty K, U, Th v Polsku byly odečteny z map izolinií koncentrací K, U, Th v Polsku 1 : 750 000 (STRZELECKI et al. 1993) a údaje opraveny na srovnatelné podmínky kalibrace a výšku měření nad povrchem země. Střední hodnoty koncentrací K, U, Th

Tabulka 2. Střední koncentrace K, U a Th v horninách v hraničním pásmu ČR–Polsko.

Koncentrace	Česká republika	Polsko	r
% K	1.8 +/- 0.6	1.7 +/- 0.5	0.43
ppm eU	2.7 +/- 1.3	3.2 +/- 0.9	0.37
ppm eTh	8.0 +/- 3.0	8.3 +/- 2.5	0.13

souborů indikují relativně dobrou shodu úrovní srovnávaných geochemických veličin, směrodatné odchylky souborů a koeficienty korelace r charakterizují použitý způsob srovnání a lokálnost geochemických údajů (tab. 2).

ANALÝZA SROVNÁVACÍHO MĚŘENÍ RADIOAKTIVITY HORNIN ČR, SRN A POLSKA

Srovnání radioaktivity hornin podle údajů map ČR, SRN a Polska definují velikost rozdílů dat a jsou podkladem pro konstrukci mapy radioaktivity přírodního prostředí regionu střední Evropy. Data regionální radioaktivity v ČR a Polsku vykazují v hraničním pásmu obecnou shodu úrovní v mapách států a lokální rozdíly radioaktivity na vzdálenost jednotek km. Při tvorbě mapy radioaktivity regionu bude nezbytné tyto skutečnosti řešit. Uvedená data a stanovené rozdíly dávkového příkonu terestrického gama záření ($\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$) je nutno hodnotit ve srovnání s intervalem regionální radioaktivity hornin ČR 6–245 $\text{nGy}\cdot\text{h}^{-1}$. V rámci vý-

zkumu 1998 byla experimentálně ověřována závislost pole gama záření na výšce měření nad zemským povrchem a vliv povětrnostních změn na výsledky měření. Vysoké hodnoty radioaktivity byly v roce 1998 naměřeny na granitech krkonošsko-jizerského masivu, extrémně nízká radioaktivita byla zjištěna na kvádrových pískovcích v Dolním Adršpachu.

Výzkum radioaktivity hornin České republiky v letech 1997 a 1998 byl realizován za podpory grantu Univerzity Karlovy č. 289.

Literatura

- BORSORF, K. H. – MALINOWSKI, D. (1994): Karte der Gammaenergie-dosisleistung 1400000. – BGR, Berlin.
- GREEN, B. M. R. - HUGHES, J. S. - LOMAS, P.R. (1993): Radiation Atlas. – Commission of the European Communities, 1–259. Luxembourg.
- MATOLÍN, M. - DĚDÁČEK, K. (1974): The causes of differences in the maps of total gamma-ray activity of rocks. – Acta Univ. Carol., Geol., 4, 371–373. Praha.
- MATOLÍN, M. (1996): Terrestrial gamma dose rate maps, their compilation and verification - radiometric map of the Czech Republic. – Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelement maps. IAEA-TECDOC-980, 53–57, Vienna.
- MANOVÁ, M. - MATOLÍN, M. (1995): Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000. – Čes. geol. úst., 1–19. Praha.
- STRZELECKI, R. - WOLKOWICZ, S. - SZEWCZYK, J. - Lewandowski, P. (1993): Radioecological maps of Poland. – Polish Geol. Inst. Warsaw.
- sine (1991): Airborne gamma ray spectrometer surveying. – Techn. Reports Series No. 323, Intern. Atomic Energy Agency, 1–97. Vienna.