

Rádioaktivita hornín v okolí Pezinka ako kritérium možnosti ich využitia v stavebníctve

PETER ANDRÁŠ^{1, 2}, JOZEF KRŇÁČ¹ a LENKA MATÚŠKOVÁ¹

¹Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica; andras@savbb.sk; krnac@fpv.umb.sk; matuskov@fpv.umb.sk

²Geologický ústav SAV, Dumbierska 1, 974 01 Banská Bystrica

Radioactivity of rocks at the town of Pezinok as criterium for their use in building industry

The spatial radionuclides distribution in the main rock types: granodiorites, biotite-gneisses, black shales and amphibolites at the investigated locality (Pezinok – Kolársky vrch) was studied in samples from two boreholes. Concentrations of ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K in samples were analysed by gamma-spectrometry (concentrations: ²³⁸U 0.091–37.800; ²³²Th 0.534–3.234; ⁴⁰K 0.116 to 5.162 mg · kg⁻¹). The highest average ²³⁸U concentrations were in black schists, highest average ²³²Th and ⁴⁰K concentrations in granodiorite (granite). Activities of ²³⁸U were found in the range of 1.092–48.960 Bq · kg⁻¹ (with exception of anomalous value – 453.6 Bq · kg⁻¹), activities of ²³²Th in range of 2.189–54.298 Bq · kg⁻¹ and activities of ⁴⁰K in range of 30.933–1 376.499.

The source of ²³⁸U and ²³²Th (and partially also of ⁴⁰K) is in the granitoid intrusion. The U was during the metamorphic process mobilized to the black schists.

The concentrations and consequently the total activities of ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K in investigated rock samples exceed the permitted limit for building material. It is possible to recommend their utilization only for external purposes.

Key words: ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K, rock radioactivity, building material

Úvod

Zložky životného prostredia, ako pôdy a horniny, väčšinou obsahujú isté množstvo rádioaktívneho materiálu, ktorý môže obsahovať ²³⁸U a ²³²Th a produkty ich rádioaktívneho rozpadu, ako aj rádioaktívny izotop ⁴⁰K (Luigi et al., 2000; Ajayi, 2009). Absolútne a relatívne koncentrácie prírodných izotopov ²³⁸U, ²³²Th a ⁴⁰K v horninách, ktoré sa používajú v stavebníctve, môžu vzhľadom na horninový typ variovať v širokom rozpätí hodnôt (Croft a Hutchinson, 1999).

Merania prirodzenej rádioaktivity v horninách sú veľmi dôležité, aby bolo možné stanoviť jej prírodné pozadie (Iwaoka et al., 2009; Abel-Ghany, 2010). V súčasnosti sa venuje značná pozornosť zdravotnému riziku, ktoré pochádza z prírodnej rádioaktivity stavebných materiálov (Kovler et al., 2002; Petrescu a Bilal, 2006, 2007; Turhan et al., 2008 a i.). Naše štúdium je zamerané na problematiku hornín z Malých Karpát v okolí Sb (Au) ložiska Pezinok.

Malé Karpaty patria do fatransko-tatranskej oblasti. Predstavujú v rámci vrásovo-blokovej fatransko-tatranskej morfoštruktúry hrasť jadrového pohoria, zdvíhajúceho sa medzi poklesávajúcimi morfoštruktúrami Záhorskej nížiny a Podunajskej nížiny (Mazúr a Lukniš, 1978; Gajdoš a Škodová, 2009).

Geologická štruktúra Malých Karpát pozostáva z predalpínskeho fundamentu, mezozoického obalu a vyšších

príkrovov alpínskeho veku. Vulkano-sedimentárna formácia kryštalinika vznikla v období silúru (443 – 416 Ma) až devónu (416 – 359 Ma; Chovan et al., 1992). Tvoria ju peliticko-psamitické a karbonatické sekvencie a čierne bridlice (Plašienka et al., 1991).

Celý komplex bol podľa Fingera et al. (2003) premenený v rámci regionálnej devónskej metamorfózy (380 ±20 Ma, Rb-Sr datovanie). Následne ho postihla aj neskorovariská periplutonická kontaktná metamorfóza (348 ±4 Ma alebo 320 ±3 Ma, Cambel et al., 1980, Rb-Sr a U-Pb geochronologické datovanie).

Na štruktúrno-tektonickej stavbe sa podieľajú granitoidy (prevažne granodioritového zloženia), kryštalické bridlice, amfibolity, vápence a kvartérne sedimenty. Bratislavský masív je tu zastúpený strednozrnnými dvojsludovými granitmi až granodioritmi, ktoré sú na styku s borinskou jednotkou mylonitizované a sericitizované. Kryštalické bridlice sú zastúpené fylitmi, svormi, rulami a čiernymi bridlicami, ktoré vystupujú v západnej časti územia vo forme úlomkov a brekcií stmelených vápnitým tmelom a sericiticko-chloritickými fylitmi. Polohy fylitov sa striedajú s karbonátmi (Mahel, 1961).

Antimonitové (Sb-Au) ložisko v Pezinku sa viaže na tektonickú zónu smeru JV – SZ, nazývanú aj produktívnou (pyritovou) zónou, ktorá je približne 2 km dlhá. Samotné ložisko z nej zaberá len 430 m dlhý úsek; šírka tektonickej

zóny pri povrchu dosahuje sotva 25 – 50 m, avšak smerom do hĺbky možno pozorovať jej rozšírenie.

Ako uvádza Cambel (1959), ložisko je situované medzi dvoma 50 až 250 m mocnými amfibolitovými komplexmi, medzi ktorými vystupuje rudonosná vulkanogénno-sedimentárna séria. Tá je zastúpená predovšetkým muskoviticko-ílovitými a čiernymi bridlicami, ktoré sú spravidla detailne zvrásnené. V menšej miere sa tu nachádzajú aj rôzne metamorfované pyroklastické horniny, apofýzy granitoidných hornín a drobné ložné telesá amfibolitov.

Cambel a Viliňovič (1987) zistili, že obsahy U a Th ($X - X_0$ ppm, t. j. 0,000X – 0,00X0 hm. %) sú v Modranskom masíve v porovnaní s analogickými granitoidmi Bratislavského masívu nižšie. Ostatným horninovým typom nevenovali vyššiu pozornosť. Rovnako neštudovali vzťah obsahu uránu a tória voči rudnej mineralizácii. Základné údaje o koncentráciách U a Th v horninách prináša aj Geochemický atlas Slovenskej republiky 1 : 1 000 000 (Marsina, 1999).

Metodika práce

Študovaná oblasť (obr. 1) sa nachádza severne od Pezinka, asi 400 m severne od rybníka pri kasárňach (asi 200 m od vinohradov).

V práci sú použité vzorky z vrtov KV-44 a KV-46, realizovaných v Pezinku v blízkosti Kolárskeho vrchu v roku 1981 Geologickým prieskumom Bratislava, uložených v depozíte Geologického ústavu SAV v Banskej Bystrici (lokalizácia vrtov je uvedená na obr. 1). Vrty riadil RNDr. Stanislav Polák za účelom vyhľadávacieho prieskumu Sb-mineralizácie.

Vzorky boli odobraté tak, aby reprezentovali všetky dôležité horninové typy kryštalinika Malých Karpát (granitoidy, amfibolity, biotitické ruly, čierne bridlice).

Vo vzorkách s hmotnosťou 1 – 5 kg bola potvrdená zrnitosť pod 0,05 mm. Chemická analýza hlavných zložiek horniny (silikátová analýza) sa uskutočnila zo vzoriek rozotretých na analytickú jemnosť rtg.-fluorescenčnou analýzou na prístroji Philips v laboratóriách Geologického ústavu SAV v Bratislave.

Atómová absorpčná spektrometrická analýza vzoriek na prvky Ba, Pb, Cu, Zr, Co, Ni, V, Ca, Cr, Sr, La a B sa uskutočnila z 0,5 g horninovej vzorky jemne rozomletej a rozotretej na analytickú jemnosť na jednolúčovom atómovom absorpčnom fotospektrometri Philips/Pye Unicam, model PU – 9 000 s deutériovým korektorom pozadia z prostredia HCl (Geologický ústav SAV, Banská Bystrica).

Vo vzorkách určených na analytické merania obsahu ^{238}U a ^{232}U bola potvrdená zrnitosť <50 mm v laboratóriách Geologického ústavu SAV v Banskej Bystrici (Ing. Dana Troppová). Obsahy U, Th, K (a Ra) boli stanovené gamaspektroskopicky na maďarskom analyzátoe 1024 NTA-512 B (RNDr. Vlastimil Kátlovský, CSc.). Tieto analýzy boli pôvodne použité v práci Andráša (1983).

Korelácie medzi jednotlivými prvkami boli vypočítané podľa Hudeca (2005):

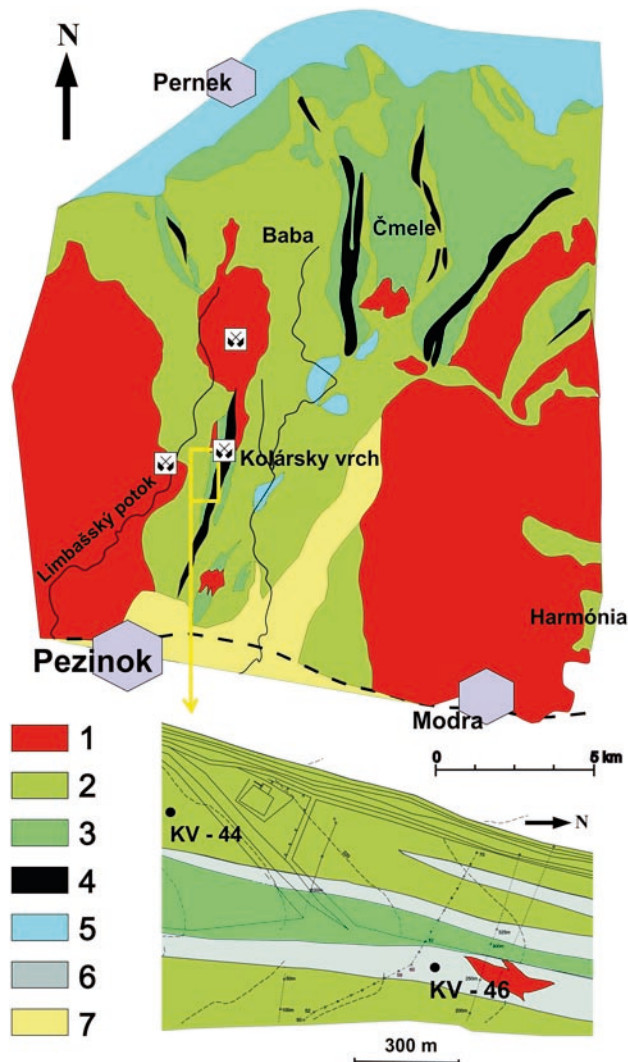
$$r = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum x_i^2 - n \bar{x}^2) \cdot (\sum y_i^2 - n \bar{y}^2)}}$$

Koncentrácie U, Th a K sa na aktivity $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ prepočítali podľa metodiky uvádzanej Yousefom et al. (2007):

$$^{238}\text{U} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ (ppm)} = \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 80,33 \cdot 10^{-3}$$

$$^{232}\text{Th} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ (ppm)} = \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 247 \cdot 10^{-3}$$

$$^{40}\text{K} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ (ppm)} = \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 3,862 \cdot 10^{-3}$$



Obr. 1. Okolie ložiska Kolársky vrch a lokalizácia vrtov KV-44 a KV-46. 1 – granitoidné horniny; 2 – bridličnaté súvrstvie (filyty až ruly); 3 – amfibolit; 4 – čierne bridlice so zrudnením (tzv. produktívne zóny); 5 – karbonáty; 6 – bridlice s polohami čiernych bridlic; 7 – kvartérne sedimenty.

Fig. 1. Surroundings of the Kolársky vrch deposit and localization of KV-44 and KV-46 boreholes. 1 – granitic rocks; 2 – schists strata (phyllites – gneiss); 3 – amphibolites; 4 – black schists with mineralization (so-called productive zones); 5 – carbonates; 6 – Quaternary sediments; 7 – area of the boreholes KV-44 and KV-46.

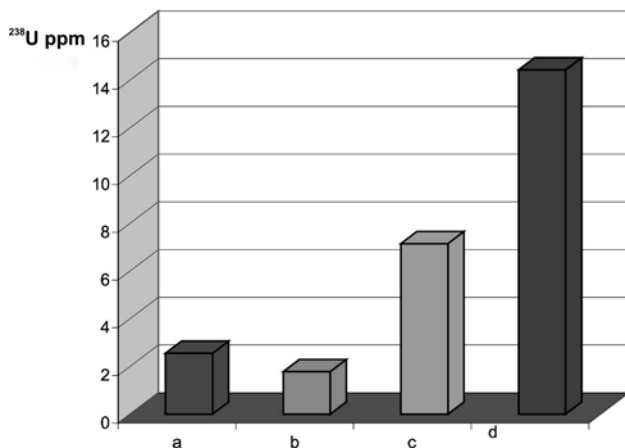
Výsledky

Obsah ^{238}U , ^{232}Th a ^{40}K v jednotlivých horninách

Obsahy ^{238}U , ^{232}Th a niektorých ďalších prvkov, ako aj kompletne silikátové analýzy hornín sú uvedené v tab. 1 a 2. Priemerné hodnoty ^{238}U , ^{232}Th a ^{40}K v jednotlivých horninách prezentuje tab. 3.

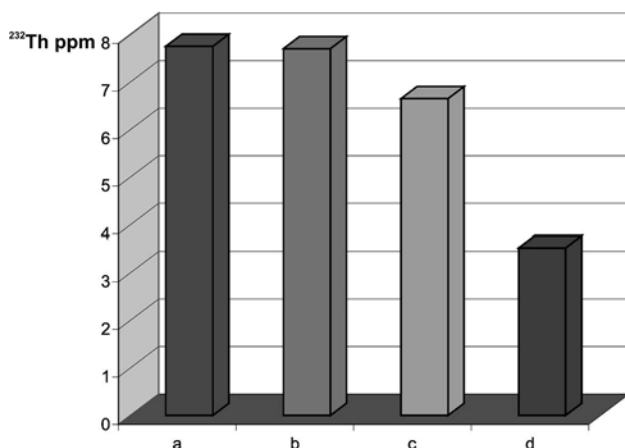
Najvyššie priemerné obsahy ^{238}U boli zistené v čiernej bridlici (14,43 mg · kg⁻¹) a najnižšie v amfibolite (1,78 mg · kg⁻¹; obr. 2). V prípade ^{232}Th možno pozorovať opačný trend: najnižšie priemerné hodnoty sa namerali v čiernej bridlici (3,52 mg · kg⁻¹) a najvyššie v granodiorite a granite (7,75 mg · kg⁻¹; obr. 3). Obsah ^{232}Th v granitoidoch je 2- až 3-násobne vyšší ako obsah ^{238}U (tab. 1 a 2).

Ďalšou rádioaktívnou zložkou študovaných hornín je izotop ^{40}K . Najvyššie hodnoty obsahov ^{40}K sa namerali v granitoidoch (5,162 %) a v biotitickej rule (2,822 %).



Obr. 2. Priemerný obsah ^{238}U v jednotlivých typoch hornín. Vysvetlivky k obr. 2 – 4: a – granitoidy; b – amfibolit; c – biotitická rula; d – čierna bridlica.

Fig. 2. Average content of ^{238}U in various rock types. Explanations for Figs. 2–4: a – granitoids; b – amphibolite; c – biotite gneiss; d – black schists.



Obr. 3. Priemerný obsah ^{232}Th v jednotlivých typoch hornín.

Fig. 3. Average content of ^{232}Th in various rock types.

Najnižšie obsahy boli v čiernych bridliciach (0,116 – 2,146 %; obr. 4).

Priemerné obsahy ^{40}K klesajú v rade granodiorit (2,319 %) → amfibolit (1,757 %) → biotitická rula (1,7082 %) → čierna bridlica (1,463 %). Táto závislosť je daná minerálnym zložením jednotlivých hornín (hlavnými nositeľmi ^{40}K sú draselné živce a amfiboly).

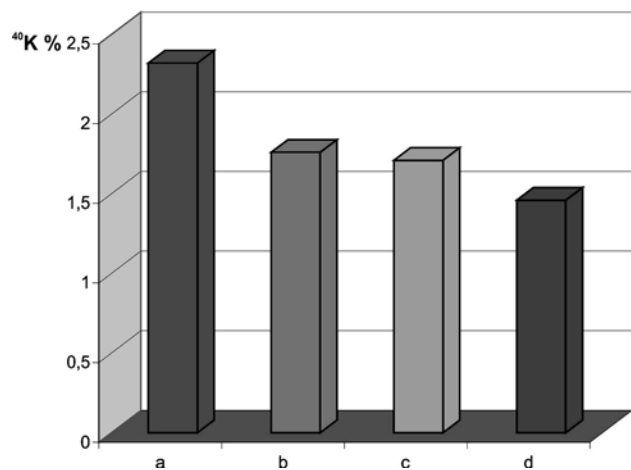
Korelácia distribúcie ^{238}U , ^{232}Th a ^{40}K s vybranými rudnými prvkami

Medzi obsahmi $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ (pokiaľ vylúčime extrémne hodnoty obsahov uránu a tória vo vzorke čiernej bridlice z vrtu KV-46: 37,8 ^{238}U vs. 1,524 ^{232}Th) existuje pozitívna korelácia (korelačný koeficient $r = 0,86$; obr. 5). Na druhej strane, korelácia $^{238}\text{U}/\text{Cu}$ ($r = -0,43582$), ako aj $^{238}\text{U}/\text{Ni}$ ($r = -0,13461$) je negatívna (obr. 6).

Podobne aj korelačné vzťahy $^{232}\text{Th}/\text{Ni}$ ($r = -0,21663$) a $^{232}\text{Th}/\text{Cu}$ ($r = -0,54757$) sú negatívne (obr. 7). Tieto zistenia naznačujú, že priamy pozitívny korelačný vzťah medzi ^{238}U a ^{232}Th na jednej strane a medzi kovovými prvkami (Ni, Cu), ktoré doprevádzajú hydrotermálnu Sb-mineralizáciu, na druhej strane neexistuje.

Korelácia medzi obsahmi $^{238}\text{U}/^{40}\text{K}$ ($r = -0,258$) je negatívna (obr. 8), naopak, medzi ^{40}K a ^{232}Th sa zistila pozitívna korelačná závislosť ($r = 0,4842$; obr. 9). Medzi obsahmi ^{40}K vs. Ni a Cu nebol zistený žiaden korelačný vzťah (obr. 10).

Prednostná väzba ^{232}Th na granitoidy (granodiorit a granit) svedčí o tom, že zdroj ^{238}U a ^{232}Th treba hľadať v intrúzii granitoidov do kryštallických bridlíc. ^{238}U sa síce vyskytuje v čiernych bridliciach spolu s Sb-mineralizáciou, jeho obsahy však nevykazujú pozitívnu koreláciu s kovmi (Cu, Ni) hydrotermálnej mineralizácie. Tento jav pravdepodobne súvisí s mobilizáciou ^{238}U z granitoidov. Keďže $^{232}\text{Th}(\text{IV})$ je podstatne menej mobilný ako $^{238}\text{U}(\text{VI})$ (Polanski a Smulikowski, 1978; Rollinson, 1998), došlo k následnej mobilizácii $^{238}\text{U}(\text{VI})$ a k jeho redukcii a stabilizácii v geochemickej bariére, ktorú tvorili čierne bridlice so syngenetickou pyrit-pyrotitovou mineralizáciou.



Obr. 4. Priemerný obsah ^{40}K v jednotlivých typoch hornín.

Fig. 4. Average content of ^{40}K in various rock types.

Tab. 1
 Silikátová analýza, gamaspektroskopická analýza ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K a AAS analýza vybraných prvkov vo vybraných horninách, vrt KV-44
 Silicate analysis, gamma spectroscopy of ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K and AAS of selected elements in selected rock types, borehole KV-44

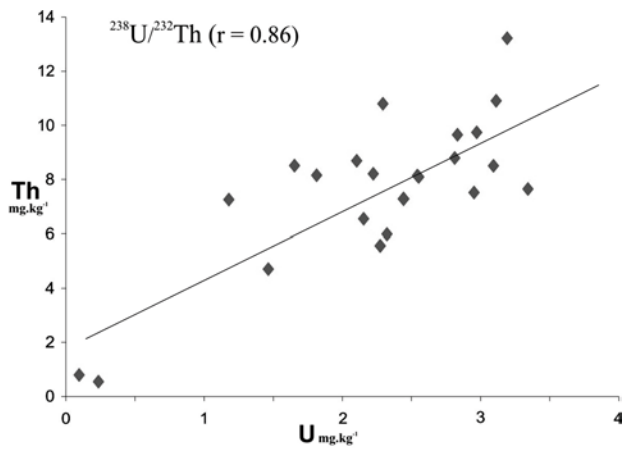
Hornina Rock type	Bt. rula Bt. gneiss	Bt. rula Bt. gneiss	G. diorit G. diorite	Bt. rula Bt. gneiss	Granit Granite	G. diorit G. diorite	G. diorit G. diorite	Čierna br. Black sch.	G. diorit G. diorite	Čierna br. Black sch.	G. diorit G. diorite	G. diorit G. diorite	G. diorit G. diorite	G. diorit G. diorite	Amfibolit Amphibol.
Hĺbkai/Depth (m)	10 – 15	20	25	26 – 27	60 – 70	142 – 150	150 – 160	236 – 244	293 – 294	310	329; 330	333; 368	398 – 402	408 – 409	
ΣFe ₂ O ₃	8,01	8,37	7,22	9,05	1,97	9,24	2,50	6,48	1,45	1,721	9,05	6,14	4,11	6,05	
MnO	0,20	0,06	0,08	0,05	0,04	0,08	0,03	0,07	0,21	0,12	0,16	0,09	0,08	0,08	
TiO ₂	0,88	0,92	0,85	0,96	0,26	0,86	9,88	0,99	1,46	0,43	1,58	0,76	0,65	0,71	
CaO	0,41	0,65	0,55	0,44	1,21	1,28	1,11	4,14	7,93	6,83	7,31	2,37	2,19	2,39	
K ₂ O	2,80	2,49	2,23	1,90	5,46	2,82	5,83	2,74	1,32	1,38	1,49	2,71	2,08	1,72	
SiO ₂	60,16	58,56	61,62	58,47	73,89	59,76	66,89	57,59	51,33	49,28	53,62	64,42	69,61	66,97	
Al ₂ O ₃	17,82	17,87	18,65	19,71	12,69	16,91	17,73	19,63	15,58	11,33	15,06	15,30	13,89	15,53	
MgO	1,22	2,81	2,85	2,86	1,26	3,69	1,40	2,86	5,41	4,17	7,47	2,51	2,20	2,49	
Na ₂ O	3,43	2,78	3,67	2,64	0,56	1,32	1,03	4,42	3,06	0,31	2,63	2,71	3,76	2,49	
str. suš.	1,18	1,08	0,45	0,77	0,22	0,16	0,18	0,30	0,20	0,25	0,19	0,33	0,19	0,08	
str. žih.	3,91	4,45	2,24	3,77	2,84	3,88	2,54	0,84	2,05	9,04	1,42	2,68	1,14	1,48	
²³⁸ U	2,440	3,088	2,968	2,831	4,080	2,953	2,539	2,290	3,110	3,188	2,324	1,463	1,806	1,746	
²³² Th	7,275	8,497	9,738	9,649	9,596	7,505	8,143	10,801	10,913	13,234	5,980	4,702	8,151	7,251	
²³² Th/ ²³⁸ U	2,981	2,572	3,281	3,407	2,351	2,541	3,206	4,714	3,508	4,131	2,751	3,212	4,513	4,231	
⁴⁰ K	2,072	1,144	1,576	1,557	5,123	2,813	5,162	2,146	1,545	2,125	1,538	1,801	1,765	1,752	
Au	ppm	0,115	0	0	0	0,050	0,123	0,126	0,023	0	0	0	0,029	0	
Ba	710	1 550	890	1 780	0	1 480	2 630	49							
Pb	<10	<10	<10	<10	<10	12,6	49								
Cu	74	46	59	50	50	<10	17,4								
Zr	316	500	510	219	25,7	251	282								
Co	35	15,1	31,6	25,7	25,7	<10	15,5								
Ni	245	76	117	52,5	52,5	14,8	42								
V	95,5	78	95,5	191	135	22,9	135								
Ca	20,9	20	25,1	<3	<3	11	<3								
Cr	78	89	81	74	74	15,9	62								
Sr	95,5	245	195	71	71	151	430								
B	71	29,5	42	288	288	263	14,1								

Vysvetlivky k tab. 1 a 2/Explanations to the tabs. 1 and 2

G. diorit/G. diorite – granodiorit/granodiorite; Bt. rula/Bt. gneiss – biotitická rula/biotite gneiss; Čierna br./Black sch. – čierna bridlica/Black schist; Amfibolit – amphibolite; str. suš. – strata sušením/loss by drying; str. žih. – strata žiháním/loss by ignition

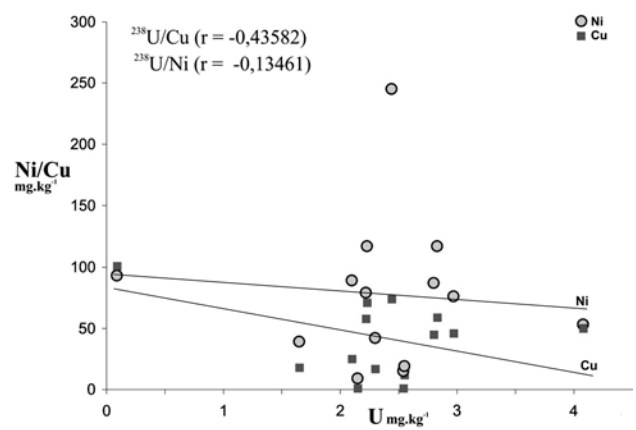
Tab. 2
 Silikátová analýza, gamaspektroskopická analýza ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K a AAS analýza vybraných prvkov vo vybraných horninách, vrt KV-46
 Silicate analysis, gamma spectroscopy of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and AAS of selected elements in selected rock types, borehole KV-46

Hornina Rock type	Bt. rula Bt. gneiss	50 – 60	Čierna br. Black sch.	109 – 111	G. diorite	131	G. diorite	139 – 140	G. diorite	173 – 176	G. diorite	194 – 195	180 – 200	Bt. rula Bt. gneiss	287	Bt. rula Bt. gneiss	292	Bt. rula Bt. gneiss	299	Bt. rula Bt. gneiss	300
Hĺbka/Depth (m)	20	50 – 60	109 – 111	131	G. diorite	139 – 140	G. diorite	173 – 176	G. diorite	194 – 195	180 – 200	Bt. rula Bt. gneiss	287	Bt. rula Bt. gneiss	292	Bt. rula Bt. gneiss	299	Bt. rula Bt. gneiss	300		
$\Sigma\text{Fe}_2\text{O}_3$	8,97	10,62	Vysoký obsah Fe/ High Fe content	5,70	7,30	6,98	5,45	8,45	8,65	8,45	8,45	8,65	8,65	8,62	8,08	8,39					
MnO	0,13	0,18		0,08	0,10	0,13	0,10	0,10	0,13	0,10	0,10	0,13	0,13	0,13	0,11	0,12					
TiO ₂	1,03	1,27		0,98	1,45	1,73	0,97	0,98	1,00	0,98	0,98	1,00	1,00	1,03	0,80	0,92					
CaO	13,08	11,81		5,05	7,45	7,25	4,87	1,87	1,63	1,87	1,87	1,72	1,63	1,63	1,22	1,37					
K ₂ O	0,24	0,34		2,03	1,86	1,70	1,81	2,81	2,98	2,81	2,81	2,98	2,61	2,61	2,58	2,48					
SiO ₂	48,76	49,53		60,83	57,54	55,91	61,05	59,05	59,46	59,05	59,05	59,46	58,70	58,70	59,71	59,94					
Al ₂ O ₃	19,38	15,01		17,96	15,84	15,44	17,72	17,82	17,58	17,82	17,82	17,58	18,85	18,85	18,00	18,18					
MgO	5,89	6,85		2,61	3,61	4,91	2,79	3,79	3,37	3,79	3,79	3,37	3,41	3,41	3,18	3,38					
Na ₂ O	1,87	2,59		3,79	3,49	3,13	3,39	2,39	2,56	2,39	2,39	2,56	2,89	2,89	2,76	2,55					
str. suš.	0,18	0,39	0,11	0,22	0,29	0,35	0,28	0,28	0,49	0,28	0,28	0,49	0,35	0,35	0,36	0,46					
str. žih.	0,88	1,29	8,29	0,91	1,15	2,23	1,49	2,49	2,30	1,49	2,49	2,30	1,88	2,14	2,18						
^{238}U	0,231	0,091	37,800	2,147	2,545	1,646	2,274	2,274	2,097	2,274	2,274	2,097	2,813	3,341	2,219						
^{232}Th	0,534	0,777	1,524	6,543	8,090	8,511	5,563	5,563	8,690	5,563	5,563	8,690	8,788	7,637	8,208						
$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	2,313	8,483	0,040	3,046	3,178	5,168	2,445	2,445	4,143	2,445	2,445	4,143	3,123	2,285	3,698						
^{40}K	0,283	0,561	0,116	1,562	1,355	1,304	1,734	1,700	2,822	1,734	1,700	2,822	2,466	1,776	2,701						
Au	ppm	(mg · kg ⁻¹)	0,461	0,138	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Ba	<300	<300	0,219	1 230	1 290	1 290	1 290	1 290	890	890	890	890	890	890	830						
Pb	<10	<10	12	12	10,4	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	13,5	15,9						
Cu	71	101	1,2	1,2	11,7	17,8	11,7	17,8	24,5	24,5	24,5	24,5	45	57,5							
Zr	123	155	174	174	340	263	340	263	288	288	288	288	224	195							
Co	45	62	<10	<10	13,6	25,7	13,6	25,7	<3,4	<3,4	<3,4	<3,4	22,4	18,6							
Ni	117	93	9,1	9,1	18,6	39	18,6	39	89	89	89	89	87	79							
V	288	295	110	110	138	229	138	229	170	170	170	170	170	155							
Ca	13,2	24,5	22,9	22,9	20,9	10,4	20,9	10,4	35	35	35	35	17,4	14,1							
Cr	200	96	11,7	11,7	17,4	74	17,4	74	78	78	78	78	101	79							
Sr	330	316	490	490	600	470	600	470	204	204	204	204	224	239							
B	7,1	7,4	7,4	7,4	11,7	9,8	11,7	9,8	5,75	5,75	5,75	5,75	31,6	43							



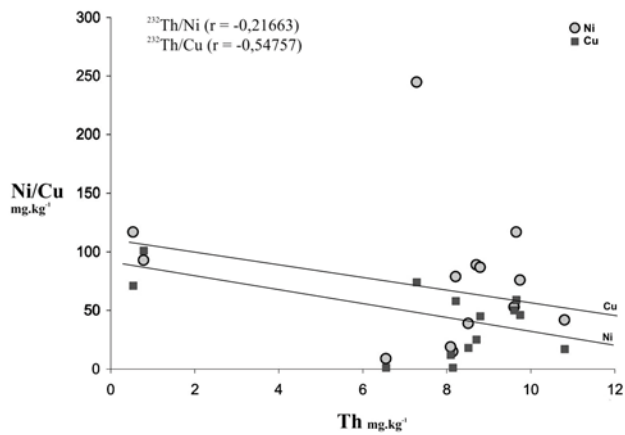
Obr. 5. Korelácia medzi ^{238}U a ^{232}Th (po vylúčení extrémnych hodnôt zo vzorky vo vrte KV-46).

Fig. 5. Correlation of ^{238}U vs. ^{232}Th (after exclusion of the couple of extreme values from borehole KV-46).



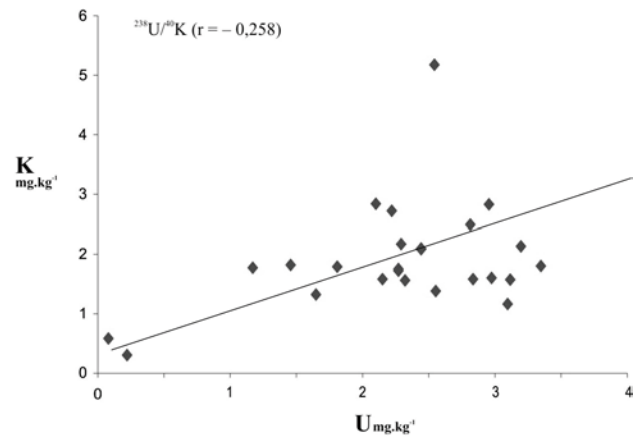
Obr. 6. Korelácia ^{238}U vs. Ni a Cu v študovaných horninových vzorkách.

Fig. 6. Correlation of ^{238}U vs. Ni and Cu in studied rock samples.



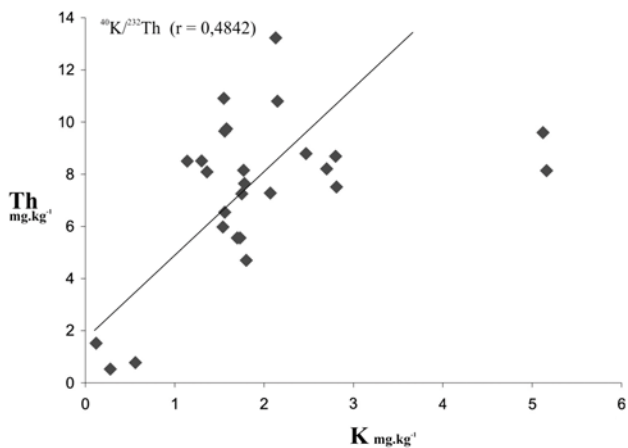
Obr. 7. Korelácia ^{232}Th vs. Ni a Cu v študovaných horninových vzorkách.

Fig. 7. Correlation of ^{232}Th vs. Ni and Cu in studied rock samples.



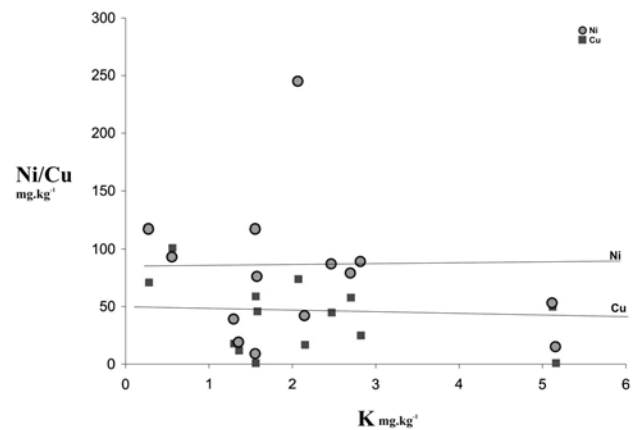
Obr. 8. Korelácia medzi ^{238}U a ^{40}K v študovaných horninových vzorkách.

Fig. 8. Correlation of ^{238}U vs. ^{40}K in studied rock samples.



Obr. 9. Korelácia medzi ^{232}Th a ^{40}K v študovaných horninových vzorkách.

Fig. 9. Correlation of ^{232}Th vs. ^{40}K in studied rock samples.



Obr. 10. Korelácia ^{40}K vs. Ni a Cu v študovaných horninových vzorkách.

Fig. 10. Correlation of ^{40}K vs. Ni and Cu in studied rock samples.

Tab. 3
Priemerné hodnoty koncentrácií uránu, tória a draslíka v jednotlivých horninách
Average values of U, Th and ^{40}K in individual rocks

Hornina/Rock type	n	x U (mg · kg ⁻¹)	x Th (mg · kg ⁻¹)	x ^{40}K (%)
Amfibolit/Amphibolite	2	1,78	7,70	1,757
Biotitická rula/Biotite gneiss	10	7,14	6,56	1,7082
Čierna bridlica/Black schist	3	14,43	3,52	1,463
Granitoidy/Granitoids	11	2,55	7,75	2,319

Diskusia

Urán a tórium patria v zmysle klasifikácie Tölgyessyho (1998) k veľmi toxickým prvkom, a preto je štúdium ich distribúcie v krajine mimoriadne dôležité. Na výskum boli použité vzorky z vrto, ktoré neboli alterované exogénnymi procesmi, aby sa dosiahli čo najmenej deformované údaje o obsahoch ^{238}U a ^{232}Th v jednotlivých typoch hornín. Tieto údaje však nie sú dostatočné na to, aby sa dalo zaujať stanovisko aj k intenzite rádioaktívneho žiarenia.

^{238}U a ^{232}Th migrujú v dôsledku zvetrávacích procesov do pôdy, vody a ostatných krajinných zložiek. Dosiaľ sa v danom regióne nezistil prejav ich negatívneho pôsobenia. Je to dané predovšetkým veľmi nízkymi obsahmi týchto prvkov v horninách.

Vzorky s najvyšším obsahom ^{238}U – čierne bridlice – sa v staviteľstve nevyužívajú, a preto postačuje, pokiaľ sa bude v ďalšom výskume uvažovať o obsahu ^{238}U , ktorý je v ostatných horninách (granitoidy, amfibolit, biotitická rula), t. j. maximálne do hodnoty 4,080 mg · kg⁻¹, zistenej v granite z vrtu KV-44 v hĺbke 60 – 70 m (tab. 1). Aj najvyšší obsah ^{232}Th pochádza (po vylúčení hodnôt nameraných v čiernych bridliciach) z granodioritu (10,913 mg · kg⁻¹; tab. 1).

Obsahy ^{40}K kolísali v rozmedzí 0,116 – 5,162 %. Najvyššie hodnoty boli namerané v horninách obsahujúcich draselné živce a amfiboly.

Slovenská legislatíva neumožňuje zaujať k problému jednoznačné stanovisko. Jediný legislatívny údaj pre obsahy ^{238}U je v nariadení vlády 296/2005 pre kvalitu povrchových vôd, kde je odporúčaná hodnota obsahu 50 µg · l⁻¹.

Aktivita *A rádionuklidu* je veličina, ktorá charakterizuje zdroj žiarenia. Udáva počet rozpadov rádioaktívnych jadier na materiály za 1 sekundu. Jednotkou rádioaktivity je becquerel (Bq = s⁻¹).

Polčas rozpadu ^{238}U je 4,5 miliardy rokov. Za sekundu prebehne v grame uránu 25,381 rozpadov spojených s vyžiarovaním častíc α (Greenwood a Earnshaw, 1990; Yousef et al., 2007). Pre porovnanie možno uviesť, že plynosilikáty s radiačným účinkom používané na občiansku výstavbu pred rokom 1985 mali aktivitu vyššiu ako 400 Bq · kg⁻¹ (Klicpera, 2003), kým norma pre stavebné materiály je dnes 150 Bq · kg⁻¹ (Philippe, 2007).

Ak prepočítame radiačný účinok na najvyššie namerané hodnoty v oblasti Pezinka (37,8 mg · kg⁻¹ v čiernej bridlici), dostaneme intenzitu žiarenia zodpovedajúcu 453,6 Bq · kg⁻¹ (tab. 4) voči najčastejšie sa uplatňujúcemu limitu noriem

platných v EÚ (150 Bq · kg⁻¹), podľa vyhlášky č. 406/1992 Zb., ako aj stavebného zákona č. 50/1976 Zb. (120 Bq · kg⁻¹). Tento prepočet sa realizoval na ojedinelú anomálnu hodnotu obsahu U v hornine, ktorá sa na stavebné účely nevyužíva a aj z kvantitatívneho hľadiska predstavuje len nepatrné percento v zastúpení hornín. Pokiaľ vylúčime túto extrémnu hodnotu, aktivita ^{238}U kolíše v rozmedzí 1,092 až 48,960 Bq · kg⁻¹.

Podobným prepočtom (Ramli et al., 2005; Yousef et al., 2007) obsahov ^{232}Th na aktivitu Bq · kg⁻¹ získame pre skúmané horniny z peziško-perneckého kryštalinika rozpätie hodnôt 2,189 – 54,298 Bq · kg⁻¹. Ak však vylúčime obsahy ^{232}Th v čiernych bridliciach, ktorých je mimoriadne málo a nie sú využívané ani v stavebníctve, je aktivita ^{232}Th nižšia: 2,189 – 44,743 Bq · kg⁻¹.

Vysoká je len aktivita ^{40}K . Aj prepočet koncentrácií ^{40}K na aktivitu sa uskutočnil podľa Yousefa et al. (2007). Jej hodnoty kolíšu v rozmedzí 30,933 – 1 376,499 Bq · kg⁻¹.

Prírodné stavebné materiály, ako napr. stavebný kameň, kamenivo, štrk, piesok, íly, cement, vápno a popolček, obsahujú vždy isté množstvo rádioaktívnych nuklidov (hlavne ^{40}K , ^{232}Th a ^{226}Ra), ktoré vznikajú rádioaktívnym rozpadom ^{238}U . Hmotnostné aktivity ^{232}Th a ^{226}Ra v stavebných materiáloch sú obvykle na úrovni desiatok Bq · kg⁻¹; v prípade nuklidu ^{40}K až stoviek Bq · kg⁻¹. Výskyt takýchto rádioaktívnych prvkov v stavebných materiáloch zabudovaných v budovách spôsobuje ožiarovanie osôb dvojakým spôsobom: a) vonkajším ožiarovaním (γ žiarením), ktoré vzniká v dôsledku rádioaktívneho rozpadu prírodných rádionuklidov; b) vnútorným ožiarovaním pri vdýchnutí rádioaktívnych nuklidov, ktoré vznikajú v ovzduší z radónu, vytvoreného v stavebných materiáloch z rádia. Aktivita stavebných materiálov a surovín na ich výrobu je preto limitovaná. Kritérium vhodnosti použitia stavebných materiálov z hľadiska obsahu prírodných rádionuklidov stanovuje Vyhláška č. 406/1992 Zb., ako aj stavebný zákon SR.

Vychádzajúc z vyššie uvedenej úvahy, možno vysloviť predpoklad, že obsahy ^{238}U (a zrejme aj ^{232}Th) sú v študovaných horninách natolko nízke, že nepredstavujú žiadne významnejšie environmentálne, resp. zdravotné riziko. Úhrnnú rádioaktivitu výrazne ovplyvňujú aktivity ^{40}K (30,933 – 1 376,499 Bq · kg⁻¹), ktoré spôsobujú, že prevažná väčšina horninových vzoriek podrobených výskumu významne prevyšuje úhrnné povolené limity aktivity pre stavebné materiály (120 Bq · kg⁻¹); kolíšu v rozmedzí hodnôt 80,426 – 1 454,402 Bq · kg⁻¹. Toto zistenie umožňuje vysloviť záporné stanovisko k ich

Tab. 4
Prepočet koncentrácií ^{238}U , ^{232}Th a ^{40}K na aktivitu $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$
Calculation of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K concentrations to Bq/kg activity

Hornina/Rock type	^{238}U mg · kg ⁻¹	Bq · kg ⁻¹	^{232}Th mg · kg ⁻¹	Bq · kg ⁻¹	^{40}K %	Bq · kg ⁻¹	Σ Bq · kg ⁻¹
Granodiorit (granit)/ Granodiorite (granite)	2,968	35,616	9,738	38,952	1,576	420,256	494,824
	4,080	48,960	9,596	39,343	5,123	1 366,099	1 454,402
	2,953	35,436	7,505	30,771	2,813	750,115	816,349
	2,539	30,468	8,143	33,386	5,162	1 376,499	1 440,353
	3,110	37,320	10,913	44,743	1,545	411,990	494,053
	2,324	27,880	5,980	24,518	1,538	410,123	462,521
	1,463	17,556	4,702	19,278	1,801	480,255	517,089
	2,147	25,764	6,543	26,826	1,562	416,523	469,113
	2,545	30,540	8,090	33,169	1,355	361,324	425,033
	1,646	19,752	8,511	34,895	1,304	347,725	402,372
	2,274	27,288	5,563	22,808	1,734	462,388	512,484
Biotitická rula/Biotite gneiss	2,440	29,280	7,275	29,828	2,072	552,519	611,627
	3,088	37,056	8,497	34,838	1,144	305,059	376,953
	2,831	33,972	9,649	39,561	1,557	415,190	488,723
	0,231	2,772	0,534	2,189	0,283	75,465	80,426
	0,091	1,092	0,777	3,186	0,561	149,596	153,874
	2,274	27,288	5,563	22,808	1,700	453,322	503,418
	2,097	25,164	8,690	35,629	2,822	752,514	813,307
	2,813	33,756	8,788	36,031	2,466	657,584	727,371
	3,341	40,092	7,637	31,311	1,776	473,588	544,992
	2,219	26,628	8,208	33,653	2,701	720,249	780,53
Amfibolit/Amphibolite	1,806	21,672	8,151	33,419	1,765	470,665	525,756
	1,746	20,952	7,251	29,729	1,752	467,199	517,880
Čierna bridlica/Black schist	2,290	27,480	10,801	44,284	2,146	566,853	638,617
	3,188	38,256	13,234	54,259	2,125	566,665	659,180
	37,800	453,600	1,524	6,248	0,116	30,933	490,781

eventuálnemu používaniu ako stavebného materiálu pre budovy. Na druhej strane, ich využitie pre cestné stavby a podobné exteriérové diela neznamená žiadne environmentálne riziko.

V budúcnosti je potrebné zistiť aj hodnoty Ra a na základe týchto hodnôt vypočítať index rádioaktivity ($^{226}\text{Ra}/300 + ^{232}\text{Th}/200 + ^{40}\text{K}/3000$), ktorý je jedným z akceptovaných štandardov pre stanovenie vhodnosti využitia hornín na stavebné účely, stanovených Medzinárodnou komisiou pre rádiologickú ochranu (International Commission on Radiological Protection).

Záver

Najvyšší obsah U sa zistil v čiernych bridliciach a najnižší v amfibolite. Najnižší obsah Th bol stanovený v čiernych bridliciach a najvyšší v granodiorite.

Medzi obsahmi U a Th sa nezistila žiadna pozitívna korelácia. Podobne sa nepotvrdila ani korelácia medzi U a Th na jednej strane a vybranými rudnými prvkami súvisiacimi s hydrotermálnou Sb-mineralizáciou.

Zdroj Th aj U je v granitoidnej intrúzií, U však bol z granodioritu a granitu mobilizovaný v procese metamorfózy a akumuloval sa spolu so synsedimentárnym pyrit-pyrotitovým a hydrotermálnym Sb-zrudnením v čiernych bridliciach, tvoriacich geochemickú bariéru, na ktorej došlo k precipitácii rúd.

Obsahy U a Th sú mimoriadne nízke (^{238}U 0,091 až 37,800; ^{232}Th 0,534 – 10,913 mg · kg⁻¹). Intenzita ich žiarenia zodpovedá maximálne hodnotám ^{238}U = 37,800 Bq · kg⁻¹ (spravidla však <3,000 Bq · kg⁻¹) a ^{232}Th = 13,234 Bq · kg⁻¹. Možno predpokladať, že nepredstavujú pre krajinu a ľudské aktivity environmentálne riziko. Neprevyšujú ani povolené limity pre stavebné materiály (150 Bq · kg⁻¹; 120 Bq · kg⁻¹). Riziko pre stavebné aktivity znamená až úhrnná aktivita ^{238}U , ^{232}Th a ^{40}K (80,426 – 1 454,402 Bq · kg⁻¹).

Podakovanie. Práca vznikla v rámci projektov VEGA 2-0065-11, APVV-VVCE-0033-07 a APVV APVV-0663-10. Autori dakujú za poskytnutý materiál Geologickej službe SR, za analytické práce Ing. Dane Tropickej, RNDr. Vlastimilovi Kátlovskému, CSc., za technické práce RNDr. Jozefovi Krnáčovi a Mgr. Nataši Halašiovej.

References

- ABEL-GHANY, H. A., 2010: Natural activities of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in manganese ore. *Amer. J. Environ. Sci.*, 6, 1, 90 – 94.
- AJAYI, O. S., 2009: Measurement of activity concentrations of ^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th for assessment of radiation hazards from soils of the southwestern region of Nigeria. *Radiation, Environment, Biophysics*, 48, 323 – 332.
- ANDRÁŠ, P., 1983: Problémy genézy antimónového a zlatého zrudnenia na ložisku Pezinok. [Kandidátska dizertačná práca.] *Manuskript. Komenského Univ., Bratislava*, 159 s.

- CAMBEL, B., ŽUKOV, F. S. & SAVČENKO, D., 1980: Genetičeskíe i izotopno-geochemičeskíe osobennosti formirovanija kolčedannyh rud v Malých Karpatach. *Miner. Slov. (Bratislava)*, 12, 6, 533 – 540.
- CROFT, S. & HUTCHINSON, I. G., 1999: The measurement of U, Th and K concentrations in building materials. *Application of Radioactive Isotopes* 51, 483 – 492.
- FINGER, F., BROSKA, I., HAUNSCHMID, B., HRAŠKO, L., KOHÚT, M., PETRIK, I., RIEGLER, G. & UHER, P., 2003: Electron-microbe dating of monazite from the Western Carpathians basement granitoids. Plutonic evidence for an important Permian rifting event subsequent to Variscan crustal anatexis. *Int. J. Earth Sci.*, 92, 86 – 98.
- GAJDOŠ, A. & ŠKODOVÁ, M., 2009: Poznanie horskej krajiny na základe vývoja antropicky vytvoreného okraja lesa. In: Pucherová, Z. & Vanková, V. (eds.): *Problémy ochrany a využívania krajiny – teórie, metódy a aplikácie. Biosféra*, 67 – 72.
- GREENWOOD, N. N. & EARNSHAW, A., 1990: *Chemie der Elemente*. Würzburg, 1 707 p.
- HUDEČ, O., 2005: Pravdepodobnosť a induktívna štatistika. Košice: ELFA, s. r. o., 2005. 200 s. ISBN 80 – 89066 – 71 – 2.
- IWAOKA, K., TAGAMI, K. & YONEHARA, H., 2009: Measurements of natural radioactive nuclide concentrations in various metal ores used as industrial raw materials in Japan estimation of dose received by workers handling them. *J. Environmental Radioactivity*, 100, 993 – 997.
- CHOVAN, M., ROJKOVIČ, I., ANDRÁŠ, P. & HANAS, P., 1992: Ore mineralization of the Malé Karpaty Mts. *Geol. Carpath.*, 43, 5, 275 – 286.
- KLICPERA, J., 2003: Jak je to s uranem, bombami a životním prostředím. http://www.humanisti.cz/php/zobrazit_clanek.php?id=248
- KOVLER, K., HAQUIN, G., MANASHEROV, V., NEEMAN, E. & LAVI, N., 2002: Natural radionuclides in building materials available in Israel. *Building and Environment*, 37, 531 – 537.
- LUIGI, B. B., MAURIZIO, M. & GIORGIO, M., 2000: Radioactivity in raw materials and products of the Indian Ceramics industry. *Environmental Radioactivity*, 47, 171 – 181.
- MAHEL, M., 1961: Tektonik der zentralen Westkarpaten. *Geol. Práce, Spr.*, 60, 11 – 50.
- MARSINA, K., 1999: Geochemický atlas Slovenskej republiky 1 : 1 000 000, III – Horniny. Bratislava, MŽP SR – GS SR, 135 s.
- MAZÚR, E. & LUKNIŠ, M., 1978: Regionálne geomorfologické členenie Slovenska. *Geografický časopis*, 30, 2, 101 – 124.
- PETRESCU, L. & BILAL, E., 2006: Uranium, thorium and strontium in conifers grown on uranium mine dumps (the East Carpathians, Romania). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 1, 1, 63 – 80.
- PETRESCU, L. & BILAL, E., 2007: Environmental impact assessment of a uranium mine, East Carpathians, Romania: Metal distribution and partitioning of U and Th. *Carpath. J. Earth Environ. Sci.*, 2, 1, 39 – 50.
- PHILIPPE, P., 2007: Radon. In: International Radon Project. Geneva, World Health Organization, 428 p.
- PLAŠIENKA, D., MICHALÍK, J., KOVÁČ, M., GROSS, P. & PUTIŠ, M., 1991: Paleotectonic evolution of the Malé Karpaty Mts. *Geol. Carpath.*, 42, 4, 195 – 208.
- POLAŇSKI, A. & SMULIKOWSKI, K., 1978. *Geochemia. Bratislava, SPN*, 496 – 497.
- RAMLI, A. T., HUSSEIN, A. W. M. A. & WOOD, A. K., 2005: Environmental ²³⁸U and ²³²Th concentration measurements in an area of high level natural background radiation at Palong, Johor, Malaysia. *J. Environmental Radioactivity*, 80, 3, 287 – 304.
- ROLLINSON, H., 1998: Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. *Longman Singapore Publishers, ISBN 0-582-06701-4*, 352 p.
- TÖLGYESSY, J., PIATRIK, M. & ČÍK, G., et al., 1998. Technológia životného prostredia. Bratislava, STU, 184 s.
- TURHAN, Ş., BAYKAN, U. N. & ŞEN, K., 2008: Measurement of the natural radioactivity in building materials used in Ankara and assessment of external doses. *J. Radiological Protection*, 28, 83 – 91.
- YOUSEF, M. I., EL-ELA, A. A. & YOUSEF, H. A., 2007: Natural radioactivity levels in surface soil of Kitchener drain in the Nile delta of Egypt. *J. Nuclear and Radiation Physics*, 2, 1, 61 – 68.

Rukopis doručený 5. 9. 2011

Revidovaná verzia doručená 17. 1. 2012

Rukopis akceptovaný red. radou 13. 9. 2011

Radioactivity of rocks at the town of Pezínok as criterium for their use in building industry

Components of natural environment such as soils and rocks contain some naturally occurring radioactive materials. These materials may contain ²³⁸U, ²³²Th, their radioactive daughters and primordial radioactive isotope ⁴⁰K (Luigi et al., 2000; Ajayi, 2009). The absolute and relative concentrations of naturally occurring radioisotopes ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K in rocks used for civil engineering can vary depending on rock-type and its source (Croft and Hutchinson, 1999). Measurements of natural radioactivity especially in rock raw materials are very important for determination of natural background activity (Iwaoka et al., 2009; Abel-Ghany, 2010). Recently the calculations of the risk caused by activity of natural radionuclides in rocks, used for civil engineering, started to be intensively studied (Kovler et al., 2002; Petrescu and Bilal, 2006, 2007; Turhan et al., 2008; Rusko et al., 2008 and others). Our study was focused on the Malé Karpaty Mts. region.

According to the geomorphological classification of Slovakia, the Malé Karpaty Mts. represent a part of the Fatra-Tatra region. They present, within the fold-block Fatra-Tatra morphostructure, the horst of core mountain range elevating between sinking morphostructures of the Záhorská nížina Lowland and the Danube Lowland (Mazúr and Lukniš, 1978; Gajdoš and Škodová, 2009).

The geological structure of the Malé Karpaty Mts. consists of pre-Alpine fundament, Mesozoic mantle and higher Alpine-age nappes. Volcanic-sedimentary formation of the crystalline complex had originated during Silurian (113–416 Ma) and Devonian (416–359 Ma). It consists of pelite-psammite sequences, carbonates and black schists (Plašienka et al., 1991).

According to Finger et al. (2003), the overall complex was metamorphism during the regional Devonian metamorphism (380 ± 20 Ma; Rb-Sr dating). Subsequently,

it was affected by the late Variscan periplutonic contact metamorphism (348 ± 4 Ma or 320 ± 3 Ma; Cambel et al., 1980; Rb-Sr and U-Pb geochronological dating).

The following rocks participate in the structural-tectonic structure: granitic rocks (mainly granodiorite composition), crystalline schists, amphibolites, limestones and Quaternary sediments. The medium-grained granites – granodiorites are mylonized and sericitized. Crystalline schists represented by phyllites, micaschists, gneisses and black schists in the western part of the territory are in the form of fragments and breccia consolidated by calcareous cement and sericitic-chloritic phyllites. Phyllite layers alternate with carbonates (Mahel, 1961).

There are known various ore deposits (mainly pyrite and Sb) in the Malé Karpaty Mts. such as Pezinok and Pernek, Krížnica, Kuchyňa, Trojárová, etc. Sb mineralization occurs locally along with Pb-Zn mineralization (e.g. at the Pod Babou locality) and Cu-(Au-Ag) \pm Ni-Co mineralization at the village of Častá (Chovan et al., 1992).

The distribution of natural radionuclides in the main rock types: granodiorites, biotite-gneisses, black schists and amphibolites from the Malé Karpaty Mts. complex was studied in samples from two boreholes KV-44 and KV-46 (Fig. 1). The samples were analysed by means of gamma-ray spectrometry.

Concentrations of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K were found to be within the range: ^{238}U 0.091–37.800 mg/kg, ^{232}Th 0.534–13.234 mg/kg, ^{40}K 0.116–5.162 mg/kg, Figs. 2–4). The highest average ^{238}U concentration was in black schist, highest average ^{232}Th concentration in granodiorite and highest average ^{40}K concentration in granodiorite as well. Activities of ^{238}U were determined within the range of 1.092–48.960 Bq/kg (with exception of one anomalous value – 453.6 Bq/kg), activities of ^{232}Th within the range of 2.189–54.298 Bq/kg and activities of ^{40}K within the range of 30.933–1,376.499 Bq/kg.

The correlation between concentrations of $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ (correlation coefficient -0.30705 ; Fig. 5), $^{238}\text{U}/\text{Cu}$ (correlation coefficient -0.43582) and $^{238}\text{U}/\text{Ni}$ (correlation coefficient -0.13461 ; Fig. 6) is negative. Similarly, the correlation relations of $^{232}\text{Th}/\text{Ni}$ (correlation coefficient -0.21663) and $^{232}\text{Th}/\text{Cu}$ (correlation coefficient -0.54757) are negative (Fig. 7).

The correlation between concentrations of $^{238}\text{U}/\text{K}$ (correlation coefficient is -0.258 ; Fig. 8) is negative but between concentrations of ^{40}K and ^{232}Th there was determined correlation dependency (correlation coefficient is 0.4842; Fig. 9). At the Fig. 10 there is presented the correlation among ^{40}K vs. Ni and Cu.

These findings indicate that there does not exist direct positive correlation relation between ^{238}U and ^{232}Th , and not even between the metal elements (Ni, Cu) accompanying hydrothermal Sb mineralization and radioactive elements ^{238}U and ^{232}Th .

Preferential binding of ^{232}Th to granodiorite indicates that the ^{232}Th addition is in connection with the granodiorite intrusion into the crystalline schist. ^{238}U occurs in black schist together with Sb mineralization but its concentrations do not show any positive correlation to metals (Ni, Cu) of hydrothermal mineralization. This phenomenon is probably connected with ^{238}U mobilization from granitic rocks. It is highly presumable that the addition of ^{238}U and ^{232}Th is connected with identical geological event (granodiorite intrusion). Due to the lower mobility of Th(IV) in comparison with U(VI) (Polanski and Smulikowski, 1978; Rollinson, 1998), the subsequent U(VI) mobilization and its reduction and stabilization occurred in the geochemical barrier which consisted of black shale with syngenetic pyrite-pyrrhotite mineralization.

Even though ^{238}U and ores of Sb mineralization do not show any features of positive correlation of concentrations of individual elements, it is obvious that the addition of U and Th connected with granitic rocks was the mobilization tool of hydrothermal solutions which brought Sb mineralization, as well the mobilization tool of U(VI). Therefore age of intrusion, U/Th mineralization and Sb mineralization should be about equal.

There was not determined any positive correlation between concentrations of ^{238}U and ^{232}Th . Similarly, there was not verified correlation between ^{238}U and ^{232}Th concentrations and selected ore elements connected with hydrothermal Sb mineralization.

^{238}U and ^{232}Th source is in granodiorite intrusion but ^{238}U was mobilized from granodiorite during metamorphic process and was accumulated together with syndimentary pyrite-pyrrhotite and hydrothermal Sb mineralization in black schist presenting geochemical barrier where the ore precipitation occurred.

Concentrations of ^{238}U and ^{232}Th were very low (^{238}U 0.091 – 37.800 mg/kg, ^{232}Th 0.534 – 13.234 mg/kg). Their radiation intensity corresponds to maximum values of ^{238}U = 37.800 Bq/kg (generally to <3.000 Bq/kg) and ^{232}Th = 13.234 Bq/kg. It is possible to assume that they do not present any environmental risk to nature and human activities. They do not exceed permitted limit values for building materials (150 Bq/kg; 120 Bq/kg) as well. The risk for civil engineering is the total activity of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K (80.426–1,454.402 Bq/kg).