

PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA GRANITOIDŮ A METAGRANITOIDŮ BRUNOVISTULICKÉHO TERÁNU NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY

Natural radioactivity of granitoids and metagranitoids of the Brunovistulian terrane on the territory of the Czech Republic

Jiří Zimák

Katedra geologie PřF UP, tř. 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc; e-mail: zimak@prfnw.upol.cz

(14-24 Bělá pod Pradědem, 14-42 Rýmařov, 14-44 Šternberk, 15-13 Vrbno pod Pradědem, 24-14 Boskovice, 24-22 Olomouc, 24-24 Prostějov, 24-32 Brno, 24-33 Moravský Krumlov, 24-34 Ivančice, 24-41 Vyškov, 25-13 Přerov, 33-22 Vranov nad Dyjí, 33-24 Hnanice, 34-11 Znojmo, 34-12 Pohořelice, 34-13 Dyjčovice)

Key words: Brunovistulian terrane, granitoids, gamma-spectrometry, natural radioactive elements

Abstract

Contents of potassium, uranium and thorium were measured, using a laboratory gamma-ray spectrometer, in 712 samples of granitoids and metagranitoids as well as accompanied dioritoids, aplites and pegmatites from the Czech part of the Brunovistulian terrane. Most of the studied rocks belong to the Dyje-Ivančice Massif, Slavkov Massif and Desná Unit. All studied granitoids, metagranitoids and blastomylonites show a low natural radioactivity. Granitoids from the southern part of the Brunovistulian terrane (Dyje-Ivančice Massif) have considerably higher natural radioactivity than those found in more northern parts of the Brunovistulian terrane (Slavkov Massif, Svratka Massif, small granitoid bodies in the surroundings of Olomouc, and Desná Unit).

Úvod

Brunovistulické granitoidy a horniny vzniklé jejich tektonickým a metamorfním přepracováním vystupují v tektonických oknech nebo polooknech na území České republiky jako dyjsko-ivančický masiv, slavkovský masiv a svratecký masiv, jsou součástí desenského krystalinika a vystupují i v podobě malých ostrůvků v Hornomoravském úvalu (viz např. Cháb et al. 2008, Kalvoda et al. 2008). Z výsledků letecké, terénní a laboratorní gamaspektrometrie je zřejmé, že granitoidy brunovistulika mají jen relativně nízkou přirozenou radioaktivitu (Matolín 1970, Štelcl – Weiss et al. 1986, Manová a Matolín 1995, Přichystal et al. 2002, Zimák a Husáková 2005). Podrobné zhodnocení přirozené radioaktivity těchto hornin na základě výsledků laboratorní gamaspektrometrie je náplní tohoto článku.

Vzorky a metody

Na území České republiky byl proveden odběr celkem 721 horninových vzorků, které reprezentují granitoidní horniny a je provázející dioritoidy, aplity a pegmatity brunovistulického teránu. Determinace hornin byla prováděna pouze makroskopicky a proto jsou při jejich označování užívány pouze skupinové názvy. Nutno poznamenat, že přinejmenším v případě granitoidů slavkovského masivu je makroskopické rozlišení hornin v řadě granit – granodiorit – tonalit velmi problematické vzhledem k místy růžovému i červenému zbarvení plagioklasů (prokazatelně jsou zde přítomny tonality až diority, jejichž živce jsou zbarveny červeně).

Označování jednotlivých typů granitoidů v prostoru ivančického části dyjsko-ivančického masivu a slavkovského masivu (ve smyslu Chába et al. 2008) odpovídá mapě Hanžla et al. (1999), v případě území mimo rámec této mapy je v souladu s geologickými mapami v měřítku 1 : 50 000 vydávanými ČGÚ v letech 1998–1994. Dyjská část dyjsko-

ivančického masivu je rozdělena na dva úseky: západní úsek (z. od Znojma, včetně území města) a úsek východní.

Desenské krystalinikum je v této práci děleno na tři úseky: jižní (j. od klepáčovského zlomu), střední (mezi klepáčovským zlomem a zlomem bělským) a severní (s. od bělského zlomu). Podle stupně deformace a metamorfního přepracování jsou studované horniny desenského krystalinika označovány jako metagranitoidy (původní stavba horniny je i makroskopicky ještě dobře patrná) nebo blastomylonity, příp. mylonity (v typických případech jde o páskované až plástevnaté blastomylonity s makroskopicky nápadnými porfyroklasty živců). V desenském krystaliniku je obtížné, ne-li nemožné, rozlišit metatonality od metamorfovaných křemenných dioritů (a platí to samozřejmě i pro blastomylonity a mylonity), a proto je možné, že mezi metagranitoidy byly zařazeny i metadioritoidy. V j. úseku desenského krystalinika vystupuje tzv. libinský granit (u Dolní Libiny a Šumvaldu), jehož stáří je nejasné (kadomské nebo spíše variské?). V okolí Oskavy a Bedřichova se kromě kadomských granitů místy vyskytují i granity, které jsou nedeformované, a které by snad bylo možno považovat za variské.

V horninových vzorcích byly na PřF UP v Olomouci za použití spektrometru SG – 1000 LAB s NaI(Tl) detektorem o objemu 0,35 dm³ (průměr 76 mm, délka 76 mm) stanoveny obsahy draslíku (přímo na základě koncentrace ⁴⁰K) a obsahy uranu a thoria (nepřímo na základě koncentrací dceřiných produktů, a proto jsou obsahy těchto prvků při uvádění výsledků analýz označovány jako eU a eTh). Hmotnost analyzovaných vzorků se pohybovala kolem 450 g, délka měření 1800 s. Přirozená radioaktivita hornin je hodnocena i na základě hmotnostní aktivity ekvivalentu ²²⁶Ra (a_m), která byla z výsledků gamaspektrometrických analýz vypočtena podle vztahu $a_m = 12,35U + (1,43 \cdot 4,06Th) + (0,077 \cdot 313K)$, do něhož jsou obsahy U a Th dosazovány

geol. jednotka / hornina	n	K (hmot. %)				eU (ppm)				eTh (ppm)				am (Bq.kg ⁻¹)			
		min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x
<i>dyjská část dyjsko-ivančického masivu - západní úsek (n = 75):</i>																	
granitoidy	51	1,9	5,2	3,3	3,4	<1,5	8,4	<1,5	2	<1,5	15,7	6,5	6,7	87	226	139	144
aplity	14	2,3	4,6	3,8	3,9	<1,5	5,7	2	2,8	2	17,6	7,5	8	107	266	162	174
pegmatity	10	1,9	8,1	3,9	4,8	<1,5	1,8	<1,5	<1,5	<1,5	4,1	<1,5	1,7	64	217	117	138
<i>dyjská část dyjsko-ivančického masivu - východní úsek (n = 57):</i>																	
tasovický granodiorit	24	1,9	4,2	3,1	3,1	<1,5	3,4	<1,5	<1,5	5,2	18,9	8,3	9,5	96	231	137	147
ostatní granitoidy	9	1,9	3,1	2,4	2,5	<1,5	1,5	<1,5	<1,5	2,4	11,7	5,2	5,6	80	154	100	105
dioritoidy	16	0,8	2,2	1,6	1,5	<1,5	2,8	<1,5	<1,5	<1,5	13,3	6,6	6,5	43	143	88	90
aplity	6	2,3	4,1	3,4	3,3	<1,5	3,5	2,1	2,2	12,5	39	16,1	19,4	148	356	201	218
pegmatity	2	2,5	3,1	2,8	2,8	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	3,8	4,2	4	4,2	95	111	103	103
<i>ivančická část dyjsko-ivančického masivu (n = 108):</i>																	
granitoidy	83	1,2	4,9	2,8	2,8	<1,5	3,6	<1,5	<1,5	2,3	41,2	10,5	11,1	67	344	147	150
dioritoidy	15	0,6	3,4	1,4	1,4	<1,5	2	<1,5	<1,5	<1,5	21,6	4,3	5,5	48	184	67	80
aplity	4	2,1	4,3	3,3	3,3	<1,5	6	1,7	2,6	9,6	21,2	18,7	17,1	175	240	210	209
pegmatity	6	2,5	6,8	4,4	4,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	2,4	24,2	3,7	6,8	91	213	169	159
<i>slavkovský masiv (n = 119):</i>																	
granitoidy	86	0,5	3,8	1,7	1,8	<1,5	3,1	<1,5	<1,5	<1,5	12,2	3,7	3,8	35	165	79	79
dioritoidy	26	<0,5	1,6	1,1	1	<1,5	1,7	<1,5	<1,5	<1,5	6,2	2,7	2,9	30	78	55	54
aplity	3	2,9	3,3	3	3,1	<1,5	3,6	3,5	2,7	2,4	16,5	14,3	11,1	99	210	206	172
pegmatity	4	2,1	5	3	3,3	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	3,6	11,4	5	6,3	94	154	131	128
<i>svratecký masiv (n = 16):</i>																	
granitoidy	12	1,6	3,2	2,7	2,5	<1,5	2,3	<1,5	<1,5	3,2	9,5	5,7	6,2	74	160	112	112
aplity+pegmatity	4	2	3,9	2,1	2,5	<1,5	2,8	2,5	2,2	4,4	20,2	13,6	13	132	198	160	163
<i>krystalinikum Hornomoravského úvalu (n = 46):</i>																	
granitoidy - Krčmaň	8	1,4	4,1	2,2	2,3	<1,5	2,7	<1,5	<1,5	<1,5	3,2	1,6	1,7	58	117	79	82
ostatní granitoidy	15	2,2	4,5	3,7	3,6	<1,5	3,6	2	2,2	4,8	14,5	10,3	10,1	126	212	174	171
pegmatity	9	1,3	8,3	6,3	5,3	<1,5	2	<1,5	<1,5	<1,5	2,7	<1,5	<1,5	49	218	170	148
mylonity	14	0,9	2,8	2	2,1	<1,5	2,2	<1,5	<1,5	6,1	11,2	8,1	8	84	140	109	112
<i>desenské krystalinikum - jižní část (n = 112):</i>																	
metagranitoidy +granitoidy	57	0,6	4,7	2,5	2,5	<1,5	4,1	1,6	1,8	<1,5	26,9	12,4	12,1	42	221	156	152
metadioritoidy	15	<1,5	1,6	0,9	0,9	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	26	57	37	39
blastomylonity +mylonity	25	0,7	3,5	1,8	1,9	<1,5	2,7	<1,5	<1,5	<1,5	14	7,1	7,2	37	142	103	104
metapegmatity	3	1,3	1,9	1,5	1,6	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	1,9	<1,5	<1,5	49	69	54	58
libinský granit	12	1,7	3,6	2,7	2,7	<1,5	5	2,9	2,8	4,9	20,5	12,3	12,6	82	251	178	173
<i>desenské krystalinikum - centrální část (n = 57):</i>																	
metagranitoidy	24	0,5	1,8	1,2	1,2	<1,5	2,7	<1,5	<1,5	<1,5	14,9	5,5	5,7	36	151	72	80
blastomylonity +mylonity	29	<0,5	3,8	1,5	1,6	<1,5	4,8	<1,5	<1,5	<1,5	21,2	6	6,4	26	205	91	93
metapegmatity	4	0,7	1,6	1	1,1	<1,5	1,9	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	35	57	46	46
<i>desenské krystalinikum - severní část (n = 142):</i>																	
metagranitoidy	60	0,8	3,3	1,7	1,8	<1,5	5,2	<1,5	1,6	<1,5	16,4	5,1	5,7	40	158	98	96
blastomylonity +mylonity	75	0,9	5,1	2	2,1	<1,5	3,4	<1,5	1,4	<1,5	17,9	6,3	6,6	47	214	102	105
metapegmatity	7	0,8	4,3	1,2	1,7	<1,5	1,8	<1,5	<1,5	<1,5	4	<1,5	2	37	122	52	67

 Tab. 1: Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, eU, eTh) v horninách a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m).

 Tab. 1: Natural radioactive element (K, eU, eTh) contents in rocks and calculated mass activity (a_m).

v ppm, obsahy K v hmot. %. Meze detekce pro jednotlivé prvky: K = 0,5 hmot. %, U a Th pod 1,5 ppm. Při výpočtu hodnot a_m a při statistickém zpracování dat byly obsahy K pod mezí detekce nahrazeny hodnotou 0,33 hmot. %, obdobně v případě eU a eTh hodnotou 1 ppm.

Výsledky

Výsledky provedených gamaspektrometrických měření jsou sumarizovány v tab. 1 a 2. Ze získaných dat plynou tyto závěry:

1. Granitoidní horniny brunovistulického teránu mají relativně velmi nízkou radioaktivitu. Jejich průměrná hmotnostní aktivita v žádném ze sledovaných úseků nedosahuje ani hodnoty pro průměrnou zemskou kůru (kolem 180 Bq.kg⁻¹).

2. Granitoidy brunovistulického teránu lze na základě přirozené radioaktivity rozdělit do dvou skupin: a) granitoidy dyjsko-ivančického masivu (dále jen DIM), pro něž je charakteristická průměrná hodnota kolem 150 Bq.kg⁻¹ (v rámci granitoidů brunovistulického teránu jde o radioaktivitu vysokou), b) granitoidy zbývajících částí

masiv / typ granitoidu	n	K (hmot. %)				eU (ppm)				eTh (ppm)				am (Bq·kg ⁻¹)			
		min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x
<i>ivančická část dyjsko-ivančického masivu (n = 83):</i>																	
typ Olbramovice	6	2,1	2,8	2,5	2,5	<1,5	3,5	2,9	2,4	5,6	7,8	6,8	6,8	116	143	129	129
typ Krumlovského lesa	6	1,7	2,9	2,3	2,4	<1,5	3,6	<1,5	1,7	2,4	11,2	7,6	7,4	67	161	116	120
typ Tetčice	34	1,6	4,9	3	3,1	<1,5	3,4	<1,5	<1,5	6,8	41,2	13	15,2	127	344	167	180
typ Réna	16	2,3	3,4	2,7	2,7	<1,5	2,3	<1,5	<1,5	4,7	16,1	9,1	9,3	101	178	128	134
typ Veverská Bitýška	17	1,2	3,6	2,5	2,5	<1,5	2,4	<1,5	<1,5	2,3	17,5	5,4	7,9	76	211	109	123
typ Černá Hora	4	3,1	3,7	3,4	3,4	<1,5	2,9	<1,5	1,5	5,9	13,3	9	9,3	136	168	156	154
<i>slavkovský masiv (n = 86):</i>																	
typ Královo Pole	21	0,8	3,8	1,7	1,7	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	2,5	7,5	4,3	4,3	54	147	79	78
typ Blansko	60	0,5	3,8	1,7	1,8	<1,5	3,1	<1,5	<1,5	<1,5	12,2	3,4	3,6	35	165	79	78
typ Doubravice	5	1,8	2,5	2,1	2,2	<1,5	2,2	<1,5	<1,5	3,2	6,1	4,6	4,6	79	120	93	95

Tab. 2: Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, eU, eTh) v granitoidech ivančické části dyjsko-ivančického masivu a slavkovského masivu a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m).

Tab. 2: Natural radioactive element (K, eU, eTh) contents in granitoids of the Ivančice part of the Dyje-Ivančice Massif and Slavkov Massif, and calculated mass activity (a_m).

brunovistulického teránu, které mají průměrné hodnoty hmotnostní aktivity obvykle pod 100 Bq·kg⁻¹ (výjimkou jsou granitoidy Hornomoravského úvalu). Tato skutečnost souvisí s vyšším obsahem K a Th v granitoidech nejjihnější části brunovistulického teránu (a též s výraznou převahou granitů nad granodiority a tonality v tomto území).

3. Granitoidy tzv. brněnského masivu tedy z hlediska přirozené radioaktivity náleží ke dvěma rozdílným typům: a) granitoidy jeho z. části (nyní označované jako ivančická část DIM) s relativně vysokou radioaktivitou (průměr 150 Bq·kg⁻¹), podobající se radioaktivitou granitoidům z. úseku dyjské části DIM a tasovickému granodioritu ve v. úseku DIM, b) granitoidy slavkovského masivu s výrazně nižší radioaktivitou (průměr 79 Bq·kg⁻¹), které se tímto podobají granitoidům v s. části brunovistulického teránu. Získané poznatky o přirozené radioaktivitě granitoidů tedy dokládají existenci rozdílů mezi granitoidy dyjského teránu a teránu slavkovského ve smyslu Kalvody et al. (2008) a podporují tak koncepci citovaných autorů. Obsahy přirozených radioaktivních prvků v jednotlivých typech granitoidů tzv. brněnského masivu jsou zřejmé z tab. 2. V ivančické části DIM se od ostatních granitoidů poněkud odlišují biotitické granodiority typu Tetčice, a to relativně vysokými obsahy thoria (viz níže).

4. Na existenci granitoidů typu Tetčice s vysokými obsahy thoria upozorňuje Sedláková a Leichmann (2009). V citované práci jsou tyto thoriem bohaté horniny (až 56,4 ppm eTh) popisovány jako červené granity vyskytující se v úzkém pruhu lemujícím tzv. metabazitovou zónu. Citovaní autoři tyto thoriem bohaté granity zjistili v úseku Bosonohy – Ořečov; z jimi uváděných dat je zřejmé, že se v tomto území vyskytují i šedě zbarvené granity s rovněž vysokými obsahy thoria. Zjištěné výskyt granitoidů s relativně vysokými obsahy Th (nad 15 ppm eTh) vytvářejí zónu Ivančice – Hlína – Prštice – Ořečov – Nebovidy – Ostopovice a dále se granitoidy s vysokým obsahem Th objevují nad pravým břehem Brněnské přehrady a u Moravských Knínic (na Čebínském kopci). Převážně jde o horniny růžově nebo červeně zbarvené. V této zóně se však vyskytují i růžové nebo červené granitoidy s relativně nízkými (klarkovými a podklarkovými) obsahy Th. Uve-

dené zbarvení tedy neindikuje zvýšený obsah Th. Výše zmíněná zóna thoriem bohatých granitoidů provázených i thoriem bohatými aplity a také diority s relativně vysokým obsahem Th probíhá třemi v tomto prostoru vystupujícími typy granitoidů (typ Réna, Tetčice a Veverská Bitýška).

5. V z. úseku dyjské části DIM byly v pruhu Mašovice – Hradiště – Znojmo zjištěny granity se zvýšenými obsahy uranu (2,3 až 8,4 ppm eU) – viz Zimák a Jůzková (2011, v tomto čísle).

6. Granitoidy vystupující v Hornomoravském úvalu v prostoru mezi Olomoucí a Prostějovem vykazují v rámci brunovistulického teránu relativně vysokou radioaktivitu srovnatelnou s radioaktivitou granitoidů ivančické části DIM. Výjimkou v rámci Hornomoravského úvalu jsou granity z okolí Krčmaně, jejichž přirozená radioaktivita je nižší, a to zejména vlivem nižších obsahů thoria (granity od Krčmaně mají charakter pegmatoidních granitů).

7. Pokud jsou granitoidy provázeny dioritoidy, je přirozená radioaktivita těchto dioritoidů nižší než radioaktivita granitoidů.

8. Relativně zvýšené hodnoty přirozené radioaktivity vykazují aplity, a to zejména díky zvýšeným obsahům thoria i uranu.

9. Metagranitoidy a blastomylonity severní a střední části desenského krystalinika (tj. severně od klepáčovského zlomu) vykazují nízkou radioaktivitu. Je podstatné, že zde z hlediska radioaktivity neexistují výraznější rozdíly mezi metagranitoidy a od nich odvozenými blastomylonity a mylonity. V jižní části desenského krystalinika (tj. jižně od klepáčovského zlomu) je situace odlišná. Radioaktivita blastomylonitů a mylonitů (průměr 104 Bq·kg⁻¹) je zde obdobná jako v severní a střední části desenského krystalinika, avšak radioaktivita metagranitoidů a granitoidů je zde výrazně vyšší (průměr 152 Bq·kg⁻¹, bez „libinského granitu“). Již výše bylo zmíněno, že v prostoru Oskavy a Bedřichova jsou přítomny granity a metagranity s různým stupněm deformace a že je možné, že zde vystupují jak granitoidy kadomské, tak i variské, které v této oblasti silezika vykazují relativně vysokou přirozenou radioaktivitu (dosud nepublikovaná data autora), obdobně jako libinský granit.

Literatura

- Hanžl, P. – Krejčí, Z. – Vít, J. – Otava, J. – Novák, Z. – Stráník, Z. (1999): Geologická mapa Brna a okolí 1 : 50 000. ČGÚ Praha.
- Cháb, J. – Breiter, K. – Fatka, O. – Hladil, J. – Kalvoda, J. – Šimůnek, Z. – Štorch, P. – Vašíček, Z. – Zajíc, J. – Zapletal, J. (2008): Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. – Vydavatelství České geologické služby, Praha.
- Kalvoda, J. – Babek, O. – Fatka, O. – Leichmann, J. – Melichar, R. – Nehyba, S. – Spacek, P. (2008): Brunovistulian terrane (Bohemian Massif, Central Europe) from late Proterozoic to late Paleozoic: a review. – *Int. J. Earth Sci.*, 97, 3, 497–517. Springer-Verlag.
- Manová, M. – Matolín, M. (1995): Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000. ČGÚ Praha.
- Matolín, M. (1970): Radioaktivita hornin Českého masivu. *Knih. Ústř. úst. geol.*, 41. Praha.
- Přichystal, A. – Gnojek, I. – Bednaříková, S. (2002): Výsledky gama-spektrometrického studia krystalinika Hornomoravského úvalu. – *Geol. výzk. Mor. Slez.* v r. 2001, 75–78. Brno.
- Sedláková, I. – Leichmann, J. (2009): Thoriem bohaté granity západní části brněnského masivu. – *Geol. výzk. Mor.Slez.*, XVI, 118–120. Brno.
- Štelcl, J. – Weiss, J. et al. (1986): Brněnský masív. UJEP Brno.
- Zimák, J. – Jůzková V. (2011, v tomto čísle): Přirozená radioaktivita magmatických a metamorfovaných hornin Národního parku Podyjí. – *Geol. výzk. Mor.Slez.*, XVIII, Brno.
- Zimák, J.– Husáková, T. (2005): Přirozená radioaktivita paleozoických a proterozoických hornin severovýchodní části Českého masivu v profilové linii mezi Vidnavou a Ostravou-Porubou. – *Geol. výzk. Mor. Slez.* v r. 2004, 76–80. Brno.