

PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA METAMORFITŮ A MAGMATITŮ NA MAPOVÉM LISTU 14-24 BĚLÁ POD PRADĚDEM

NATURAL RADIOACTIVITY OF METAMORPHIC AND IGNEOUS ROCKS ON THE MAP SHEET 14-24
BĚLÁ POD PRADĚDEM

JIŘÍ ZIMÁK

Abstract

Zimák, J. (2015): Přirozená radioaktivita metamorfitů a magmatitů na mapovém listu 14-24 Bělá pod Pradědem. – Acta Mus. Moraviae, Sci. Geol., 100, 2, 69–79 (with English summary).

Natural radioactivity of metamorphic and igneous rocks on the map sheet 14-24 Bělá pod Pradědem

The paper provides detailed information about natural radioactivity of metamorphic and igneous rocks on the map sheet 14-24 Bělá pod Pradědem in the northeastern part of the Bohemian Massif. Crystalline rocks in the northwestern corner of the map sheet belong to the Lugicum, namely to the Velké Vrbno Group (phyllites, mica schists, amphibolites, metamorphosed acid to intermediate volcanites and pyroclastics, and marbles prevail) and to the Staré Město Group (gneisses and quartzites). The rest of the map sheet (roughly 95 percent of its area) is part of the Silesicum whose geological structure is very complex and still debated. All major lithostratigraphic and tectonic units of the Silesicum outcrop on an area of the map sheet: the Desná Group (mainly paragneisses, phyllonites, metagranitoids, blastomylonites and amphibolites), the Keprník nappe (metagranitoids, orthogneisses, blastomylonites and paragneisses), the Vidly brook Group (metasiltstones and meta-arkoses), the Branná nappe (mica schists, phyllites, marbles, quartzites, metadacites and greenschists prevail) and the Vrbno Group (mainly phyllites, mica schists, quartzites, greenschists, metamorphosed acid to intermediate volcanites a pyroclastics). The Silesicum contains Variscan I-type granitoid bodies which are represented on the map sheet by the Mt. Rudná Intrusion.

Potassium, uranium and thorium contents were measured using a laboratory gamma-ray spectrometer in more than two thousand rock samples. Data are tabled and discussed. It is evident from the calculated values of mass activity of ^{226}Ra equivalent that the natural radioactivity of major rock types is low. Slightly higher values of mass activity were measured in granitoids in the southern part of the Mt. Rudná Intrusion (granites and alkali-feldspar granites with $223 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ in average). High uranium and thorium contents were found in small bodies of granitic pegmatite which are spatially and genetically bound to the Mt. Rudná Intrusion.

Key words: Silesicum, Lugicum, laboratory gamma-spectrometry, natural radioactivity, gamma dose rate.

Jiří Zimák: Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc; e-mail: jiri.zimak@upol.cz

1. ÚVOD

Převážná část z celkové dávky ionizujícího záření, jemuž je naše populace vystavena, má terestrický původ a primárně souvisí s přítomností přirozených primordiálních radionuklidů v horninovém prostředí (viz např. BEAMISH 2014). V předloženém článku jsou sumarizovány údaje o obsazích tří hlavních přirozených radioaktivních prvků (draslík, uran, thorium) v metamorfitech a magmatitech na mapovém listu 14-24 Bělá pod Pradědem, získané na základě laboratorních gamaspektrometrických analýz 2313 horninových vzorků.

Přirozená radioaktivita všech hlavních typů metamorfitů a magmatitů na sledovaném listu je hodnocena na základě vypočtené hmotnostní aktivity ekvivalentu ^{226}Ra , v případě horninových typů, které vystupují na velkých plochách a zásadním způsobem zde ovlivňují tetrastickou složku ionizujícího záření, je uvedena i hodnota dávkového příkonu, odvozená z gamaspektrometricky stanovených obsahů tří výše zmíněných prvků.

2. GEOLOGIE ÚZEMÍ

Severozápadní roh mapového listu 14-24 Bělá pod Pradědem je součástí lugika, zbytek (cca 95 % plochy listu) náleží sileziku. Lugikum je reprezentováno staroměstskou skupinou, zde tvořenou rulami a kvarcity, a zejména skupinou velkovrbenskou, složenou hlavně z metapelitů (fylity, svory, méně ruly), metamorfovaných kyselých, intermediárních a bazických vulkanitů a pyroklastik (amfibolity, metaryolity, světlé metatufy...) a mramorů. Geologická stavba silezika je značně komplikovaná a dosud široce diskutovaná. Autoři mapového listu (OPLETAL *et al.* 1997) respektovali představu o příkrovové stavbě silezika, formulovanou a rozvíjenou zejména pracovníky Ústředního ústavu geologického, později České geologické služby (např. CHÁB *et al.* 1984, 1990). V souladu s příkrovovou koncepcí stavby jesenické oblasti je silezikum na mapovém listu členěno na desenskou skupinu (převažují pararuly, fylonity, metagranitoidy, blastomylonity a amfibolity), příkrov Keprníku (hlavně metagranity, ortoruly, blastomylonity a pararuly), skupinu Videlského potoka (metaprachovce a metaarkózy), příkrov Branné (hlavně svory, fylity, mramory, kvarcity, „metadacity“ a zelené břidlice) a vrbenskou skupinu (převážně fylity, svory, kvarcity, zelené břidlice, metamorfované kyselá a intermediární vulkanity a tufy). Součástí silezika jsou variská granitoidní tělesa, na mapovém listu 14-24 Bělá pod Pradědem reprezentovaná intruzí Rudné hory.

3. VZORKY A METODY

Na mapovém listu 14-24 Bělá pod Pradědem bylo na 1282 lokalitách odebráno 2313 vzorků reprezentujících horninové typy ve všech výše zmíněných litostratigrafických či tektonických jednotkách. Determinace hornin byla prováděna jen makroskopicky, což působilo problémy zejména u metamorfovaných vulkanitů a pyroklastik. Při označování hornin se autor snažil respektovat názvy užívané v legendě mapy (OPLETAL *et al.* 1997) a také v již výše citovaných a dalších pracích autorských kolektivů vedených J. Chábem, v nichž lze najít detailní makroskopickou a mikroskopickou charakteristiku nejrozšířenějších metamorfittů silezika. V případě metamorfittů bylo akceptování termínů použitých v legendě mapy nezbytně nutné, neboť obecně lze horniny této skupiny označovat různými názvy, a to podle zvoleného kritéria. Proto se v následujícím textu objevují například „metadacity“ (položka legendy č. 41), i když se autor domnívá, že složení protolitu těchto hornin často dací neodpovídalo. Autor akceptoval i termín „blastomylonit“, který nevyovídá nic určitého o povaze protolitu a ani o složení horniny se strukturou interpretovanou jako blastomylonitová (v sileziku jde zpravidla o přeměněné granitoidy).

V horninových vzorcích byly na PrF UP v Olomouci za použití spektrometru SG – 1000 LAB s NaI(Tl) detektorem o objemu $0,35 \text{ dm}^3$ (průměr 76 mm, délka 76 mm) stanoveny obsahy draslíku (přímo na základě koncentrace ^{40}K), uranu a thoria (na základě dceřiných produktů, a proto jsou jejich obsahy při uvádění výsledků analýz označovány jako eU a eTh). Meze detekce: K = 0,5 hmot. %, U = 1,5 ppm, Th = 1,5 ppm. Při výpočtu hodnot a_m (viz níže) a při statistickém zpracování dat byly obsahy draslíku pod mezi detekce nahrazeny hodnotou 0,33 hmot. %, obdobně v případě uranu a thoria hodnotou 1 ppm. Před měřením byly horninové vzorky rozdrčeny a uzavřeny do krabiček o objemu 250 ml, v nichž byly následně měřeny. Hmotnost takto připravených vzorků se pohybovala kolem

400 gramů. V případě pegmatitů byly ke gamaspektrometrickým měřením zpravidla použity větší vzorky, a to o hmotnosti až 1200 gramů. I tak nelze jednotlivé vzorky z pegmatitů považovat za dostatečně reprezentativní (vzhledem k jejich zrnitosti), a proto byl z pegmatitového tělesa a jeho konkrétní strukturně-texturní jednotky odebrán a analyzován větší počet vzorků.

Ze stanovených obsahů draslíku, uranu a thoria byla vypočtena hmotnostní aktivita ekvivalentu ^{226}Ra (a_m), umožňující jednoduše a jednoznačně vyjádřit přirozenou radioaktivitu horniny, a kalkulován byl i dávkový příkon záření gama terestrického původu (D), tedy dávkový příkon záření gama pocházejícího z horniny se známými obsahy draslíku, uranu a thoria. Z výsledků gamaspektrometrických analýz byly tyto parametry vypočteny pomocí vztahů $a_m [\text{Bq.kg}^{-1}] = (0,077 \times 313\text{K}) + 12,35\text{U} + (1,43 \times 4,06\text{Th})$, $D [\text{nGy.h}^{-1}] = (0,043 \times 313\text{K}) + (0,427 \times 12,35\text{U}) + (0,662 \times 4,06\text{Th})$, do nichž je obsah K dosazován v hmot. %, obsahy U a Th v ppm (UNSCEAR 1988, MATOLÍN a CHLUPÁČOVÁ 1997, NGACHIN *et al.* 2007).

4. VÝSLEDKY A DISKUZE

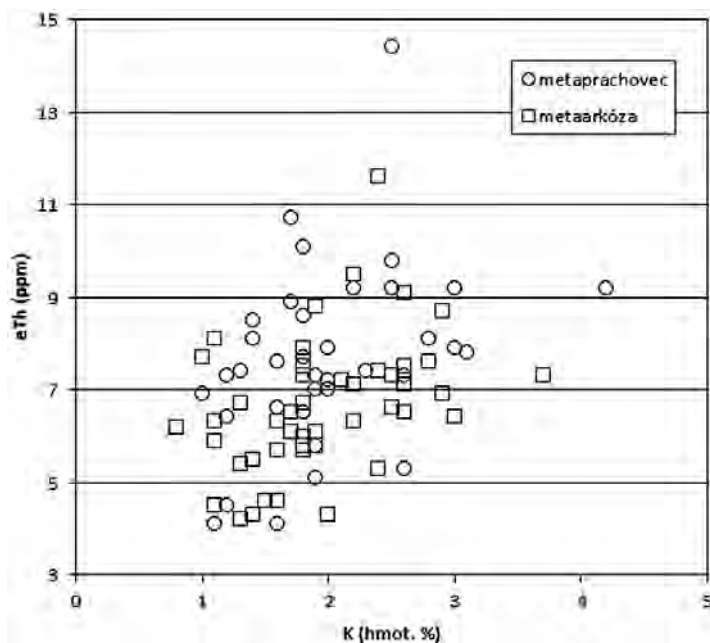
Výsledky všech provedených laboratorních gamaspektrometrických měření jsou shrnuty v tab. 1 až 4. V tab. 5 jsou uvedeny vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity ekvivalentu ^{226}Ra (a_m) horninových typů, vystupujících na relativně velkých plochách, společně s hodnotami dávkového příkonu záření gama terestrického původu (D), spjatého s těmito horninami. Významné či zajímavé poznatky jsou komentovány v následujících odstavcích:

1. Přirozená radioaktivita hornin lugika a silezika na mapovém listu 14-24 Bělá pod Pradědem je poměrně nízká, a to jak v porovnání s jinými oblastmi Českého masivu, tak i s průměrnou přirozenou radioaktivitou zemské kůry – to je zřejmé již z publikace IBRMAJER a SUK *et al.* (1989), v níž jsou však ze zájmového území hodnoceny pouze hlavní typy hornin keprnické a desenské skupiny, nebo z radiometrické mapy ČR a vysvětlivek k ní (MANOVÁ a MATOLÍN 1995). Průměrná hodnota a_m vypočtená pro většinu horninových typů, které se podstatným způsobem podílejí na složení krystalinika na listu 14-24 Bělá pod Pradědem, je nižší než hmotnostní aktivita vypočtená z klarků K, U a Th, tj. cca 180 Bq.kg^{-1} (viz tab. 5). Z podstatně rozšířených hornin vykazují nejvyšší průměrnou hodnotu a_m světlé (kyselé a intermediární) metamafy ve vrbské skupině (185 Bq.kg^{-1}). Mírně zvýšenou přirozenou radioaktivitu mají i některé vzorky metamorfovaných kyselých a intermediárních vulkanitů („metakeratofyrů“) v téže jednotce (až 354 Bq.kg^{-1} v jednotlivém vzorku, průměrná a_m „metakeratofyrů“ je však jen 145 Bq.kg^{-1}). Relativně vysoká přirozená radioaktivita je charakteristická pro granitoidy intruze Rudné hory a také pro pegmatity spjaté s touto intruzí (viz body 5 a 6), jde však o horniny, jejichž rozšíření je vzhledem k celé ploše mapového listu jen zcela nepatrné.
2. Dominantními horninovými typy na území mapového listu 14-24 Bělá pod Pradědem jsou ruly různé povahy, metagranitoidy a blastomylonity, které jsou součástí keprnické a desenské skupiny. Přirozená radioaktivita těchto hornin je nízká. V případě keprnické skupiny nebyly zjištěny žádné významnější rozdíly v obsazích přirozených radioaktivních prvků mezi středně až silně mylonitizovanou biotitickou až dvojslídnu ortorulou až blastomylonitem (v legendě mapy položka č. 51), plástevnatou až masivní biotitickou ortorulou a metagranitem (č. 52) a leukokratiní ortorulou (č. 50), a proto jsou všechny tyto horniny v tab. 5 uvedeny pod položkou „ortorula, blastomylonit“ příkrovu Keprníku. Průměrná hodnota a_m tohoto souboru hornin je jen 108 Bq.kg^{-1} ($D = 55 \text{ nGy.h}^{-1}$). Obdobně nízké hodnoty vykazují s nimi prostorově spjaté perlové ruly a migmatity. Biotitické pararuly, které jsou posledním z významných horninových typů v příkrovu Keprníku, mají podstatně vyšší, ale stále jen nízké hodnoty hmotnostní aktivity – průměrná a_m biotitické pararuly je 147 Bq.kg^{-1} ($D = 73 \text{ nGy.h}^{-1}$).

Tabulka 1. Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, eU, eTh) v horninách staroměstské skupiny a velkovrbenské skupiny; n = počet vzorků, x = průměr.

Table 1. Contents of the natural radioactive element (K, eU, eTh) in rocks of the Staré Město Group and the Velké Vrbno Group; n = number of samples, x = average.

geol. jednotka / hornina	n	K (hmot. %)			eU (ppm)			eTh (ppm)		
		min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
<i>staroměstská skupina</i>										
rula	20	<0,5	3,2	1,4	<1,5	7,0	2,2	1,8	15,8	9,5
kvarcit	6	<0,5	0,6	<0,5	<1,5	4,5	2,4	5,7	31,7	13,7
<i>velkovrbenská skupina</i>										
fylit, svor	17	1,2	4,5	2,3	1,5	4,9	2,9	6,0	21,0	12,1
rula svorového vzhledu	24	1,1	4,8	2,8	<1,5	3,4	2,2	5,6	15,1	10,0
"hustá" rula	2	<0,5	1,0	0,7	<1,5	<1,5	<1,5	4,4	4,7	4,6
feldspatizovaná rula	3	2,7	3,0	2,8	<1,5	<1,5	<1,5	1,6	12,5	8,2
kvarcit	5	<0,5	0,8	0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	6,2	2,8
světlé metavulkanity a tufy	98	<0,5	5,5	1,6	<1,5	6,6	1,5	<1,5	30,5	6,5
amfibolit, amfibolická rula	56	<0,5	1,2	0,5	<1,5	1,9	<1,5	<1,5	5,9	1,6
mramor	4	<0,5	1,6	0,6	<1,5	2,9	1,5	<1,5	7,9	2,7
metadiorit	4	0,9	1,2	1,0	<1,5	<1,5	<1,5	2,0	5,6	3,3



Obr. 1. Korelace draslíků versus thorium v metaparchovcích a metaarkózách skupiny Videlského potoka.

Fig. 1. Potassium versus thorium correlation in metasiltstones and meta-arkoses in the Vidly brook Group.

Tabulka 2. Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, eU, eTh) v horninách desenské skupiny, příkrovu Keprníku a skupiny Videlského potoka; n = počet vzorků, x = průměr, mg = metagranit.

Table 2. Contents of the natural radioactive element (K, eU, eTh) in rocks of the Desná Group, the Keprník nappe, and the Vidly brook Group; n = number of samples, x = average.

geol. jednotka / hornina	n	K (hmot. %)			eU (ppm)			eTh (ppm)		
		min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
<i>desenská skupina, paraautochton v příkrovu Vysoké hole</i>										
perlová a migmatitická rula	24	1,2	3,1	2,0	<1,5	3,2	1,8	2,6	11,8	8,0
fytonitizovaná rula, fylonit	142	0,8	5,7	2,2	<1,5	6,5	2,0	1,8	35,7	8,4
"drobová" rula	89	<0,5	3,4	1,7	<1,5	3,0	1,7	<1,5	20,3	7,4
metagranitoid	95	0,5	3,4	1,6	<1,5	5,2	<1,5	<1,5	16,4	5,1
blastomylonit	138	<0,5	5,1	2,1	<1,5	5,4	1,6	<1,5	14,3	6,2
amfibolit, amfibolická rula	27	<0,5	2,4	<0,5	<1,5	2,7	<1,5	<1,5	20,6	2,3
metaultramafity	7	<0,5	<0,5	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	2,6	<1,5
metaferolit	3	<0,5	0,6	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
<i>příkrov Keprníku</i>										
ortorula, blastomylonit, mg	233	0,5	4,2	2,3	<1,5	4,5	<1,5	<1,5	27,3	6,2
perlová rula, migmatit	48	0,7	4,1	1,9	<1,5	2,0	<1,5	<1,5	37,1	7,5
leukokrání ortorula	15	0,7	3,8	2,0	<1,5	2,3	<1,5	1,6	9,4	5,9
pararula	36	0,8	5,3	2,6	<1,5	4,0	2,2	3,7	13,6	9,9
erlan	16	<0,5	3,7	2,0	<1,5	7,5	2,6	<1,5	21,9	8,4
skarnoid	3	1,3	1,6	1,5	1,6	2,1	1,8	5,7	8,7	7,0
amfibolit	5	<0,5	0,5	<0,5	<1,5	10,3	2,9	<1,5	8,1	2,4
kvarcit, živcový kvarcit	5	0,8	3,3	1,6	<1,5	2,4	1,7	3,3	14,3	6,8
křemen-živcová skalina	15	0,7	3,8	2,0	<1,5	2,3	<1,5	1,6	9,4	5,9
<i>skupina Videlského potoka v paraautochtonu a příkrovu Vysoké hole</i>										
metaprachovec	37	1,0	4,2	2,0	<1,5	3,0	1,6	4,1	14,7	7,6
metaarkóza	47	0,8	3,7	1,9	<1,5	2,6	<1,5	4,2	11,6	6,6

V případě desenské skupiny bylo zjištěno, že přirozená radioaktivita metagranitoidů, blastomylonitů a rul různé povahy (ortoruly, pararuly, fylonitizované ruly, fylonity, migmatitické ruly) není příliš rozdílná, alespoň pokud jde o průměrné hodnoty a_m pro uvedené horninové typy (89 až 127 Bq.kg⁻¹), přičemž nejnižší průměrná a_m byla vypočtena pro metagranitoidy, nejvyšší pro fylonitizované ruly a fylonity (tab. 5). Průměrné obsahy všech tří sledovaných prvků jsou v blastomylonitech nepatrně vyšší než v metagranitoidech (viz data v tab. 2), v tedy i a_m a D blastomylonitů je nepatrně vyšší ve srovnání s metagranitoidy (tab. 5). To platí zřejmě pro celou střední a severní část desenské skupiny, tj. pro úseky ležící severně od klepáčovského zlomu (viz ZIMÁK 2011). Výše uvedený rozdíl mezi blastomylonity a metagranitoidy lze vysvětlit vznikem blastomylonitů nejen přeměnou granitoidů, ale i hornin přítomných v jejich plášti (tuto možnost geneze blastomylonitů desenské skupiny uvádí již CHÁB *et al.* 1984), jejichž protolitem mohly být sedimenty se zvýšenými obsahy všech tří sledovaných prvků.

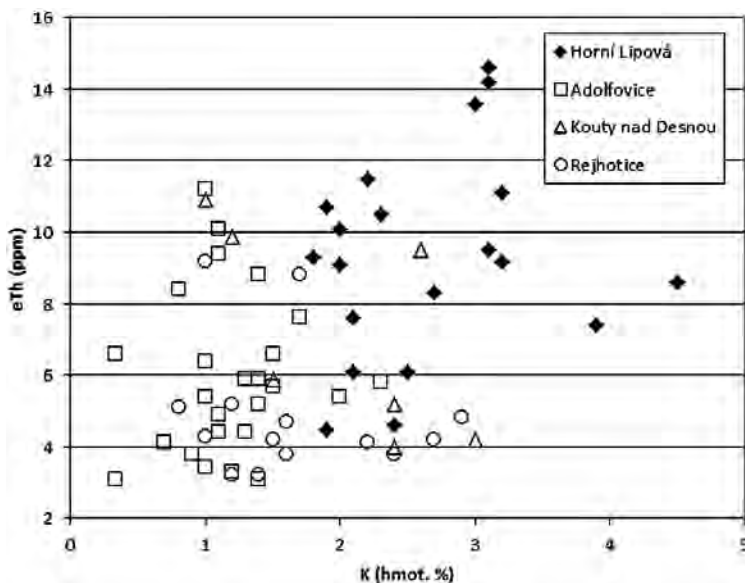
- Do skupiny Videlského potoka definované CHÁBEM *et al.* (1984) jsou začleňovány metaarkózy a metaprachovce, liší se podle citovaných autorů strukturou (blastosami-

Tabulka 3. Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, eU, eTh) v horninách příkrovu Branné a vrbenské skupiny; n = počet vzorků, x = průměr.

Table 3. Contents of the natural radioactive element (K, eU, eTh) in rocks of the Branná nappe and the Vrbno Group; n = number of samples, x = average.

hornina	n	K (hmot. %)			eU (ppm)			eTh (ppm)		
		min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
<i>spodní část příkrovu Branné, metadacity a metagranodiority v pásnu Červenohorského sedla</i>										
fylit, svor	188	0,9	4,3	2,5	<1,5	7,4	2,3	4,2	25,0	11,2
kvarcit	10	<0,5	1,5	0,7	<1,5	1,8	<1,5	<1,5	6,7	3,1
živcový kvarcit	18	1,8	3,5	2,5	2,0	3,8	3,0	8,7	16,1	12,3
mramor	15	<0,5	0,5	<0,5	<1,5	1,8	<1,5	<1,5	5,1	1,5
erlan	3	0,9	1,3	1,1	1,9	3,6	2,5	9,1	9,8	9,5
metadacit	68	<0,5	4,5	1,8	<1,5	3,2	<1,5	3,1	14,6	6,9
metagranodiorit	8	0,9	1,9	1,2	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	5,7	3,9
<i>svrchní část příkrovu Branné</i>										
fylit, svor	25	0,7	3,8	1,8	<1,5	4,7	2,5	5,5	16,2	9,3
kvarcit	3	<0,5	1,0	0,6	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	11,5	6,2
mramor	11	<0,5	<0,5	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
zelená břidlice	12	<0,5	<0,5	<0,5	<1,5	2,3	<1,5	<1,5	6,6	2,2
<i>vrbenská skupina</i>										
fylit	92	1,0	6,3	2,8	<1,5	4,1	2,0	<1,5	20,1	10,2
svor, rula	40	1,4	6,6	2,9	<1,5	3,8	2,4	4,5	17,7	11,2
kvarcit	54	<0,5	1,7	<0,5	<1,5	13,9	1,7	<1,5	21,6	4,1
mramor, erlan	9	<0,5	3,7	1,6	<1,5	3,3	<1,5	<1,5	11,2	4,1
světlý metatuf	10	1,6	4,2	2,9	<1,5	5,7	3,2	<1,5	29,5	13,1
metakeratofyr	35	1,0	11,3	3,2	<1,5	6,8	2,2	1,9	14,1	6,9
zelená břidlice	14	<0,5	1,7	0,7	<1,5	1,8	<1,5	<1,5	5,5	<1,5
amfibolit, amf. rula	61	<0,5	2,8	<0,5	<1,5	6,1	<1,5	<1,5	10,3	<1,5
metadolerit	30	<0,5	1,2	<0,5	<1,5	4,0	<1,5	<1,5	7,3	1,9
biotitická plg rula	34	0,7	7,7	3,5	<1,5	5,0	2,3	<1,5	19,8	9,3
metaferolit	4	<0,5	<0,5	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5

tická versus blastoaleuritická až lepidogranoblastická) – podrobný popis těchto hornin uvádí CHÁB *et al.* (1984) a FEDIUKOVÁ a FIŠERA (1986). V terénu je rozlišení obou typů hornin často problematické, a proto se autor při jejich makroskopickém určování do značné míry řídil geologickou mapou. V některých případech proto mohlo dojít k záměně obou horninových typů. I přesto lze na základě výsledků gamaspektrometrických analýz tvrdit, že pokud jde o obsahy K, U a Th, neexistuje mezi oběma skupinami hornin žádný zásadnější rozdíl (viz data v tab. 2 a též obr. 1). Látkové složení protolitu metaarkóz a metaprachoců skupiny Videlského potoka patrně bylo víceméně shodné, rozdíly mohly být pouze v zrnitosti původního klastického materiálu (za předpokladu, že hodnocení reliktních struktur výše citovanými autory je správné



Obr. 2. Korelace draslíků versus thorium ve světlých metavulkanitech („metadacitech“) v pásmu Červenohorského sedla a ve spodní části příkrovu Branné.

Fig. 2. Potassium versus thorium correlation in felsic metavolcanites (“metadacites“) in the Červenohorské sedlo Zone and in a lower part of the Branná nappe.

a že v případě obou horninových typů nejde o metapsamity, při jejichž formování se různou měrou uplatnila mylonitizace nebo rekrystalizace).

4. Položkou č. 41 v legendě mapového listu 14-24 Bělá pod Pradědem (OPLETAL *et al.* 1997) je biotitický porfyroid (metadacit) v pásmu Červenohorského sedla a ve spodní části příkrovu Branné. Obr. 2 dokumentuje značnou variabilitu obsahů draslíku a také thoria v těchto horninách. Je zřejmé, že existuje rozdíl mezi metadacity v pásmu Červenohorského sedla (převážně jde o výskyty na v. svahu Červené hory, v. a j. svahu Točniku na k. ú. Adolfovice, na z. svahu Suché hory na k. ú. Kouty nad Desnou a na s. a z. svahu Skal na k. ú. Rejhotice) a světlými metavulkanity vystupujícími na k. ú. Horní Lipová (na s. svahu Sněhuláku, j. a v. svahu Mramorového vrchu), kde jde spíše o metatrachyty nebo horniny složením jim velmi blízké.
5. Variské granitoidy jsou na mapovém listu 14-24 Bělá pod Pradědem (OPLETAL *et al.* 1997) zastoupeny intruzí Rudné hory (na kopci Kluč) a granitovou žilou na k. ú. Bukovice u Jesenika. Kromě těchto těles vyjádřených na mapovém listu byly granitoidy zjištěny autorem tohoto článku na k. ú. Adolfovice, konkrétně na agrární haldě cca 450 m ssz. od kóty 655,5 m (Nad Hájenkou). Granitoidy z adolfovického výskytu se nízkými obsahy U a Th (tab. 4) odlišují od typických variských granitoidů silezika (reprezentovaných např. žulovským plutonem) a velmi se podobají metagranodioritům v pásmu Červenohorského sedla (data v tab. 3).

Granitoidní intruze Rudné hory (podle HANŽLA *et al.* 2007 raně variská, 330 Ma) je ve starší literatuře charakterizována jako těleso usměrněné leukokráttní biotitické žuly, místy i ortoruly (např. SVOBODA *et al.* 1964). Z výzkumů provedených v posledních cca 15 letech (VÁVRA 2002, HANŽL *et al.* 2007, NEJESCHLEBOVÁ 2011, NEJESCHLEBOVÁ *et al.* 2012) je zřejmé, že intruze Rudné hory je složena z alkalicko-živcového granitu,

Tabulka 4. Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, eU, eTh) v pegmatitech, aplitech a variských granitoidech; n = počet vzorků, x = průměr.

Table 4. Contents of the natural radioactive element (K, eU, eTh) in pegmatites, aplites and Variscan granitoids; n = number of samples, x = average.

geologická jednotka, lokalita / hornina	n	K (hmot. %)			eU (ppm)			eTh (ppm)		
		min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
<i>granitoidy (G) a pegmatitický granit (PG):</i>										
Kluč / G	17	0,5	3,9	1,4	<1,5	19,4	4,4	2,5	16,9	8,0
Kluč / PG	4	0,7	3,2	2,0	8,4	56,7	37,4	15,7	42,9	29,0
Bukovice u Jeseníka / G	5	2,5	3,6	3,1	1,8	5,2	3,0	13,7	20,3	16,1
Adolfovice / G	2	1,7	2,3	2,0	<1,5	<1,5	<1,5	3,8	4,1	4,0
<i>aplity a aplopegmatity (A), pegmatity (P), metapegmatity (MP), primitivní pegmatity s turmalínem (T):</i>										
velkovrbenská skupina / MP+P	17	1,7	6,9	3,8	<1,5	4,5	1,6	<1,5	22,5	5,8
desenská skupina / MP	25	<0,5	7,6	1,8	<1,5	12,3	2,0	<1,5	9,6	2,6
desenská skupina / T	47	<0,5	7,9	2	<1,5	17,4	2,1	<1,5	27,2	2,1
Domašov u Jes. (V kotli) / T	16	<0,5	2,3	0,8	<1,5	21,4	4,7	<1,5	2,5	<1,5
skupina Videlského potoka / T	26	<0,5	1,8	1,0	<1,5	10,7	1,8	<1,5	2,1	<1,5
keprnická skupina / MP	3	4,5	6,7	5,6	<1,5	<1,5	<1,5	1,6	8,8	4,3
Branná (Dämmbaude) / P	28	1,0	10,8	5,3	<1,5	6,9	2,1	<1,5	7,6	1,8
Bukovice u Jeseníka / P	24	0,8	6,6	3,6	1,6	22,7	5,5	1,9	21,3	8,9
Bukovice u Jeseníka / A	2	3,2	7,2	5,2	<1,5	6,4	3,7	10,7	19,6	15,2
Velké Losiny (Lískovec) / P	25	<0,5	6,7	2,3	<1,5	7,5	2,9	<1,5	14,4	4,8
Kluč - hlavní žíla / P	33	<0,5	8,6	2,5	<1,5	11,1	3,3	<1,5	14,7	4,9
Kluč - ostatní výskyty / P	71	<0,5	8,3	2,5	<1,5	105,5	10,9	<1,5	99,0	14,5

syenogranitu a křemenem bohatého granitoidu. Mezi běžné akcesorie a vedlejší minerály těchto hornin patří biotit (částečně chloritizovaný), muskovit, magnetit, hematit, ilmenit, rutil, pyrit, apatit-(CaF), zirkon, monazit-(Ce) a xenotim-(Y), vzácnými akcesoriemi jsou granát almandin-spessartinové řady, euxenit-(Y), fergusonit-(Y), allanit-(Ce), bastnäsit-(Ce) a cheralit (NEJESCHLEBOVÁ *et al.* 2012). Nutno poznamenat, že petrografické hodnocení intruze VÁVROU (2002) a HANŽLEM *et al.* (2007) je založeno na jednom nebo dvou vzorcích pocházejících z lomu cca 600 m jv. od vrcholu Rudné hory (na listu 14-42 Rýmařov), v němž byl těžen alkalicko-živcový granit, nevyzakující žádné usměrnění, pouze slabé tlakové postižení, projevující se undulózním zřášením křemene. K rozšíření spektra granitoidů na tři výše uvedené typy (NEJESCHLEBOVÁ 2011) došlo díky studiu většího počtu vzorků, odebraných jak v části intruze na listu 14-42 Rýmařov, tak i na listu 14-24 Bělá pod Pradědem, avšak pouze v jeho nejjižnější části (na Kluči). Petrograficky odlišný je severní segment intruze Rudné hory, na listu 14-24 Bělá pod Pradědem zaujímající zhruba obdélníkovou plochu 250 × 500 m se středem cca 1500 m severně od vrcholu Kluče. Granitoid severního segmentu je silně usměrněný, není leukokráttní (v podstatném množství obsahuje biotit, resp. chloritizovaný biotit), při makroskopickém hodnocení jej lze na základě stavby spíše označit za biotitickou ortorulu než za biotitický granit. Vztah mezi severním segmentem a zbývající částí intruze není jasný, navzájem jsou odděleny tektonicky predisponovaným údolím, probíhajícím ve směru SZ-JV. Nabízí se otázka, zda je tě-

leso ortorulové povahy skutečně součástí intruze Rudné hory. Provedený výzkum si ce neumožňuje odpověď, dokládá však zásadní rozdíl v obsazích uranu a thoria v granitoidech ortorulového charakteru a v leukokrátních granitoidech.

Obsahy přirozených radioaktivních prvků v granitoidech Rudné hory na listu 14-24 Bělá pod Pradědem jsou uvedeny v tab. 4 pod položkou „Kluč / G“, zahrnující jak leukokrátní typy z jižní části (8 vzorků), tak horniny ortorulové povahy ze severního segmentu (9 vzorků). Přirozená radioaktivita hornin ortorulového charakteru ze severního segmentu je poměrně nízká vlivem podklarkových obsahů uranu (ve všech vzorcích pod 1,5 ppm) a thoria (2,5 až 4,6 ppm, průměr 3,6 ppm), vypočtená průměrná hodnota a_m je jen 57 Bq.kg⁻¹, průměrná hodnota D je 28 nGy.h⁻¹. Leukokrátní granitoidy vystupující v jižní části intruze na listu 14-24 Bělá pod Pradědem mají vyšší přirozenou radioaktivitu díky vyšším obsahům uranu (2,5 až 19,4 ppm, průměr 8,2 ppm) a thoria (7,6 až 16,9 ppm, průměr 12,9 ppm), vypočtená průměrná hodnota a_m je 223 Bq.kg⁻¹ (max. 407 Bq.kg⁻¹), průměrná hodnota D je 104 nGy.h⁻¹ (max. 189 nGy.h⁻¹). V souboru 46 vzorků leukokrátních granitoidů z celé jižní části intruze Rudné hory (tj. na listech 14-24 Bělá pod Pradědem a 14-42 Rýmařov) byly zjištěny obdobně vysoké obsahy uranu (1,6 až 19,4 ppm, průměr 4,7 ppm) a thoria (7,6 až 26,8 ppm, průměr 15,5 ppm) i vypočtené průměrné hodnoty a_m (208 Bq.kg⁻¹) a D (100 nGy.h⁻¹). V prostoru intruze Rudné hory není žádné osídlení, a tak poměrně vysoká přirozená radioaktivita horninového prostředí na tomto území nepředstavuje žádné riziko.

6. Obsahy uranu a thoria v granitických pegmatitech, metapegmatitech a aplitech silezicka podrobně hodnotí ZIMÁK (2013). Většina údajů sumarizovaných v tab. 4 již byla diskutována v citované práci. Z hlediska přirozené radioaktivity jsou nejzajímavější pegmatity na západním svahu Kluče (na k. ú. Kociánov), odkud byly studovány další vzorky z pegmatitových těles s již dříve zjištěnými vysokými obsahy uranu a thoria, a soubor s označením „Kluč - ostatní výskyty / P“ (v tab. 4) byl tak rozšířen na 71 vzorků.

Vzorek s nejvyšší přirozenou radioaktivitou má charakter hrubozrnného křemenživec-biotitového pegmatitu. V tomto vzorku bylo stanoveno 105,5 ppm eU a 99,0 ppm eTh ($a_m = 1886$ Bq.kg⁻¹, $D = 827$ nGy.h⁻¹). Vysoké koncentrace obou prvků byly zjištěny i v pegmatoidním granitu (tab. 4), obsahujícím v průměru 37,4 ppm eU a 29,0 ppm eTh. Zvýšené obsahy uranu a thoria v pegmatitech a pegmatoidním granitu na Kluči souvisí s přítomností uraninitu, coffinitu, thoritu, xenotimu-(Y), zirkonu, monazitu-(Ce) a blíže neurčeného tantaloniobátu s podstatným obsahem U a Th (VACHOVÁ 2013 a nepublikovaná data autora). Pegmatity na Kluči jsou prostorově a patrně i geneticky spjaty s výše charakterizovanou intruzí Rudné hory. Pegmatoidní granit a pegmatity na západním svahu Kluče jsou horninami s nejvyšší přirozenou radioaktivitou na mapovém listu 14-24 Bělá pod Pradědem.

5. ZÁVĚR

Přirozená radioaktivita krystalinika na mapovém listu 14-24 Bělá pod Pradědem je relativně nízká. Průměrná hmotnostní aktivita ekvivalentu ²²⁶Ra jednotlivých horninových typů, které zde vystupují na větších plochách a určují tak pole přirozené radioaktivity, až na jedinou výjimku nedosahuje hodnoty vypočtené pro průměrnou zemskou kůru (kolem 180 Bq.kg⁻¹). Touto výjimkou jsou světlé (kyselé a intermediární) metatufy ve vrbenské skupině (v průměru 185 Bq.kg⁻¹). Mírně zvýšenou přirozenou radioaktivitu mají i některé vzorky metamorfovaných kyselých a intermediární vulkanitů („keratofyrů“) v téže jednotce (až 354 Bq.kg⁻¹ v jednotlivém vzorku, průměrná hmotnostní aktivita keratofyrů je však jen 145 Bq.kg⁻¹). Z hlediska přirozené radioaktivity je zajímavá na jen malé ploše vystupující granitoidní intruze Rudné hory. Usměrněné granitoidy (či spíše ortoruly) v jejím severním

Tabulka 5. Vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity ekvivalentu ^{226}Ra (a_m) a dávkového příkonu záření gama (D); x = průměr.

Table 5. Calculated values of mass activity of ^{226}Ra equivalent (a_m) and gamma radiation dose rate (D); x = average.

hornina	a_m (Bq.kg ⁻¹)			D (nGy.h ⁻¹)		
	min.	max.	x	min.	max.	x
<i>velkovrbenská skupina</i>						
fylit, svor	94	254	162	46	126	79
rula svorového vzhledu	88	222	152	43	111	76
světlé metavulkanity a tufy	26	319	96	12	155	48
amfibolit, amfibolická rula	26	76	34	12	36	17
<i>desenská skupina</i>						
perlová a migmatitická rula	56	166	118	28	81	58
fytonitizovaná rula, fylonit	50	372	127	25	177	63
"drobová" rula	35	177	104	17	85	51
metagranitoid	30	165	89	15	81	45
blastomylonit	26	214	105	12	108	53
amfibolit, amfibolická rula	26	167	39	12	78	19
<i>příkrov Keprníku</i>						
ortorula, blastomylonit	30	266	108	15	130	55
perlová rula, migmatit	40	270	103	20	128	52
pararula	53	248	147	26	124	73
<i>skupina Videlského potoka</i>						
metaprachovec	63	182	112	31	93	56
metaarkóza	68	155	103	33	79	52
<i>příkrov Branné (svrchní + spodní část)</i>						
fylit, svor	73	268	151	36	131	75
metadacit	48	188	102	22	96	51
<i>vrbenská skupina</i>						
fylit, svor, rula	48	308	156	24	156	78
kvarcit	26	247	56	12	112	26
světlý metatuf	105	283	185	54	136	91
metakeratofyr	60	354	145	30	188	73
amfibolit, amfibolická rula	26	94	34	12	49	16
biotitická plg rula	83	271	168	43	136	85

segmentu mají relativně nízkou přirozenou radioaktivitu vlivem nízkých (výrazně podklar-
kových) obsahů uranu a thoria. Jižní část intruze Rudné hory tvořená leukokrátními sye-
nogramity a alkalicko-živcovými granity (na listu 14-24 Bělá pod Pradědem a shodně též na
sousedním listu 14-42 Rýmařov) však vykazuje zvýšenou přirozenou radioaktivitu díky zvý-
šeným obsahům uranu (v průměru 8,2 ppm) a thoria (v průměru 12,9 ppm): hmotnostní

aktivita těchto hornin je v průměru $223 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, maximální hodnota dosahuje $407 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, průměrná hodnota dávkového příkonu záření gama pocházejícího z granitoidů jižní části intruze (na listu 14-24 Bělá pod Pradědem) je $104 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1}$. Zvýšené obsahy uranu a thoria byly zjištěny i v granitických pegmatitech prostorově a geneticky spjatých s intruzí Rudné hory, vystupujících na kopci Kluč (na k. ú. Kociánov). V prostoru intruze Rudné hory a výskytu pegmatitů se zvýšenými obsahy uranu a thoria není žádné osídlení, a zvýšená přírodní radioaktivita na této relativně malé ploše tedy není spojena s žádným rizikem.

LITERATURA

- BEAMISH, D. (2014): Environmental radioactivity in the UK: the airborne geophysical view of dose rate estimates. – *Journal of Environmental Radioactivity*, 138, 249–263.
- FEDIUKOVÁ, E., FIŠERA, M. (1986): Metasedimenty skupiny Videlského potoka, východní část Hrubého Jeseníku. – *Časopis pro mineralogii a geologii*, 31, 361–370.
- HANŽL, P., JANOUŠEK, V., ŽÁČEK, V., WILIMSKÝ, D., AICHLER, J., ERBAN, V., PUDILOVÁ, M., CHLUPÁČOVÁ, M., BURIÁNKOVÁ, K., MIXA, P., PECINA, V. (2007): Magmatic history of granite-derived mylonites from the southern Desná Unit (Silesicum, Czech Republic). – *Mineralogy and Petrology*, 89, 45–75.
- CHÁB, J., FIŠERA, M., FEDIUKOVÁ, E., NOVOTNÝ, P., OPLETAL, M., SKÁCELOVÁ, D. (1984): Problémy tektonického a metamorfního vývoje východní části Hrubého Jeseníku. – *Sborník geologických věd, řada G*, 39, 27–72.
- CHÁB, J., FEDIUKOVÁ, E., FIŠERA, M., NOVOTNÝ, P., OPLETAL, M. (1990): Variská orogeneze v sílešiku. – *Sborník geologických věd, řada LGM*, 29, 9–39.
- IBRMAJER, J., SUK, M. *et al.* (1989): Geofyzikální obraz ČSSR. Ústřední ústav geologický, Praha.
- MANOVÁ, M., MATOLÍN, M. (1995): Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000. Český geologický ústav, Praha.
- MATOLÍN, M., CHLUPÁČOVÁ, M. (1997): Radioaktivní vlastnosti hornin. In: Kobr, M. *et al.*: Petrofyzika, 109–126. Vydavatelství Karolinum, Praha.
- NEJESCHLEBOVÁ, L. (2011): Mineralogická charakteristika granitoidů Rudné hory u Vernířovic v Hrubém Jeseníku. MS. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého. Olomouc. 36 s.
- NEJESCHLEBOVÁ, L., ZIMÁK, J., RENÉ, M. (2012): Granitoidy intruze Rudné hory v Hrubém Jeseníku a jejich akcesorie. – *Zprávy Vlastivědného muzea v Olomouci*, No. 303, 113–117.
- NGACHIN, M., GARAVAGLIA, M., GIOVANI, C., KWATO NJOCK, M. G., NOURREDDINE, A. (2007): Assessment of natural radioactivity and associated radiation hazards in some Cameroonian building materials. – *Radiation Measurements*, 42, 61–67.
- OPLETAL, M. *et al.* (1997): Geologická mapa ČR 1 : 50 000. List 14-24 Bělá pod Pradědem. Český geologický ústav, Praha.
- SVOBODA, J. *et al.* (1964): Regionální geologie ČSSR. Díl I. Český masív. Sv. 1. Krystalinikum. Nakladatelství ČSAV, Praha.
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1988): Exposures from natural sources of radiation. Report to the General Assembly. U. N., New York, USA.
- VACHOVÁ, S. (2013): Mineralogie pegmatitů na Kluči u Filipově v Hrubém Jeseníku. MS. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého. Olomouc. 52 s.
- VÁVRA, V. (2002): Lokalita č. 11: Vernířovice – Rudná hora. Mineralogie granitoidů Rudné hory. In: Zimák, J., Novotný, P., Fojt, B., Novák, M., Vávra, V., Kopa, D., Losos, Z., Prinžová, E., Skácel, J.: Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách na Sobotínsku, s. 41–45. Vydavatelství UP, Olomouc.
- ZIMÁK, J. (2011): Přírozená radioaktivita granitoidů a metagranitoidů brunovistulického teránu na území České republiky. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 18, 201–204. Brno.
- ZIMÁK, J. (2013): Uran a thorium v granitických pegmatitech a aplitech sílešika. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 20, 162–166. Brno.