

PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA METAMORFITŮ, MAGMATITŮ A PŘEDKENOZOICKÝCH SEDIMENTŮ NA MAPOVÉM LISTU 14-42 RÝMAŘOV

NATURAL RADIOACTIVITY OF METAMORPHIC AND IGNEOUS ROCKS AND PRE-CENOZOIC
SEDIMENTARY ROCKS ON THE MAP SHEET 14-42 RÝMAŘOV

JIRÍ ZIMÁK

Abstract

Zimák, J. (2016): Přírozená radioaktivita metamorfitů, magmatitů a předkenozoických sedimentů na mapovém listu 14-42 Rýmařov. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 101, 1-2, 87-97 (with English summary).

Natural radioactivity of metamorphic and igneous rocks and pre-Cenozoic sedimentary rocks on the map sheet 14-42 Rýmařov

The aim of the paper is to inform about natural radioactivity of metamorphic and igneous rocks and pre-Cenozoic sedimentary rocks on the map sheet 14-42 Rýmařov in the northeastern part of the Bohemian Massif. Crystalline rocks belong to Silesicum, namely to the Keprník Group (orthogneisses and blastomylonites prevail), the Desná Group (mainly paragneisses, metagranitoids, orthogneisses, blastomylonites, phyllonites and amphibolites) and the Vrbno Group (phyllites, quartzites, metakeratophyres, felsic metatuffs, greenschists and metadolerites). Metapegmatites and Variscan granitic pegmatites are abundant in Silesicum. Variscan I-type granitoid bodies are represented by the Mt. Rudná Intrusion. Variscan flyschoid siliciclastics (anchimetamorphosed greywackes, sandstones, siltstones and shales) belong to the Andělská Hora Formation. Contents of potassium, uranium and thorium were measured using a laboratory gamma-ray spectrometer in 2163 rock samples. Data are tabled and discussed. Most rocks outcropping on the map sheet show low values of mass activity of ^{226}Ra equivalent, lower than that for average Earth crust (about 180 Bq.kg⁻¹). Increased values of mass activity were found in three types of rocks: metakeratophyres of the Vrbno Group (214 Bq.kg⁻¹ on average), felsic metatuffs of the Vrbno Group (191 Bq.kg⁻¹) and granitoids of the Mt. Rudná Intrusion (207 Bq.kg⁻¹).

Key words: Keprník Group, Desná Group, Vrbno Group, Andělská Hora Formation, gamma-spectrometry, natural radioactivity.

Jiří Zimák – Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University, 17. Listopadu 12, 77146 Olomouc, Czech Republic, e-mail: zimak@prfnw.upol.cz

1. ÚVOD

Radioaktivita je jednou ze základních fyzikálních vlastností přírodního prostředí. Tento článek hodnotí přirozenou radioaktivitu metamorfitů, magmatitů a paleozoických sedimentů na mapovém listu 14-42 Rýmařov. Vychází z obsahů hlavních přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) stanovených laboratorní gamaspektrometrií v horninových vzorcích ze všech prekambriických a paleozoických jednotek a jejich částí.

V severozápadním cípu mapového listu 14-42 Rýmařov (Opletal *et al.* 1996) vystupují horniny keprnické skupiny (dominují ortoruly a blastomylonity). Převážná část plochy listu je budována horninami desenské skupiny (hlavně metagranitoidy, ortoruly, blastomy-

lonity, pararuly, fylonity a amfibolity) a vrbenské skupiny (světlé a též bazické metavulkanity a metatufy, fylity a kvarcify). Při východním okraji listu vystupuje andělskohorské souvrství tvořené anchimetamorfovanými flyšovými sedimenty (droby, pískovce, siltovce, siltové a jílové břidlice). Plošně málo významná je granitoidní intruze Rudné hory, s níž jsou přinejmenším prostorově spjaty četné výskyty pegmatitů.

2. VZORKY A METODY

Na listu 14-42 Rýmařov bylo na 1090 lokalitách odebráno 2163 vzorků reprezentujících jak dominantní horninové typy ve všech výše zmíněných geologických jednotkách a jejich částech, tak i horniny, které jsou na ploše listu zastoupeny jen zcela lokálně. Determinace hornin byla prováděna jen makroskopicky. Proto jsou v textu a tabulkách uváděny skupinové názvy hornin jako granitoid, metagranitoid a blastomylonit, přičemž v případě posledního byla respektována terminologie užitá v legendě mapy (OPLETAL *et al.* 1996) a autor této zprávy problém blastomylonitů v sileziku neřeší (poznámky k této problematice uvádí např. KOVERDYNSKÝ 1993). V případě vrbenské skupiny je užíván termín metakeratofyr pro označení slabě metamorfovaných kyselých nebo intermediárních paleovulkanitů původním složením odpovídajících ryolitům, alkalicko-živcovým ryolitům, trachytům, alkalicko-živcovým trachytům, příp. dacitům (např. PŘICHYSTAL 1993, PATOČKA a VALENTA 1996). Jím odpovídající přeměněná pyroklastika jsou označována jako světlé metatufy. Nutno poznamenat, že ne vždy lze makroskopicky odlišit metakeratofyr od metatufu (zbrídlíčnatělé, hydrotermálně alterované metakeratofyry se světlým metatufům velmi podobají). Obdobné problémy jsou i s metabaziky: metamorfované dolerity jsou označeny jako metadolerity, pokud je jejich charakteristická stavba makroskopicky ještě patrná, nebo jsou zařazeny mezi zelené břidlice společně s metamorfovanými bazickými vulkanity a pyroklastiky.

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), uranu a thoria (u obou prvků nepřímo na základě koncentrací 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 K pod mezí detekce nahrazeny hodnotou 0,33 hmot. %, obdobně v případě eU a eTh hodnotou 1 ppm.

Přirozená radioaktivita hornin je hodnocena na základě hmotnostní aktivity ekvivalentu ²²⁶Ra (a_m) a též dávkového příkonu záření gama terestrického původu (D). Z výsledků gamaspektrometrických analýz byly tyto parametry vypočteny pomocí vztahů a_m [Bq.kg⁻¹] = (0,077×313K) + 12,35U + (1,43×4,06Th), D [nGy.h⁻¹] = (0,043×313K) + (0,427×12,35U) + (0,662×4,06Th), do nichž je obsah K dosazován v hmot. %, obsahy U a Th v ppm (UNSCEAR 1988, MATOLÍN - CHLUPÁČOVÁ 1997, NGACHIN *et al.* 2007).

Před gamaspektrometrickým měřením byly horninové vzorky rozdrceny a uzavřeny do krabiček o objemu 250 ml. Hmotnost takto připravených vzorků se pohybovala kolem 400 gramů. V případě pegmatitů byly vzhledem k jejich zrnitosti použity nedrcené vzorky o hmotnosti cca 800 až 1000 gramů. Tyto vzorky tedy neměly ideální geometrii, a výsledky gamaspektrometrických analýz proto mohou být zatíženy určitou chybou, která však není zásadně významná (získaná data jsou reprezentativnější než ta, která by byla získána měřením nehomogenizovaných vzorků podstatně menších hmotností, byť s lepší geometrii).

Zrnitost a zonální stavba pegmatitových těles byla důvodem, proč na jednotlivých lokalitách byl odebirán zpravidla větší počet vzorků. Výsledky analýz vzorků pegmatitů z významnějších lokalit jsou v tab. 3 uvedeny jednotlivě po lokalitách nebo i jednotlivých žilách. Některé z nich patří mezi klasické mineralogické lokality (Scheibengraben a Schinderhübel na k. ú. Maršíkov, Bienergraben na k. ú. Sobotín - viz např. NOVÁK 2005), po-

drobně byl studován pegmatit na Lysé hoře na k. ú. Maršíkov (CHLÁDEK 2011). Zbývajících pět lokalit, které nejsou příliš známy, je stručně zhodnoceno v následujících odstavcích:

Strážník (470,1 m) a Bukový kopec (640,7 m) jsou dvě elevace na území budovaném ortorulami a blastomylonity keprnické skupiny. V případě lokality Strážník jde o výchozy a bloky pegmatitu při vrcholu kopce Strážník (na k. ú. Velké Losiny) a na jeho jz. svahu (částečně na k. ú. Rapotín). Výchozy a bloky pegmatitu jsou na relativně velké ploše na Bukovém kopci (k. ú. Rapotín), a to zejména na jeho j. a v. svazích a též na úpatí (v tab. 3 „Bukový kopec – jih+východ“), méně na s. svahu („Bukový kopec – sever“). Pegmatity na Strážníku a Bukovém kopci jsou tvořeny dominantně středně zrnitou až hrubozrnnou jednotkou složenou z křemene, živce, muskovitu a biotitu, někdy je přítomen černý turmalín, lokálně je vyvinuta bloková jednotka (mohutná v okolí kóty Strážník), některé partie pegmatitových těles mají charakter aplopegmatitu nebo aplitu (v uvedeném prostoru se vyskytují i samostatné aplitové a aplopegmatitové žíly).

Lokalita Sviní vrch (k. ú. Rudoltice u Sobotína) je situována mezi Sviním a Sklenným vrchem (v obou případech nejde o kóty, ale o části svahů pod kótami Kamenný vrch a Skály), výchozy pegmatitu a pegmatitové fragmenty v deluviu jsou cca 1.200 m zsz. od kóty Skály (929,1 m). Pegmatitové žíly probíhají při kontaktu amfibolitů s pararulami desenské skupiny. O lokalitě se stručně zmiňuje SKÁCEL (1954); dvě pegmatitové žíly jako zdroj albitu pro keramický a sklářský průmysl stručně hodnotí FRANČE (1975).

Jako lokalita Závora – Závada (k. ú. Rudoltice u Sobotína) je označen výskyt pegmatitových bloků v prostoru mezi kótami Závora (899 m) a Závada (870,6 m). Na tomto území, v němž vystupují pararuly desenské skupiny (místy fylonitizované), jde patrně o větší počet pegmatitových žil. Charakterem odpovídají primitivním muskovitickým pegmatitům s turmalínem (ve smyslu NOVÁKA 2005).

3. VÝSLEDKY A DISKUZE

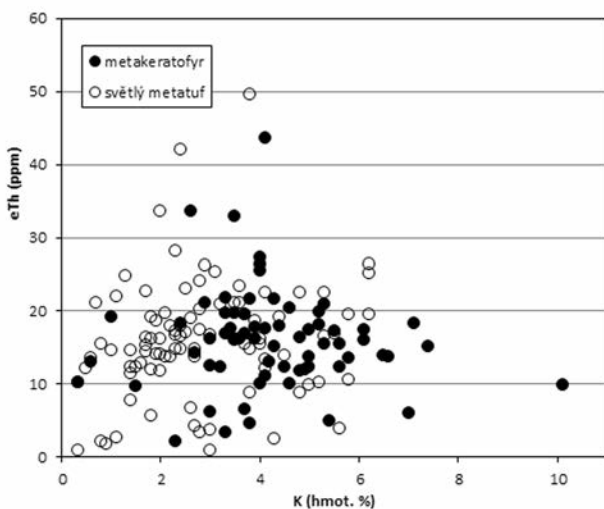
Výsledky všech provedených laboratorních gamaspektrometrických měření jsou shrnuty v tab. 1 až 3. Vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity ekvivalentu ^{226}Ra (a_m) pro hlavní horninové typy obsahuje tab. 4. V ní uvedené horniny zásadním způsobem ovlivňují pole přirozené radioaktivity na hodnoceném mapovém listu. Proto byly do tab. 4 zařazeny i vypočtené hodnoty dávkového příkonu záření gama terestrického původu (D), tedy záření, jehož zdrojem by studované horniny byly, pokud by na dostatečně velké ploše vystupovaly přímo na zemský povrch. Na konkrétním místě v terénu mohou být hodnoty D ovlivněny půdním pokryvem a dalšími faktory (viz např. ZIMÁK 2015a).

Významné či zajímavé poznatky plynoucí z výsledků gamaspektrometrických měření jsou komentovány v následujících odstavcích:

1. Průměrná a_m většiny typů metamorfitů, magmatitů a předkenozoických sedimentů na mapovém listu 14-42 Rýmařov je nižší než a_m vypočtená pro průměrnou zemskou kůru (cca 180 Bq.kg^{-1}). Sledujeme-li pouze průměrné hodnoty a_m pro jednotlivé horninové typy (tab. 4), lze konstatovat, že výše uvedenou hodnotu překračují jen tři typy hornin: metakeratofyry a světlé metatufy vrbenské skupiny a granitoidy intruze Rudné hory.

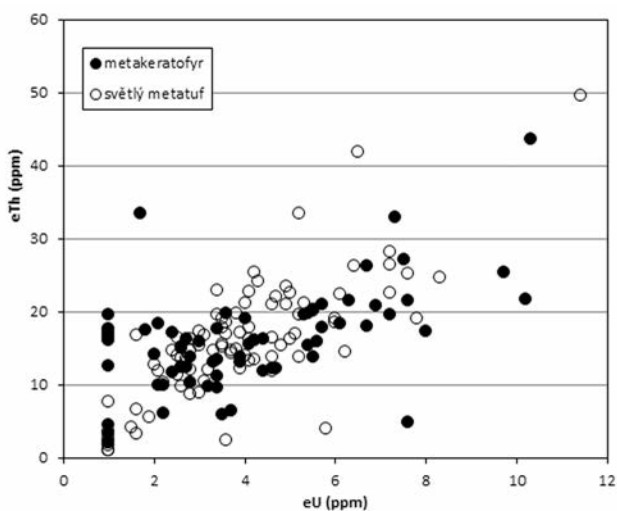
2. Metakeratofyry a světlé metatufy vrbenské skupiny často vykazují relativně vysoké hodnoty a_m díky zvýšeným (nadklarkovým) obsahům K, U a Th. Pro keratofyry byla vypočtena a_m v průměru 214 Bq.kg^{-1} (vzorek s maximální hodnotou a_m vykazuje 480 Bq.kg^{-1}), světlé metatufy mají a_m v průměru 191 Bq.kg^{-1} (max. 565 Bq.kg^{-1}). Značná variabilita v obsahích všech tří gamaspektrometricky sledovaných prvků v metakeratofyrech a je provázejících světlých metatufech může být sice zčásti primárním znakem protolitu, ale patrně zásadním způsobem souvisí s metamorfním přepracováním a v některých úsecích se silnou hydrotermální alterací, projevující se např. silicifikací, karbonatizací, albitizací a také K-metasomatózou. Největší plošně rozšíření metakeratofyrů a světlých metatufů vrbenské skupiny na listu 14-42 Rýmařov je v prostoru hornoměstského a oskavského vulkanického kom-

plexu a v relativně úzkém pruhu probíhající mezi Janušovem a Malou Morávkou. Obsahy K, U a Th v horninách těchto tří úseků jsou uvedeny v tab. 5. Z dat v tab. 5 jsou zřejmé jen malé rozdíly mezi těmito úseky (např. nižší obsah K v horninách pruhu Janušov – Malá Morávka ve srovnání s oběma vulkanickými komplexy v jižní části vrbenké skupiny). Bez detailního petrografického a geochemického studia hornin však tyto rozdíly nelze interpretovat. V každém z úseků jsou obsahy K, U a Th v horninách velmi proměnlivé. Široké intervaly obsahů těchto tří prvků jsou zřejmé z tab. 5, v případě hornoměstského vulkanického komplexu i z obr. 1 a 2. Obr. 1 ukazuje, že v hornoměstském komplexu jsou obsahy K vyšší v metakeratofyrech než ve světlých metatufech. To platí i pro oba další úseky vrbenké skupiny na hodnoceném listu (viz data v tab. 5) a také pro oblast zlatohorského rudního revíru v severní části vrbenké skupiny (ZIMÁK 2015b a dosud nepublikovaná data autora).



Obr. 1. Korelace draslíků versus thorium v metakeratofyrech a světlých metatufech hornoměstského vulkanického komplexu.

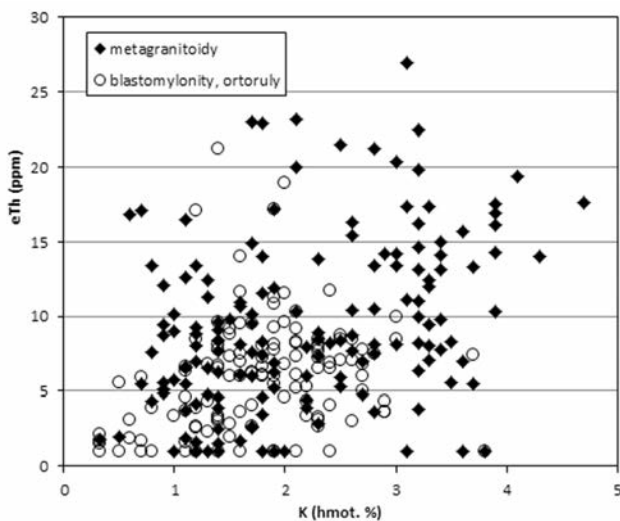
Fig. 1. Potassium versus thorium correlation in metakeratophyres and felsic metatuffs of the Horní Město Volcanic Complex.



Obr. 2. Korelace uranu versus thorium v metakeratofyrech a světlých metatufech hornoměstského vulkanického komplexu.

Fig. 2. Uranium versus thorium correlation in metakeratophyres and felsic metatuffs of the Horní Město Volcanic Complex.

3. V rámci desenské skupiny (tab. 1 a 4) vykazují nejvyšší přirozenou radioaktivitu metagranitoidy (a_m v průměru 126 Bq.kg^{-1} , max. 259 Bq.kg^{-1}). Je provázající a z nich patrně i vytvořené ortoruly a blastomylonity mají přirozenou radioaktivitu ještě o něco nižší (a_m v průměru 94 Bq.kg^{-1} , max. 205 Bq.kg^{-1}), což je způsobeno nižšími obsahy všech tří sledovaných prvků (tab. 1). Z obr. 3 je zřejmá vysoká variabilita obsahů draslíku a thoria v obou skupinách hornin i výše zmíněný rozdíl mezi nimi. Nutno poznamenat, že vyšší přirozená radioaktivita metagranitoidů ve srovnání s ortorulami a blastomylonity je charakteristická jen pro jižní část desenské skupiny a že v její střední a severní části (severně od klepáčovského zlomu) mají metagranitoidy nižší a_m než ortoruly a blastomylonity (to uvádí již ZIMÁK 2011, 2015b).

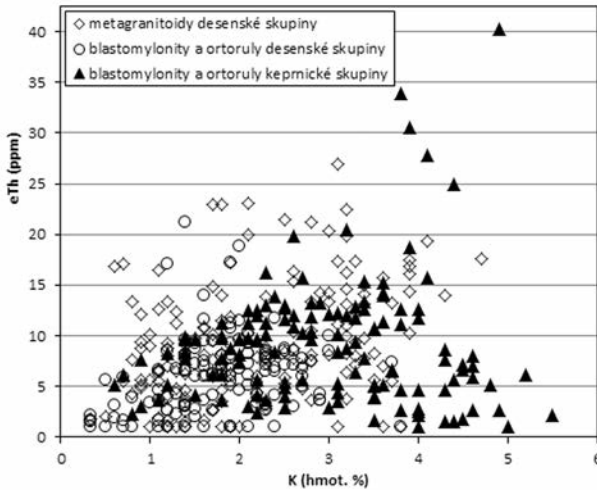


Obr. 3. Korelace draslík versus thorium v metagranitoidech, blastomylonitech a ortorulách desenské skupiny.

Fig. 3. Potassium versus thorium correlation in metagranitoids, blastomylonites and orthogneisses of the Desná Group.

4. V keprnické skupině na hodnoceném listu výrazně dominují ortoruly a blastomylonity, vykazující poměrně široké intervaly obsahů K, U a Th - viz tab. 1 a též obr. 4, umožňující srovnání mezi keprnickou a desenskou skupinou. Přirozená radioaktivita ortorul a blastomylonitů keprnické skupiny (průměrná a_m 148 Bq.kg^{-1} , max. 401 Bq.kg^{-1}) je ve srovnání s obdobnými horninami desenské skupiny o něco vyšší (tab. 4). I přesto lze konstatovat, že pokud jde o obsahy K, U a Th neexistuje žádný zásadní rozdíl mezi metamorfovanými granitoidními horninami obou geologických jednotek (to ukazuje i obr. 4). Součástí keprnické skupiny na hodnoceném listu jsou i metavulkanity nebo metatufy, zastoupené amfibolity a patrně i světlými ortorulami (metaryolity?, metadacity?), přičemž i tyto ortoruly jsou v tab. 1 začleněny do položky „ortorula, blastomylonit“. Na jz. svahu kóty 550 m (Hrbek) na k. ú. Velké Losiny byl v podobě jediného fragmentu zjištěn meta-keratofyr (tab. 1), vykazující v rámci souboru vzorků z keprnické skupiny poměrně vysokou přirozenou radioaktivitu ($a_m = 318 \text{ Bq.kg}^{-1}$).

5. Kromě keratofyrů a světlých metatufů vrbené skupiny představuje v poli přirozené radioaktivity silezika výraznou pozitivní anomálii granitoidní intruze Rudné hory (raně variská, 330 Ma podle HANŽLA *et al.* 2007), složená z alkalicko-živcového granitu (syenogranitu) a křemenem bohatého granitoidu (NEJESCHLEBOVÁ *et al.* 2012). Tato intruze vystupuje na velmi malém území na severním okraji listu 14-42 Rýmařov, její větší část je na listu 14-24 Bělá pod Pradědem. Na zvýšenou přirozenou radioaktivitu této intruze



Obr. 4. Korelace draslíků versus thorium v metagranitoidech, blastomylonitech a ortorulách desenské a keprnické skupiny.

Fig. 4. Potassium versus thorium correlation in metagranitoids, blastomylonites and orthogneisses of the Desná and Keprník Groups.

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

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

jednotka / hornina	n	K (hmot. %)			eU (ppm)			eTh (ppm)		
		min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
<i>keprnická skupina</i>										
ortorula, blastomylonit	132	0,6	5,5	3,0	<1,5	10,4	1,8	<1,5	40,2	9,1
pararula	3	1,3	2,4	2,0	2,3	2,9	2,5	5,2	12,1	9,4
kvarcit	3	<0,5	<0,5	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	3,4	2,0
amfibolit, amf. rula	9	<0,5	3,2	1,1	<1,5	2,6	<1,5	<1,5	3,8	1,7
erlan	4	<0,5	<0,5	<0,5	2,4	4,6	3,3	6,7	32,0	19,4
metakeratofyr	1	2,4	2,4	2,4	4,3	4,3	4,3	35,6	35,6	35,6
<i>desenská skupina</i>										
metagranitoid	155	<0,5	4,7	2,2	<1,5	4,1	1,5	<1,5	26,9	9,4
ortorula, blastomylonit	122	<0,5	3,8	1,8	<1,5	4,8	<1,5	<1,5	21,2	6,1
pararula, migmatit	94	<0,5	3,7	1,7	<1,5	5,3	1,6	<1,5	39,0	7,9
fylonitizovaná rula	12	1,3	3,1	2,0	<1,5	2,3	<1,5	4,0	10,0	7,5
fylonit	52	<0,5	5,1	2,1	<1,5	2,9	<1,5	<1,5	11,6	6,7
fylit	6	0,7	6,3	2,3	<1,5	2,9	1,8	<1,5	17,8	7,4
amfibolit, gabroamfibolit	112	<0,5	1,2	<0,5	<1,5	2,8	<1,5	<1,5	10,5	1,5
amf. rula, amf.-bi. rula	29	<0,5	2,3	0,7	<1,5	1,5	<1,5	<1,5	5,5	2,6
zelená břidlice	7	<0,5	<0,5	<0,5	<1,5	3,7	<1,5	<1,5	12,2	2,7
chloritická, aktinolitická bř.	21	<0,5	<0,5	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	17,2	1,8
serpentinit	5	<0,5	<0,5	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
mastková bř., krupník	7	<0,5	<0,5	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
mramor	2	<0,5	<0,5	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
metaferolit	17	<0,5	0,7	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	7,0	2,7
metamanganolit	11	<0,5	<0,5	<0,5	<1,5	2,9	<1,5	3,8	17,1	9,5

upozorňuje již ZIMÁK (2015c), v citované práci je uveden i výčet akcesorických minerálů, na něž jsou uran a thorium vázány. Data v tab. 3 jsou založena na analýzách vzorků granitoidů intruze Rudné hory získaných jen na území listu 14-42 Rýmařov. Z tab. 3 je zřejmá vysoká variabilita obsahů všech tří sledovaných prvků a jejich relativně vysoké průměrné hodnoty, jimž odpovídá průměrná a_m 207 Bq.kg⁻¹ (tab. 4).

6. V případě pegmatitů lze zpravidla konstatovat vysokou variabilitu obsahů všech tří sledovaných prvků i ve vzorcích z jednoho tělesa, což souvisí nejen s rozdílným nerostným složením jednotlivých jednotek, s velmi nepravidelnou distribucí nositelů uranu a thoria, ale i s nedostatečně velkou hmotností analyzovaných vzorků (vzhledem k zrnitosti by reprezentativní vzorky musely mít hmotnost v řádu desítek kg). Při vzájemném srovnávání pegmatitů lze proto operovat jen s průměrnými obsahy sledovaných prvků. Z dat v tab. 3 je zřejmé, že velmi nízké obsahy K, U a Th vykazují primitivní muskovitické pegmatity s turmalínem (lokalita Závora - Závada), metapegmatity desenské skupiny (vystupující v podobě žil decimetrových mocností v granitoidech a blastomylonitech například na svazích Břidličné hory na k. ú. Vernířovice u Sobotína) a také pegmatity na lokalitě Sviní vrch. Obsahy všech tří sledovaných prvků v beryl-columbitových pegmatitech pronikajících amfibolity desenské skupiny (lokality Scheibengraben, Schinderhübel, Bienergraben a Lysá hora) jsou výrazně vyšší (tab. 3). Již ZIMÁK (2013) upozorňuje na rozdílné obsahy U a Th v souborech vzorků ze tří pegmatitových žil na lokalitě Schinderhübel (označení žil v tab. 3 je podle ČERNÉHO *et al.* 1992 a NOVÁKA 2002). Společným znakem vzorků s relativně vysokými obsahy U a Th z lokality Schinderhübel je hojná přítomnost cukrového albitu. I v rámci pegmatitového tělesa na lokalitě Scheibengraben byly zvýšené obsahy U a Th stanoveny pouze v některých vzorcích z metasomatické jednotky, mající charakter cukrového

Tabulka 2. Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, eU, eTh) v horninách vrbenské skupiny a andělskohorského souvrství; n = počet vzorků, x = průměr.

Table 2. Contents of the natural radioactive element (K, eU, eTh) in rocks of the Keprník and Vrbno Groups; n = number of samples, x = average.

jednotka / hornina	n	K (hmot. %)			eU (ppm)			eTh (ppm)		
		min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
<i>vrbenská skupina</i>										
fylit	191	<0,5	7,0	2,7	<1,5	4,5	1,9	<1,5	20,0	10,3
svor	17	1,5	5,3	3,0	<1,5	4,0	2,4	<1,5	14,5	8,6
mramor	1	0,8	0,8	0,8	<1,5	<1,5	<1,5	2,5	2,5	2,5
kvarcit	154	<0,5	2,8	0,6	<1,5	2,2	<1,5	<1,5	13,6	2,1
fylitický kvarcit	3	1,0	1,5	1,3	<1,5	1,6	<1,5	<1,5	8,0	3,8
živcový kvarcit	3	0,7	2,1	1,3	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	3,9	2,8
metakeratofyr	163	<0,5	10,1	3,8	<1,5	14,1	3,4	<1,5	43,7	13,9
světlý metatuf	229	<0,5	6,4	2,6	<1,5	17,4	3,6	<1,5	49,7	14,5
metadolerit	48	<0,5	1,3	<0,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	3,0	<1,5
zelená břidlice, chlorit. fylit	91	<0,5	3,2	0,6	<1,5	4,0	<1,5	<1,5	11,4	2,1
amfibolit, amf. rula, erlan	3	1,3	2,8	2,1	<1,5	2,6	1,7	3,9	9,9	7,7
metaferolit	20	<0,5	4,1	0,6	<1,5	3,2	<1,5	<1,5	9,5	2,3
<i>andělskohorské souvrství</i>										
psefity	4	0,8	1,5	1,2	1,7	3,1	2,2	5,7	11,2	8,6
psamity	83	0,5	2,6	1,3	<1,5	6,0	2,2	4,9	18,8	8,6
aleurity a pelity	91	0,8	5,1	2,4	<1,5	5,0	2,5	6,3	18,5	9,9

albitu (ZIMÁK 2013). V rámci čtyř výše uvedených lokalit s výskytem beryl-columbitových pegmatitů byly nejvyšší obsahy uranu a thoria zjištěny ve vzorcích z Lysé hory. Lze je spojovat s přítomností uraninitu, coffinitu, cheralitu, aeschynitu-(Ce), yttrobetafitu-(Y), samarskitu-(Y) a případně dalších tantaloniobátů na této lokalitě (viz CHLÁDEK 2011, CHLÁDEK a ZIMÁK 2012). Je zajímavé, že obdobně vysoké obsahy U a Th jako v beryl-columbitových pegmatitech byly zjištěny i v pegmatitových žilách v ortorulách a blastomylonitech keprnické skupiny (Strážník a četné výskyty na Bukovém kopci). Tyto pegmatity dosud nebyly mineralogicky zhodnoceny (alespoň ne za použití moderních analytických metod), a proto úvahy o vazbě U a Th by byly jen na úrovni spekulací.

7. V případě sedimentů andělskohorského souvrství (anchimetamorfovaných) se projevuje vztah mezi strukturou (zrností) a obsahem přirozených radioaktivních prvků. Jde o shodný trend jako v jiných úsecích andělskohorského souvrství (mimo list 14-42 Rýmařov) a jiných souvrsteví kulmu Nizkého Jeseníku a Oderských vrchů: obsah všech tří sledovaných prvků je nejnižší v psefitech, zvyšuje se v psamitech a nejvyšší hodnoty jsou ve skupině aleuritů a pelitů (publikovaná i dosud nepublikovaná data autora). Rozdíl mezi psefity a aleurity+pelity andělskohorského souvrství na listu 14-42 Rýmařov je zřejmý z údajů v tab. 2 a též z obr. 5; soubor vzorků psefitů nelze považovat za reprezentativní (n = 4).

Tabulka 3. Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, eU, eTh) v granitoidech intruze Rudné hory, metapegmatitech, pegmatitech a aplitech; n = počet vzorků, x = průměr.

Table 3. Contents of the natural radioactive element (K, eU, eTh) in granitoids of the Mt. Rudná Intrusion, metapegmatites, pegmatites and aplites; n = number of samples, x = average.

jednotka / hornina / lokalita	n	K (hmot. %)			eU (ppm)			eTh (ppm)		
		min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
<i>intruze Rudné hory</i>										
granitoid	43	<0,5	4,6	2,7	1,6	7,7	4,0	8,7	26,8	16,2
<i>keprnická skupina</i>										
pegmatit	64	0,5	7,4	3,1	<1,5	10,3	2,3	<1,5	19,3	3,6
aplit	10	<0,5	3,8	2,7	<1,5	10,8	3,4	<1,5	20,4	9,8
<i>desenská skupina</i>										
metapegmatit	8	0,6	1,9	1,2	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	1,9	<1,5
pegmatit	133	<0,5	9,5	2,0	<1,5	15,6	2,4	<1,5	23,3	3,6
<i>pegmatity z vybraných lokalit v keprnické a desenské skupině</i>										
Strážník	14	1,1	7,4	2,9	<1,5	7,1	2,3	<1,5	8,4	3,2
Bukový kopec - sever	5	1,3	2,8	2,0	<1,5	10,3	4,2	<1,5	7,0	3,5
Bukový kopec - jih+východ	44	<0,5	7,3	3,2	<1,5	6,4	2,2	<1,5	19,3	3,8
Scheibengraben	45	<0,5	9,1	2,9	<1,5	5,4	<1,5	<1,5	23,3	4,8
Schinderhübel - žíla I	13	<0,5	1,0	<0,5	1,8	10,7	4,9	2,1	5,9	3,2
Schinderhübel - žíla II	6	<0,5	1,1	0,8	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	2,7	<1,5
Schinderhübel - žíla III	9	0,9	1,7	1,2	<1,5	5,8	3,3	1,6	5,9	3,8
Bienergraben	14	0,7	6,7	2,8	<1,5	5,7	1,5	<1,5	8,1	2,1
Lysá hora	29	<0,5	9,5	1,9	<1,5	15,6	4,2	<1,5	13,4	4,7
Sviní vrch	4	<0,5	0,9	0,6	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
Závora - Závada	9	<0,5	1,6	0,9	<1,5	2,5	<1,5	<1,5	1,8	<1,5

Tabulka 4. Vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity ekvivalentu ^{226}Ra (a_m) a dávkového příkonu záření gama (D); x = průměr.

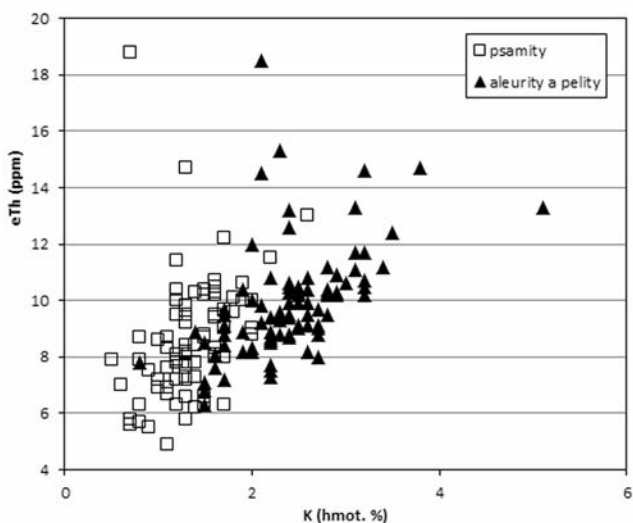
Table 4. Calculated values of mass activity of ^{226}Ra equivalent (a_m) and gamma radiation dose rate (D); x = average.

jednotka / hornina	a_m (Bq.kg ⁻¹)			D (nGy.h ⁻¹)		
	min.	max.	x	min.	max.	x
<i>keprnická skupina</i>						
ortorula, blastomylonit	45	401	148	22	195	74
<i>desenská skupina</i>						
metagranitoid	31	259	126	15	126	63
ortorula, blastomylonit	26	205	94	12	97	47
pararula, migmatit	35	325	108	17	154	53
fylonit	26	216	105	12	111	53
amfibolit, gabroamfibolit	26	108	32	12	50	15
amf. rula, amf.-bi.rula	26	79	44	12	41	22
chloritická, aktinolitická bř.	26	120	31	12	56	14
<i>intruze Rudné hory</i>						
granitoid	89	341	207	41	164	100
<i>vrbenská skupina</i>						
fylit	31	309	148	15	158	74
kvarcit	26	129	39	12	63	19
metakeratofyr	59	480	214	29	227	106
světlý metatuf	26	565	191	12	268	93
metadolerit	26	49	28	12	25	13
zelená břidlice, chlorit. fylit	26	148	42	12	74	20
<i>andělskohorské souvrství</i>						
psamity	63	200	109	30	92	53
aleurity a pelity	91	245	146	43	123	72

Tabulka 5. Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, eU, eTh) v metakeratofyrech a světlých metatufech v různých úsecích vrbenské skupiny; n = počet vzorků, x = průměr.

Table 5. Contents of the natural radioactive element (K, eU, eTh) in metakeratophyres and felsic metatuffs in different sections of the Vrbno Group; n = number of samples, x = average.

úsek / hornina	n	K (hmot. %)			eU (ppm)			eTh (ppm)		
		min.	max.	x	min.	max.	x	min.	max.	x
<i>hornoměstský vulkanický komplex</i>										
metakeratofyr	68	<0,5	10,1	4,2	<1,5	10,3	4,0	2,2	43,7	16,1
světlý metatuf	90	<0,5	6,2	2,8	<1,5	11,4	3,9	<1,5	49,7	16,0
<i>oskavský vulkanický komplex</i>										
metakeratofyr	48	<0,5	8,4	4,0	<1,5	8,4	2,9	2,0	35,7	13,7
světlý metatuf	46	0,7	6,4	2,7	<1,5	17,4	2,8	2,7	49,2	12,0
<i>pruh Janušov - Horní Moravice - Malá Morávka</i>										
metakeratofyr	41	<0,5	7,2	3,0	<1,5	14,1	3,2	<1,5	25,3	10,9
světlý metatuf	84	<0,5	5,5	2,2	<1,5	14,2	3,8	<1,5	35,2	13,8



Obr. 5. Korelace draslíků versus thorium v siliciklastikách andělskohorského souvrství.

Fig. 5. Potassium versus thorium correlation in siliciclastics of the Andělská Hora Formation.

4. ZÁVĚR

Přirozená radioaktivita metamorfitů, magmatitů a předkenozoických sedimentů na mapovém listu 14-42 Rýmařov je poměrně nízká. Z gamaspektrometricky stanovených obsahů K, U a Th vypočtená průměrná hmotnostní aktivita ekvivalentu ^{226}Ra (a_m) jednotlivých horninových typů je většinou nižší než a_m kalkulovaná z klarkových hodnot pro „průměrnou zemskou kůru“ (cca 180 Bq.kg^{-1}). Tuto hodnotu překračují jen tři typy hornin: metamorfované kyselé a intermediární paleovulkanity (metakeratofyry) vrbenské skupiny (a_m v průměru 214 Bq.kg^{-1} , max. 480 Bq.kg^{-1}), s nimi prostorově spjaté světlé (keratofyrové) metatufy (průměr 191 Bq.kg^{-1} , max. 565 Bq.kg^{-1}) a na malé ploše vystupující granitoidy intruze Rudné hory (průměr 207 Bq.kg^{-1} , max. 341 Bq.kg^{-1}). V poli přirozené radioaktivity se metakeratofyry a světlé metatufy vrbenské skupiny projevují plošně významnými pozitivními anomáliemi, a to často na územích s relativně vysokou hustotou osídlení (např. Horní Město, Tvrdkov, Ruda u Rýmařova, Oskava). Průměrné vypočtené hodnoty dávkového příkonu záření gama terestrického původu (D) pro metakeratofyry vrbenské skupiny jsou 106 nGy.h^{-1} (max. 227 nGy.h^{-1}), pro světlé metatufy 93 nGy.h^{-1} (max. 268 nGy.h^{-1}).

LITERATURA

- ČERNÝ, P., NOVÁK, M., CHAPMAN, R., 1992: Effects of sillimanite-grade metamorphism and shearing on Nb-Ta-oxide minerals in granitic pegmatites: Maršíkov, northern Moravia, Czechoslovakia. - *Canadian Mineralogist*, 30, 699-718.
- FRANČE, J., 1975: Sodné typy živcových surovin pro keramický a sklářský průmysl. - *Geologický průzkum*, 17, 10, 289-293.
- 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.
- CHLÁDEK, Š., 2011: Mineralogická charakteristika pegmatitu na Lysé hoře u Maršíkova v Hrubém Jeseníku. MS, bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého. Olomouc.
- CHLÁDEK, Š., ZIMÁK, J., 2012: Unikátní nález berylů v pegmatitu na Lysé hoře u Maršíkova. - *Minerál*, 20, 488-494.
- KOVERDYNSKÝ, B., 1993: Geologické problémy silezika. In: Přichystal, A., Obstová, V., Suk, M. (eds.): *Geologie Moravy a Slezska*, 31-40. Moravské muzeum Brno a PřF MU Brno.

- MATOLÍN, M., CHLUPÁČOVÁ, M., 1997: Radioaktivní vlastnosti hornin. In: Kobr, M. et al.: Petrofyzika, 109–126. Vydavatelství Karolinum, Praha.
- 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.
- NOVÁK, M., 2002: Lokalita č. 9. MARŠÍKOV – SCHINDERHÜBEL. In: Zimák, J. et al.: Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách na Sobotínsku, 34–37. Univerzita Palackého v Olomouci.
- NOVÁK, M., 2005: Granitické pegmatity Českého masivu (Česká republika): mineralogická, geochemická a regionální klasifikace a geologický význam. – *Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae*, 90, 3–74.
- OPLETAL, M., KOVERDYNSKÝ, B., HOLÁSEK, O., RŮŽIČKA, M., 1996: Geologická mapa ČR 1 : 50 000. List 14–42 Rýmařov. Český geologický ústav.
- PATOČKA, F., VALENTA, J., 1996: Geochemistry of the Late Devonian intermediate to acid metavolcanic rocks from the southern part of the Vrbno Group, the Jeseníky Mts. (Moravo-Silesian Belt, Bohemian Massif, Czech Republic): paleotectonic implications. – *Geolines*, 4, 42–54.
- PŘICHYSTAL, A., 1993: Vulkanismus v geologické historii Moravy a Slezska od paleozoika do kvartéru. In: Přichystal, A., Obstová, V., Suk, M. (eds.): Geologie Moravy a Slezska, 59–70. Moravské muzeum Brno a PŘF MÚ Brno.
- SKÁČEL, J., 1954: Geologické poznámky z okresu Šumperk a okolí. – *Sborník SLUKO, oddíl A*, 1, 17–22.
- 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.
- ZIMÁK, J., 2011: Přirozená radioaktivita granitoidů a metagranitoidů brunovistulického teránu na území České republiky. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 18, 201–204.
- ZIMÁK, J., 2013: Uran a thorium v granitických pegmatitech a aplitech silezika. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 20, 162–166.
- ZIMÁK, J., 2015A: Vztah mezi přirozenou radioaktivitou hornin a půd na nich vytvořených – základní problém interpretace dat získaných leteckou a terénní gamaspektrometrií. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 22, 1–2, 80–83.
- ZIMÁK, J., 2015B: Přirozená radioaktivita metamorfítů, magmatitů a předkenozoických sedimentů na mapovém listu 15-13 Vrbno pod Pradědem. – *Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae*, 100, 1, 69–73.
- ZIMÁK, J., 2015C: Přirozená radioaktivita metamorfítů a magmatitů na mapovém listu 14-24 Bělá pod Pradědem. – *Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae*, 100, 2, 69–79.