MASARYKOVA UNIVERZITA
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD

Bakalářská práce

BRNO 2014 **RÓBERT KUBIZNA**

MASARYKOVA UNIVERZITA
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD

Gamaspektrometrická charakteristika plutonických hornin střední části brněnského masivu - suita Tetčice

Bakalářská práce

Róbert Kubizna

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Jaromír Leichmann, Dr. **Brno 2014**

Bibliografický záznam

Autor:	Róbert Kubizna Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita Ústav geologických věd
Název práce:	Gamaspektrometrická charakteristika plutonických hornin střední části brněnského masivu - suita Tetčice
Studijní program:	Geologie
Studijní obor:	Geologie
Vedoucí práce:	Doc. RNDr. Jaromír Leichmann, Dr.
Akademický rok:	2013/2014
Počet stran:	35
Klíčová slova:	brněnský masiv, gamaspektrometrie, granit, suita Tetčice, thorium

Bibliografický záznam

Autor:	Róbert Kubizna Prírodovedecká fakulta, Masarykova univerzita Ústav geologických vied
Názov práce:	Gamaspektrometrická charakteristika plutonických hornín strednej časti brnenského masívu - suita Tetčice
Študijný program:	Geológia
Študijný odbor:	Geológia
Vedúci práce:	Doc. RNDr. Jaromír Leichmann, Dr.
Akademický rok:	2013/2014
Počet strán:	35
Kľúčové slová:	brnenský masív, gamaspektrometria, granit, suita Tetčice, tórium

Bibliographic Entry

Author:	Róbert Kubizna Faculty of Science, Masaryk University Department of Geology
Title of Thesis:	Gamaspectrometric characteristic of the plutonic rocks from the central part of the Brno pluton
Degree Programme:	Geology
Field of Study:	Geology
Supervisor:	Doc. RNDr. Jaromír Leichmann, Dr.
Academic Year:	2013/2014
Number of Pages:	35
Keywords:	The Brno batholith, gamaspectrometry, granite, Tetčice suite, thorium

Abstrakt

Leteckým gamaspektrometrickým měřením byla v roku 2005 zjištěna mírně zvýšená hodnota thoria v západní části brněnského masivu, který je známý spíše nízkou radioaktivitou. V mé zájmové lokalitě mezi Ivančicemi a Moravskými Bránicemi jsem udělal 20 gamaspektrometrických měření a odebral 20 vzorků, které jsem nadrtil na menší frakce a později změřil i laboratorně. Ze dvou vzorků, jednoho více radioaktivního a druhého méně radioaktivního, jsem dal zhotovit výbrusy. Naměřené hodnoty jsem mezi sebou porovnal a vyhodnotil. Výsledky potvrdily, že na daném území jsou zkutečně některé horniny více radioaktivní než se v minulosti předpokládalo. Na základě různých koncentrací thoria by se horniny daly rozdělit na 6 variet, které pro lokalitu nejsou typické. Tento objev potvrzuje slova Suesse, který v roce 1903 ve svém díle uvedl, že v dané oblasti se vyskytuje několik typů hornin, mezi kterými se nedá pozorovat žádná zákonitost.

Abstract

In 2005, a slightly higher amount of thorium was identified by airborne Gamma-Ray Spectrometry measurement in west part of the Brno Massif, which is known for its low radioactivity levels. I performed 20 Gamma-ray spectrometry measurements in the locality between Ivančice and Moravské Bránice and took 20 samples, which I crushed to smaller fractions and measured in laboratory conditions. I analyzed grindings from two samples with different radioactivity levels. I compared and evaluated the measured values and my results confirmed that some rocks from the area have higher radioactivity levels than were assumed in the past. On the basis of different concentrations of thorium I divided rocks into 6 varieties which typologically does not fit to this location. This finding confirms the research of Suess, whose work shows that area is formed by several types of rocks with no relationship.

Masarykova univerzita

Přírodovědecká fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student : **Róbert Kubizna**
Studijní program : **Geologie**
Studijní obor : **Geologie**

Ředitel Ústavu geologických věd PřF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje bakalářskou práci s tématem:

Gamaspektrometrická charakteristika plutonických hornin střední části brněnského masivu - suita Tetčice
Gamaspectrometric characteristic of the plutonic rocks from the central part of the Brno pluton

Zásady pro vypracování: Cílem práce ja na základě laboratorního a terenního gamaspektrometrického měření zjistit koncentrace a variace v obsazích U, Th a K v granitických a basických plutonických horninách ve střední části brněnského masivu, suitě tetčice. Při terenních pracích se zaměří zejména na letecky detekované positivní Th anomalie.

Doporučená literatura: LEICHMANN, Jaromír a Volker HOECK. The Brno Batholith: an insight into the magmatic and metamorphic evolution of the Cadomian Brunovistulian Unit,eastern margin of the Bohemian Massif. Journal of Geosciences, Praha: Czech geol.Soc, 2008, roč. 53, č. 1, s. 281-305. ISSN 1802-6222.

Vedoucí bakalářské práce : doc. RNDr. Jaromír Leichmann, Dr.
Datum zadání bakalářské práce : 31. října 2013
Datum odevzdání bakalářské práce : 30. dubna 2014

MASARYKOVA UNIVERZITA
Přírodovědecká fakulta
315011
ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD
Kotlářská 2, 611 37 Brno

V Brně dne 11.11.2013

doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.
ředitel Ústavu geologických věd PřF MU

Zadání bakalářské práce převzal dne: 9.12.2013

Podpis studenta

Poďakovanie

Na tomto mieste by som chcel poďakovať Doc. RNDr. Jaromírovi Leichmannovi, Dr. za vedenie bakalárskej práce, za cenné rady a pripomienky a za čas strávený pri konzultáciách. Pani Libuši Plchovej ďakujem za pomoc pri meraní laboratórnym gamaspektrometrom. Ďalej by som chcel poďakovať študentke Márii Barčinovej za pomoc pri písaní práce v programe LaTex.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím informačních zdrojů, které jsou v práci citovány.

Brno 30. dubna 2014 .....

Róbert Kubizna

Obsah

1 Úvod **10**

2 Geologická charakteristika územia **11**
2.1 Geologické zaradenie brnenského masívu 11
2.2 Geologická stavba brnenského masívu 11
2.2.1 Západná granitoidná zóna 12
2.2.2 Suita Tetčice 13
2.2.3 Rádioaktivita západnej granitoidnej zóny 13

3 Prirodzená rádioaktivita hornín **15**
3.1 Rádioaktívne prvky v horninách 15
3.2 Gamaspektrometrické meranie hornín 16

4 Metodika **17**
4.1 Letecké meranie 17
4.2 Terénne meranie 17
4.3 Laboratórne meranie 18
4.4 Zhotovenie výbrusov 18

5 Výsledky **19**
5.1 Výsledky terénnej gamaspektrometrie 20
5.1.1 Koncentrácie draslíku namerané v teréne 21
5.1.2 Koncentrácie uránu namerané v teréne 21
5.1.3 Koncentrácie tória namerané v teréne 21
5.2 Výsledky laboratórnej gamaspektrometrie 22
5.2.1 Koncentrácie draslíku namerané v laboratóriu 23
5.2.2 Koncentrácie uránu namerané v laboratóriu 23
5.2.3 Koncentrácie tória namerané v laboratóriu 23

6 Diskusia **24**
6.1 Porovnanie koncentrácií Th pri leteckej a terénnej gamaspektrometrii 24
6.2 Porovnanie výsledkov terénnej a laboratórnej gamaspektrometrie 24

7 Záver **27**

8 Literatura **28**

9 Prílohy **31**

1 Úvod

Gamaspektrometria sa už niekoľko desaťročí využíva pri hľadaní ložísk uránu, no v posledných rokoch je dôležitá hlavne pri skúmaní a mapovaní granitov (Breiter, Gnojek, Chlupáčová, 1998).
V mnou študovanej lokalite medzi Ivančicami a Moravskými Bránicami, ako ukazuje obrázok 1, sa ložisko uránu nevyskytuje, ba naopak brnenský masív je typický svojou nízkou rádioaktivitou (Matolín, 1970). Avšak nedávne výskumy poukazujú na nezvyčajne zvýšenú rádioaktivitu hornín v niektorých oblastiach západnej časti brnenského masívu (Sedláková, 2008, Skála, 2012), preto je vhodné naviazať na predchádzajúce práce a pokračovať v mapovaní suity Tetčice. V mojej záujmovej lokalite na skalných odkryvoch pomocou terénneho gamaspektrometra zmeriam koncentrácie draslíku, uránu a tória. Odobrané vzorky neskôr zmeriam laboratórnym gamaspektrometrom. Cieľom mojej bakalárskej práce je vyhodnotenie a porovnanie hodnôt nameraných terénnym a laboratórnym gamaspektrometrom, pričom sa zameriam na pozitívnu tóriovú anomáliu zistenú leteckou gamaspektrometriou.

Obrázok 1: Prevzaté z www.mapy.cz (2014). Červenou je vyznačená záujmová oblasť.

2 Geologická charakteristika územia

2.1 Geologické zaradenie brnenského masívu

Brnenský masív je teleso kryštalických, prevažne magmatických hornín kadomského veku (Hanžl et. al. 2000).

Spolu s dyjským masívom, tišnovskými brunidmi, olomouckým masívom a kladeckým kryštalinikom patrí k vyššej geologickej jednotke s názvom brunovistulikum (Havlena 1976, Dudek 1980) alebo tiež brunovistulický komplex (Jelínek a Dudek 1993). Poloha brunovistulika je približne od Krakova na severe až po Dunaj na juhu. Na západe leží v podloží moravika a moldanubika a siaha až k pribyslavskej hlbinnej zóne. Na východe zasahuje pod príkrovy Západných Karpát až k peripieninskému lineamentu, významnej tektonickej línii, ktorá kopíruje karpatské bradlové pásmo (Hanžl et al. 2000).

2.2 Geologická stavba brnenského masívu

Brnenský masív zaberá plochu severo-južného smeru s rozlohou približne 600 km^2 medzi Brnom, Boskovicami a Miroslaví (Obrázok 2). Na východe cezeň transgredujú sedimenty devónu a spodného karbónu a na západe je obmedzený východným okrajom boskovickej brázdy (Mísař 1983).

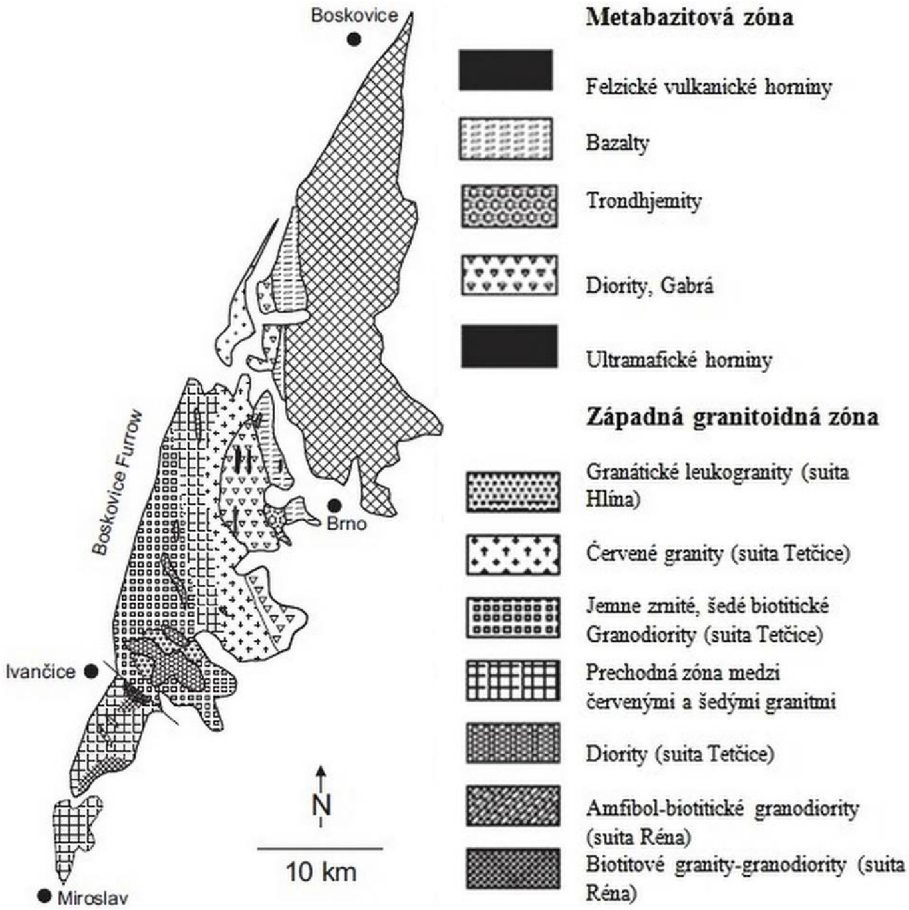
Brnenský masív môžeme členiť horizontálne aj vertikálne. Horizontálne členenie je založené na geologickej stavbe petrologických a čiastočne aj tektonických kritériách, na základe ktorých môžeme rozlíšiť dve granitoidné zóny (východnú a západnú), ktoré sú od seba oddelené zónou metabazitovou. Vo vertikálnom smere sa dá členiť na základe drobne štruktúrnych a z časti aj petrologických dát (Štelcl et. al. 1986).

Brnenský masív je pred devónskeho veku a na základe geotektonickej pozície a rádiometrického datovania (v priemere 600 mil. rokov, K/Ar metóda, Dudek a Melková 1975) je kadómsky a možno aj starší (Štelcl et al. 1973, 1980). Finger et al. (1998) určil minimálny vek metabazitovej zóny na 725 ± 15 Ma pomocou Pb/Pb evaporácie. ^{40}Ar/^{39}Ar datovaním amfibolu určil Dallmeyer et al. (1994) vek východnej granitoidnej časti na $596,1 \pm 2,1$ Ma. V západnej granitoidnej časti prebehli dve merania. V prvom pomocou U-Pb zirkónového datovania van Breemen et. al.(1982) určil vek 584 ± 5 Ma. Dallmeyer et al. (1994) neskôr použil ^{40}Ar/^{39}Ar datovanie amfibolu a vek určil na $586,9 \pm 0,5$ Ma.

Brnenský masív je petrograficky pestré teleso a charakteristické sú preň rôzne typy magmatických hornín, plutonické, magmatické horniny, ale aj ultramafické a bazické horniny (Leichmann 1996).

Východná granitoidná zóna je charakteristická biotitickými granodioritmi, amfibolicko-

biotitickými granodioritmi a biotiticko-amfibolitickými tonalitmi. S týmito horninami sú spojené žilné granity, aplity a pegmatity (Hanžl et al. 2000). Pre západnú granitoidnú zónu sú typické granity, granodiority a diority. Centrálne baziské pásmo (Finger et al. 2000a) je rozdelené do dvoch samostatných subzón – plutonickej, pozostávajúcej z ultramafických hornín, amfibol-biotitickych dioritov, trondhjemitov a gabier (Leichmann 1994) a vulkanickej zloženej z bazaltov a bimodálnou asociáciou doleritov a ryolitov (Hanžl, Melichar 1997).



Obrázok 2: Prevzaté z Leichmann, Höck (2008)

2.2.1 Západná granitoidná zóna

Západná granitoidná zóna sa tiahne ako litologicky veľmi pestrá zóna magmatických hornín s početnými pozostatkami metamorfovaných hornín od Černé Hory až k Miroslavi. Na popisovanom území je západná hranica oblasti tvorená okrajovým zlomom Boskovickej brázdy, východné ohraničenie je dané metabazitovou zónou a na juhu je ohraničená neogénnymi sedimentami karpatskej predhlbne (Hanžl et. al., 2000).

Štelcl a Weiss (1986) na základe petrografického popisu vyčlenili 8 granitoidných typov. Sú nimi typ Veverská Bítýška, Kounice, Tetčice, Hlína, Vedrovice, Olbramovice,

Réna a Krumlovský les. Nedávne štúdie však dokázali, že ide o geneticky veľmi podobné horniny, preto ich Leichmann a Höck (2008) rozdelil na tri suity. Suita Réna a Tetčice sú badateľné predovšetkým na povrchu, zatiaľ čo suita Hlína sa vyskytuje v podobe žíl a intruzivných telies v prostredí týchto dvoch suít. Severná suita Tetčice je od južnej Rény oddelená v smere V-Z Ivančickým zlomom (Leichmann 1996, Mitrenga et al. 1976), ktorého morfologickým prejavom na povrchu je údolie rieky Jihlava.

2.2.2 Suita Tetčice

Tetčická suita je tvorená predovšetkým tromi hlavnými typmi hornín: šedým biotitickým granitom, červeným biotitickým granitom a šedozeleným amfibol-biotitickým dioritom, ktorý v granitoch tvorí enklávy. Granity suity Tetčice sú veľmi heterogénne, dôkazom toho je široké spektrum metasedimentárnych hornín ako napríklad ruly a migmatity, ktoré tvoria v granitoch enklávy (Mittrenga et al. 1976; Leichmann 1996).

Červené granity v porovnaní so šedými granodioritmi majú vyšší obsah K-živcov (32–46 % oproti 23–26 % v šedých granodioritoch), majú omnoho vyšší podiel SiO_2 a K_2O sú hrubozrnnejšie (Leichman a Höck 2008).

2.2.3 Rádioaktivita západnej granitoidnej zóny

Brnenský masív je charakteristický svojou veľmi nízkou rádioaktivitou. Priemerné hodnoty rádioaktívnych prvkov sú na spodnej hranici hodnôt granitov z územia Českého masívu (Matolín 1970).

Štelcl a Weiss (1986) konštatujú rádioaktivitu západnej granitoidnej zóny dvakrát vyššiu než vo východnej granitoidnej zóne. Ich namerané hodnoty sú znázornené v tabuľke 1.

Sedláková (2008) vo svojej práci uvádza, že hodnoty draslíku a uránu v červených a šedých granitoch v západnej časti suity Tetčice sú približne rovnaké ako priemerné hodnoty v práci Štelcl a Weiss (1986). Avšak tórium vykazuje v priemere dvojnásobne vyššie hodnoty. Túto pozitívnu tóriovú anomáliu popisuje vo svojej bakalárskej práci aj Skála (2012). Taktiež v žílnych granitoch v suite Hlína boli namerané nadpriemerné hodnoty uránu a tória (Hönig 2008, Novosád 2011).

Typ granodioritu	Th[ppm]	U[ppm]	K[%]
Tetčice I, Štelcl, Weiss, et.al.(1986)	10,8	1,4	3,42
Tetčice II, Štelcl, Weiss, et.al.(1986)	11,7	2,9	3,14
Tetčice, Sedláková (2008) červené granity	21,7	2,2	4,1
Tetčice, Skála (2012) červené granity	20,8	2,7	4
Hlína, Hönig (2008)	12,1	2,3	4,2
Hlína, Novosád (2011)	11,95	3,24	4,28

Tabuľka 1: Prevzaté zo Štelcl, Weiss, et. al. (1986), Sedláková (2008), Skála (2012), Hönig (2008), Novosád (2011). Priemerná koncentrácia Th, U, K v granitických horninách suity Tetčice a Hlína.

3 Prirodzená rádioaktivita hornín

Rádioaktivita je jednou z fyzikálnch vlastností hornín a je podmienená prítomnosťou prírodných rádionuklidov v horninách. Jednotlivé horniny vykazujú špecifickú rádioaktivitu, podľa ktorej môžu byť študované, zaraďované a mapované (Matolín a Chlupáčová, 1997). Rádioaktivita hornín býva pri terénnych a laboratórnych výzkmuoch prevažne určovaná detekciou gama žiarenia, ktoré má najväčšiu priechodnosť hmotou (Matolín, 1970).

3.1 Rádioaktívne prvky v horninách

V prírode je známych viac ako 230 typov jadier atómu, ktoré sú rádioaktívne (Mareš, 1979). Rádioaktívne prvky vzniknuté syntézou pri evolúcii Zeme sú označované ako primordiálne. Z množstva vzniknutých primordiálnych rádionuklidov sa zachovali len rádionuklidy s veľkým polčasom premeny, ale vzhľadom na menšie koncentrácie v zemskej kôre a ich mernej aktivite sú pre rádioaktivitu hornín významné len ^{40}K, ^{235}U, ^{238}U a ^{232}Th (Matolín a Chlupáčová 1997).

Draslík je zastúpený v zemskej kôre v priemernej koncentrácií 2,5 %. Rádioaktívny izotop ^{40}K je prítomný iba 0,012 % a medzi tromi izotopmi draslíku je jediný rádioaktívny. V mineráloch majú najvyšší obsah draslíku draselné živce, leucit, biotit, muskovit, flogopit, sericit a ílový minerál illit (Matolín a Chlupáčová 1997). Draslík je všeobecne pohyblivý za rôznych pt-podmienok, a preto môže ochudobňovať a obohacovať rôzne horniny (Matolín 1970).

Urán je v zemskej kôre prítomný v priemernej koncentrácii 2-3 ppm U. Spomedzi troch rádioaktívnych izotopov uránu má ^{238}U až 99,274% zastúpenie. Urán je značne mobilný prvok. Typické minerály, kde sa urán vyskytuje vo zvýšených koncentráciách sú apatit, titanit, zirkón, xenotim a monazit (Matolín a Chlupáčová 1997). Pre ekonomické využitie sú ale najvhodnejšie uranové rudy ako uraninit, coffinit, autinit.

Tórium je v zemskej kôre prítomné v priemernej koncentrácii 8-13 ppm Th. V horninách je tórium prítomné vo zvýšenej miere v akcesorických mineráloch thoritu, thorianitu, apatitu, titanitu, zirkónu, ortitu, monazitu a niektorých mineráloch ílovej frakcie sedimentov. Významným geochemickým znakom tória je jeho stabilnosť, podstatnou formou pohybu Th je mechanický transport (Matolín a Chlupáčová 1997).

Rádioaktivita magmatických hornín má tendenciu rásť s rastúcou kyslosťou hornín. Obsah rádioaktívnych prvkov U a Th v akcesorických mineráloch závisí na podmienkach ich vzniku. Obsahy K, U a Th sa môžu meniť v značných medziach aj vo vnútri jedného plutónu a čiastkového masívu, ale aj na jednej lokalite. Rádioaktivita syenitov, fonolitov, granitov, granodioritov býva vysoká, význačne nízkou rádioaktivitou sú charakteristické

bazické a ultrabazické horniny (Matolín a Chlupáčová 1997).

3.2 Gamaspektrometrické meranie hornín

Hlavnými zdrojmi gama žiarenia sú na našej planéte K, U a Th, kde gama žiarenie vzniká ako doprovodné žiarenie pri jadrových premenách nestabilných izotopov. Elektromagnetické gama kvantá, na rozdiel od nabitých alfa a beta častíc, nemajú ani hmotnosť ani náboj, a preto predstavujú najprieraznejšie rádioaktívne žiarenie, čím prinášajú do detektora informáciu o rádioaktivite z najväčšieho objemu horninového prostredia.

V praxi sa gamaspektrometrické meriane označuje ako gamaspektrometria a meracie prístroje sa nazývajú gamaspektrometre. V teréne sa toto meranie používa na určenie obsahu ^{40}K, ^{238}U, ^{232}Th, v laboratóriu sa okrem ^{40}K, ^{238}U, ^{232}Th dá určiť aj Cs – pomocou gamaspektrometrov so scintilačnými detektormi NaI(Tl), BGO (zložením Bi4Ge3O12), CsI(Tl). Meranie je založené na skutočnosti, že veľkosť toku primárneho gama žiarenia zdroja je priamoúmerná koncentrácii rádioaktívneho žiariča v zdroji. Stanovenie K je priame, výsledky sa vyjadrujú v % K; stanovenie U a Th je nepriame, výsledky sa vyjadrujú v ppm eU a ppm eTh (Mojžeš, 2012).

4 Metodika

4.1 Letecké meranie

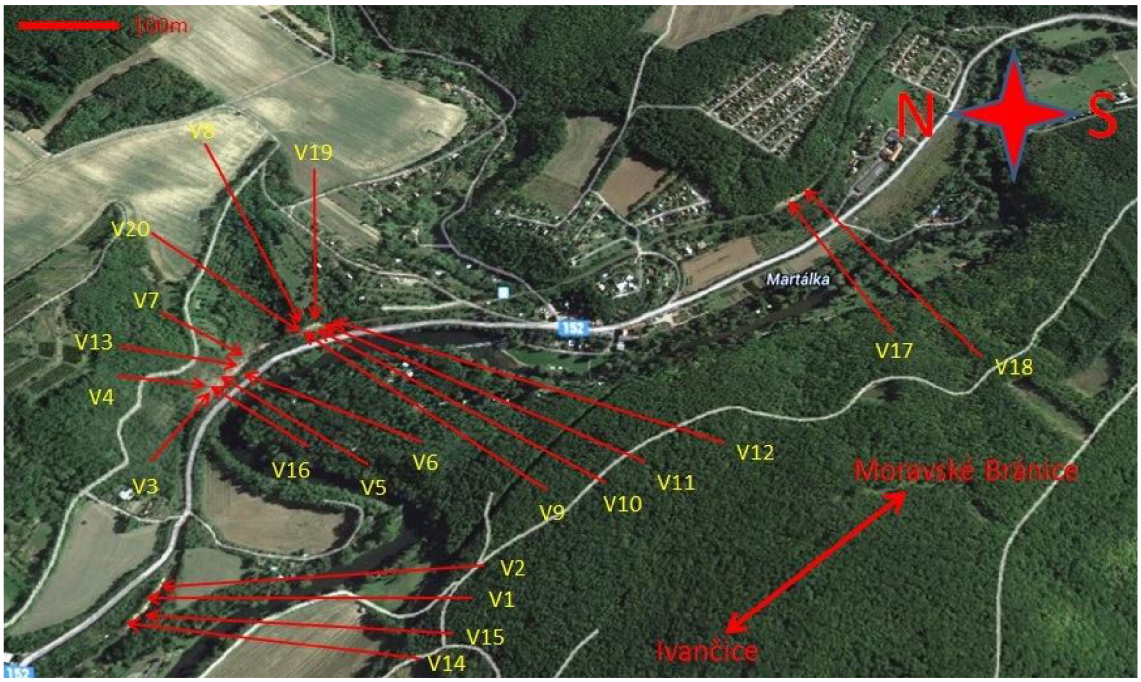
Geofyzikálne rádiometrické mapy boli vypracované spoločnosťou Miligal s.r.o., ktorá ich spracovávala pre prírodovedeckú fakultu Masarykovej univerzity v Brne pre projekt Inchembiol. Meranie bolo uskutočnené v roku 1990 spoločnosťou Geofyzika a.s.

Úhrnná aktivita gama a distribúcia K, U a Th boli merané leteckým 256-kanálovým spektrometrom s detektormi žiarenia gama s objemom 33,6 litra NaI(T1) – firmy Exploranium, Kanada. Aparatúra bola inštalovaná v lietadle typu AN-2. Lietadlo sa nad povrchom pohybovalo rýchlosťou 120 až 140 km/h vo výške 60 až 200 m a v paralelných letových trasách vzdialených od seba 250 m. Výsledná informácia je získavaná z kruhovej plochy zemského povrchu s priemerom 300 m, čiže približne 7 ha. Aparatúra každú sekundu meria a registruje priemerné hodnoty jednotlivých sedemhektárových plôch. Letecká gamaspektrometria je veľmi efektívnou metódou regionálneho geologického výskumu. (Avšak telesá s rozmermi v prvých metroch či decimetroch prakticky ignoruje).
Hodnoty letecky meraných koncentrácii prírodných rádioaktívnych prvkov sú do istej miery ovplyvňované tiež kvalitou a množstvom zvetralin a ďalších pokryvov – ich vlhkosťou, biomasou lesa, konfiguráciou terénu, premennou koncentrácii radónu v prízemných vrstvách atmosféry, prípadne ďalšími rušivými vplyvmi (Gnojek, 2005).

4.2 Terénne meranie

Na terénne meranie bol použitý prenosný gamaspektrometer RS 230 BGO Super SPEC, pomocou ktorého je možné stanoviť koncentrácie K, U a Th. Gamaspektrometer pracuje na princípe scintilačného detektoru, kde jadro tvorí kryštál bizmut-germanátu. Samotné meranie trvá 240 s. Pre čo najpresnejšie terénne výsledky je potreba merať čo najrovnejšiu plochu odkryvu o veľkosti minimálne 1m^2. Avšak presné a neskreslené hodnoty rádioaktivity nám prinesie laboratérne meranie, ktoré nie je ovplyvnené napr. kozmickým žiarením, vlastným pozadím prístroja či nerovnosťou terénu.

Terénne meranie prebehlo na skalných odkryvoch pri železničnej trati medzi Moravskými Bránicami a Ivančicami (Obrázok 3). Celkovo bolo na štyroch odkryvoch spravených 20 meraní a z každého miesta merania boli odobraté vzorky hornín o váhe približne 500 g pre laboratórne merania.



Obrázok 3: Záujmová lokalita medzi Ivančicami a Moravskými Bránicami s vyznačenými miestami meraní Google Earth (2014).

4.3 Laboratórne meranie

Pre laboratórne merania bolo použitých 20 vzoriek hornín z terénu. Pred samotným meraním je nutné vzorky pripraviť a to nadrvením na menšie frakcie o veľkosti cca 10 mm. Nadrvený materiál bol presypaný do plastových misiek. Vzorky v miskách bolo potrebné nechať 14 dní stabilizovať z dôvodu rádioaktívnej rovnováhy, kedy je potrebný rozpad ^{222}Rn a ^{226}Ra.

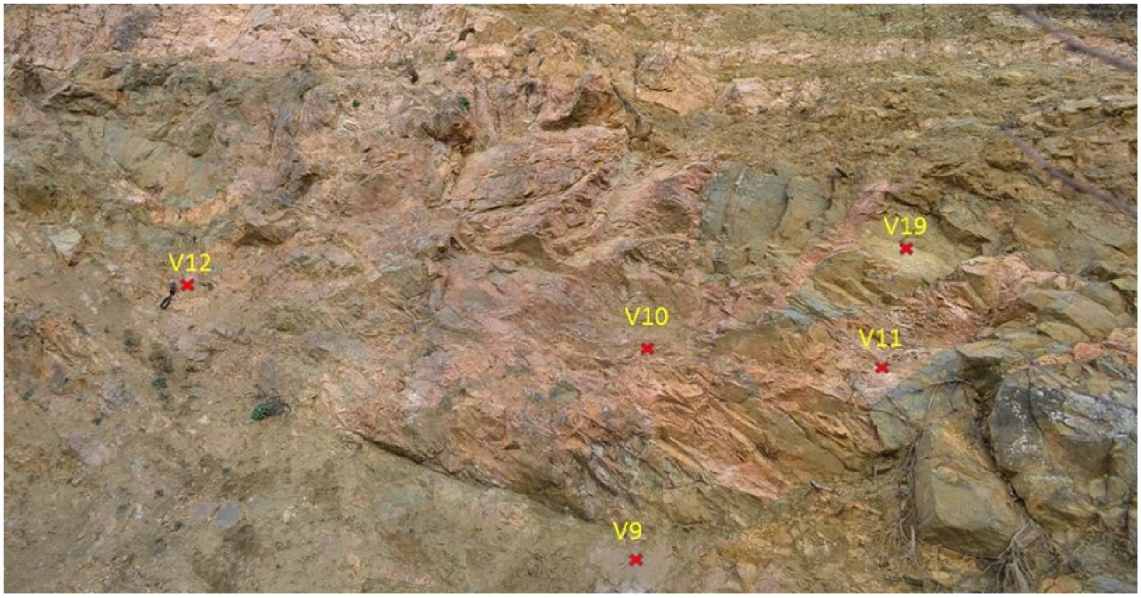
Laboratórne meranie bolo uskutočnené pomocou spektrometru GR-320, ktorý je napojený na digitálnu váhu a počítač. Celý proces merania je ovládaný softwareom LAB Center. Každá miska so vzorkou bola pred meraním zvážená. Ich priemerná váha bola 353 g. Jednotlivé merania trvajú 1800 s.

4.4 Zhotovenie výbrusov

Na základe výsledkov gamaspektrometrie boli zhotovené dva výbrusy vzoriek V7 a V17. Výbrusy boli použité na klasifikáciu študovaných hornín a pomohli horniny rozdeliť na dva druhy: chloritizovaný biotitický granit a biotiticko amfibolický diorit.

5 Výsledky

Do výsledkov bolo zaradených 20 vzoriek, medzi ktorými sa dajú makroskopicky a mikroskopicky vyčleniť dva druhy hornín. Prvým rádioaktívnejším druhom je chloritizovaný biotitický granit reprezentovaný vzorkami V1 až V13. Jedná sa o načervenalú horninu s všesmernou textúrou s veľkým podielom svetlých minerálov (Príloha 1), ktorá v podobe žíl intrudovala do staršej a menej rádioaktívnej horniny (Obrázok 4). Druhým druhom je biotiticko amfibolický diorit, ktorý reprezentujú vzorky V14 až V20. Je to hornina na prvý pohľad tmavá, čierno-zelená so všesmernou textúrou s veľkým podielom tmavých minerálov (Príloha 2).



Obrázok 4: Odkryv číslo 3, na ktorom je výrazne vidieť prenikanie granitu v podobe žily do dioritu. Červeným krížikom je označené miesto merania a odobratia vzorky.

5.1 Výsledky terénnej gamaspektrometrie

meranie	hornina	K [%]	U [ppm]	Th [ppm]
V 1	chloritizovaný biotitický granit	4,5	6,3	22,4
V 2	chloritizovaný biotitický granit	5,3	5,1	25,9
V 3	chloritizovaný biotitický granit	4,4	6,4	23,9
V 4	chloritizovaný biotitický granit	6	5,4	55,4
V 5	chloritizovaný biotitický granit	5,3	5,2	47,8
V 6	chloritizovaný biotitický granit	6	6,9	62,1
V 7	chloritizovaný biotitický granit	5,2	4,4	54,2
V 8	chloritizovaný biotitický granit	3,3	3,8	19,4
V 9	chloritizovaný biotitický granit	5,7	7	68,2
V 10	chloritizovaný biotitický granit	3,8	9,2	35,5
V 11	chloritizovaný biotitický granit	6,3	6,9	35,8
V 12	chloritizovaný biotitický granit	5,5	5,1	66,6
V 13	chloritizovaný biotitický granit	5,8	2,8	22,6
V 14	biotiticko amfibolický diorit	4,6	5	19,8
V 15	biotiticko amfibolický diorit	2,6	3,4	10,9
V 16	biotiticko amfibolický diorit	2,9	2,5	19,7
V 17	biotiticko amfibolický diorit	2,5	2,9	11,6
V 18	biotiticko amfibolický diorit	3,5	2,6	16,1
V 19	biotiticko amfibolický diorit	3,7	5,7	6,7
V 20	biotiticko amfibolický diorit	3,3	4	14,7

Tabuľka 2: Výsledky terénnej gamaspektrometrie

Priemerné hodnoty K, U a Th vo všetkých vzorkách:
K: 4,51 %
U: 5,03 ppm
Th: 31,97 ppm

Priemerné hodnoty K, U a Th pre chloritizovaný biotitický granit, vzorky V1 až V13:
K: 5,16 %
U: 5,73 ppm
Th: 41,52 ppm

Priemerné hodnoty K, U a Th pre biotiticko amfibolický diorit, vzotky V14 až V20:
K: 3,3 %
U: 3,73 ppm
Th: 14,2 ppm

5.1.1 Koncentrácie draslíku namerané v teréne

Hodnoty draslíku namerané v teréne sú v rozmedzí 2,5 – 6,3 %. Pre chloritizovaný biotitický granit je rozsah hodnôt 3,3 – 6,3 %. Pre biotiticko amfibolický diorit je rozsah hodnôt 2,5 – 4,6 %. Aritmetický priemer koncentrácií pre všetky vzorky je 4,51 %. Medián koncentrácií je 4,55 %. Pomer nameraných hodnôt v dvoch druhoch hornín sa výrazne líši. Kým hodnoty V1 až V13 majú priemernú hodnotu 5,1 %, V14 až V20 majú priemernú hodnotu 3,3 %. Vzhľadom na priemernú koncentráciu draslíku v zemskej kôre sa dá povedať, že namerané hodnoty v teréne sú nadpriemerné, vo vzorkoch V1 až V13 je priemerná hodnota až dvojnásobne vyššia.

5.1.2 Koncentrácie uránu namerané v teréne

Hodnoty uránu namerané v teréne sú pre chloritizovaný biotitický granit 2,8 – 9,2 ppm. Pre amfibolicko biotitický diorit je to 2,5 – 5,7 ppm. Aritmetický priemer koncentrácií všetkých vzoriek je 5,03 ppm. Medián koncentrácii je 5,1 ppm. Vzorky V1 až V13 majú priemernú koncentráciu uránu 5,73 ppm. Vzorky V14 až V20 vykazujú koncentráciu menšiu a to 3,72 ppm.

5.1.3 Koncentrácie tória namerané v teréne

Hodnoty tória namerané v teréne sú v rozmedzí 6,7 – 68,2 ppm. Kým u chloritizovaného biotitického granitu je rozsah hodnôt 19,4 – 68,2 ppm, druhý druh horniny má rozsah 6,7 – 19,8 ppm. Aritmetický priemer koncentrácií všetkých vzoriek je 33,14 ppm. Medián koncentrácií je 23,9 ppm. Ako aj v prípade draslíku a uránu, tak aj v prípade tória majú vzorky V1 až V13 výrazne vyššiu priemernú koncentráciu ako vzorky V14 až V20 a to v pomere 41,5 ppm ku 14,2 ppm.

5.2 Výsledky laboratórnej gamaspektrometrie

meranie	hornina	K [%]	U [ppm]	Th [ppm]
V 1	chloritizovaný biotitický granit	6,3	3,32	19,47
V 2	chloritizovaný biotitický granit	5,14	4,6	22,47
V 3	chloritizovaný biotitický granit	4,85	3,64	20,51
V 4	chloritizovaný biotitický granit	4,79	2,87	48,75
V 5	chloritizovaný biotitický granit	4,86	3,24	45,8
V 6	chloritizovaný biotitický granit	5,69	3,58	50,84
V 7	chloritizovaný biotitický granit	4,64	2,18	48,91
V 8	chloritizovaný biotitický granit	2,36	2,41	36,38
V 9	chloritizovaný biotitický granit	4,52	5,88	60,72
V 10	chloritizovaný biotitický granit	4,12	9,92	23,01
V 11	chloritizovaný biotitický granit	4,53	7,58	29,2
V 12	chloritizovaný biotitický granit	4,15	5,45	51,47
V 13	chloritizovaný biotitický granit	6,3	1,07	5,14
V 14	biotiticko amfibolický diorit	3,51	2,38	9,45
V 15	biotiticko amfibolický diorit	1,61	2,77	9,08
V 16	biotiticko amfibolický diorit	2,91	4,05	11,57
V 17	biotiticko amfibolický diorit	3,9	1,71	3,21
V 18	biotiticko amfibolický diorit	4,96	2,52	8,24
V 19	biotiticko amfibolický diorit	3,21	2,23	1,21
V 20	biotiticko amfibolický diorit	3,56	5,92	2,59

Tabuľka 3: Výsledky laboratórnej gamaspektrometrie

Priemerné hodnoty K, U a Th vo všetkých vzorkách:
K: 4,29 %
U: 3,86 ppm
Th: 25,4 ppm

Priemerné hodnoty K, U a Th pre chloritizovaný biotitický granit, vzorky V1 až V13:
K: 4,63 %
U: 4,28 ppm
Th: 35,59 ppm

Priemerné hodnoty K, U a Th pre biotiticko amfibolický diorit, vzotky V14 až V20:
K: 3,38 %
U: 3,73 ppm
Th: 6,48 ppm

5.2.1 Koncentrácie draslíku namerané v laboratóriu

Hodnoty draslíku namerané v laboratóriu sa pohybujú v rozmedzí 1,61 – 6,3 %. Aritmetický priemer množstva draslíku je 4,29 %. Medián je 4,52 %. Pri vzorkách V1 až V13 sú obsahy v rozmedzí 2,6 – 6,3 %. Pri vzorkách V14 až V20 sú obsahy v rozmedzí 1,61 – 4,96 %. Vzhľadom na priemernú koncentráciu draslíka v zemskej kôre sú takmer všetky hodnoty nadpriemerné. Výnimku tvorí vzorka V15, ktorej hodnota je o 0,89 % nižšia ako priemerná koncentrácia v zemskej kôre. Viac ako dvojnásobné hodnoty vykazujú vzorky V1 (6,3 %) a V13 (6,3 %). Ako je možné vidieť v tabuľke 3, dioritová skupina sa od granitovej líši pomerne nízkymi hodnotami draslíku, čo je typické pre tmavé horniny ako diorit.

5.2.2 Koncentrácie uránu namerané v laboratóriu

Hodnoty uránu namerané v laboratóriu sa pohybujú v rozmedzí 1,07 – 9,92 ppm. Aritmetický priemer je 3,85 ppm a medián je 3,28 ppm. Pre vzorky V1 až V13 sú hodnoty koncentrácií v rozmedzí 1,07 – 9,92 ppm. Pre vzorky V14 až V20 je to 1,71 – 5,92 ppm. Väčšina vzoriek má obvyklé hodnoty typické pre zemskú kôru. Vzorky V13 a V17 majú podpriemerné hodnoty. Zaujímavé sú vzorky V10 (9,92 ppm) a V11 (7,58 ppm), ktoré oproti priemernému množstvu uránu v zemskej kôre (2-3 ppm), majú výrazne nadpriemerné hodnoty.

5.2.3 Koncentrácie tória namerané v laboratóriu

Hodnoty tória namerané v laboratóriu sa pohybujú v rozmedzí 1,21 – 60,72 ppm. Ich aritmetický priemer je 21,49 ppm. Medián je 21,49 ppm. Pre vzorky V1 až V13 je rozsah nameraných hodnôt 5,14 – 60,72 ppm. Pre vzorky V14 až V20 je tento rozsah 1,21 – 11,57 ppm. Vzorky V1 až V12 vykazujú nadpriemerné hodnoty tória, niektoré vzorky ako V4, V5, V6, V7, V8, V9 a V12 majú miestami hodnoty až päťkrát vyššie ako je priemer v zemskej kôre podľa (Matolín a Chlupáčová 1997). Ďalším typom horniny medzi vzorkami V1 až V13 sú vzorky V1, V2, V3, V10 a V11, ktoré majú hodnoty obvyklé pre suitu Tetčice (podľa Sedláková 2008, Skála 2012), v rozmedzí 19,47 ppm – 29,2 ppm. Samostatnou jednotkou je granitová vzorka V13, ktorá vykazuje hodnotu len 5,14 ppm. V dioritovej skupine hornín (vzorky V14-V20) sú obsahy tória v porovnaní s priemerom v zemskej kôre v norme, mimo vzoriek V17, V19, V20, v ktorých sú obsahy tória najmenšie spomedzi všetkých 20 vzoriek.

6 Diskusia

6.1 Porovnanie koncentrácií Th pri leteckej a terénnej gamaspektrometrii

Ako môžeme vidieť v prílohe 3, hodnoty tória namerané pri leteckej gamaspektrometrii sú v rozmedzí 10 – 14 ppm, čo až na pár výnimiek vôbec nesúhlasí s hodnotami, ktoré boli namerané pri terénnej gamaspektrometrii.

Medzi vzorkami V1 až V13, ktoré predstavuje chloritizovaný biotitický granit, sa nevyskytuje žiadna hodnota, ktorá by sa blížila výsledkom leteckého merania. Naopak priemer hodnôt vzoriek V1 až V13 je takmer trojnásobný ako priemer hodnôt leteckého merania.

Medzi vzorkami V14 až V20 je situácia opačná, takmer všetky hodnoty (okrem V14 a V16) odpovedajú hodnotám nameraným pri leteckej gamaspektrometrii.

Takéto výrazné rozdiely v nameraných výsledkoch sú pravdepodobne spôsobené tým, že letecká gamaspektrometria zachytáva až 7 ha územia, kde jeho väčšina môže byť nízko rádioaktívna. Preto by sa letecká gamaspektrometria dala označiť skôr za „orientačnú“.

6.2 Porovnanie výsledkov terénnej a laboratórnej gamaspektrometrie

Ako je zrejmé z tabuľky 4, hodnoty terénnych a laboratórnych gamaspektrometrických meraní sa medzi sebou líšia. Terénne meranie môže byť ovplyvnené vonkajšími faktormi ako nerovnosťou terénu, zvetraním odkryvu, vlhkosťou odkryvu, nerovnomerným rozložením rádioaktívnych minerálov v hornine alebo kozmickým žiarením. Pri laboratórnom meraní na vzorky nepôsobia vonkajšie vplyvy, preto je oveľa presnejšie ako terénne. Vzhľadom na vonkajšie faktory sa dá predpokladať zníženie koncentrácii prvkov pri laboratórnych meraniach. Ako vidieť v prílohe 4, predpoklady sa potvrdili, no pri niektorých vzorkách sa hodnoty naopak zvýšili. Obsah draslíku sa pri laboratórnom meraní u vzoriek V3, V11, V14, V16, V17, V18, V20 zvýšil v priemere o 0,8 %. Obsah uránu sa u vzoriek V11, V12, V13, V16, V20 zvýšil v priemere o 1,04 ppm. Obsah tória sa zvýšil iba v jednom prípade a to u vzorky V8 o 16,98 ppm. Je to pravdepodobne spôsobené tým, že pri meraní gamaspektrometrom je záber merania približne 1 meter v okolí prístroja. To znamená, že zaberá veľký objem horniny a sú zmerané aj menej rádioaktívne minerály a tie rádioaktívne sú rozmiestnené v hornine nepravidelne. Pri odbere vzorky môže byť v odobranej vzorke práve rádioaktívny minerál a vtedy môžu byť obsahy K, U a Th vo vzorke vyššie ako v hornine, z ktorej vzorka pochádza.

		K [%]		U [ppm]		Th [ppm]	
meranie	hornina	terén	labor.	terén	labor.	terén	labor.
V 1	chloritizovaný biotitický granit	4,5	4,25	6,3	3,32	22,4	19,47
V 2	chloritizovaný biotitický granit	5,3	5,14	5,1	4,6	25,9	22,47
V 3	chloritizovaný biotitický granit	4,4	4,85	6,4	3,64	23,9	20,51
V 4	chloritizovaný biotitický granit	6	4,79	5,4	2,87	55,4	48,75
V 5	chloritizovaný biotitický granit	5,3	4,86	5,2	3,24	47,8	45,8
V 6	chloritizovaný biotitický granit	6	5,69	6,9	3,58	62,1	50,84
V 7	chloritizovaný biotitický granit	5,2	4,64	4,4	2,18	54,2	48,91
V 8	chloritizovaný biotitický granit	3,3	2,36	3,8	2,41	19,4	36,38
V 9	chloritizovaný biotitický granit	5,7	4,52	7	5,88	68,2	60,72
V 10	chloritizovaný biotitický granit	3,8	4,12	9,2	9,92	35,5	23,01
V 11	chloritizovaný biotitický granit	6,3	4,53	6,9	7,58	35,8	29,2
V 12	chloritizovaný biotitický granit	5,5	4,15	5,1	5,45	66,6	51,47
V 13	chloritizovaný biotitický granit	5,8	6,3	2,8	1,07	22,6	5,14
V 14	biotiticko amfibolický diorit	4,6	3,51	5	2,38	19,8	9,45
V 15	biotiticko amfibolický diorit	2,6	1,61	3,4	2,77	10,9	9,08
V 16	biotiticko amfibolický diorit	2,9	2,91	2,5	4,05	19,7	11,57
V 17	biotiticko amfibolický diorit	2,5	3,9	2,9	1,71	11,6	3,21
V 18	biotiticko amfibolický diorit	3,5	4,96	2,6	2,52	16,1	8,24
V 19	biotiticko amfibolický diorit	3,7	3,21	5,7	2,23	6,7	1,21
V 20	biotiticko amfibolický diorit	3,3	3,56	4	5,92	14,7	2,59

Tabuľka 4: Porovnanie terénnej a laboratórnej gamaspektrometrie

Z nameraných výsledkov V1 až V20 sa dá usúdiť, že máme čo do činenia s niekoľkými varietami hornín, ktoré možno na prvý pohľad so sebou nesúvisia. Na základe hodnôt tória by sa dali rozdeliť horniny na niekoľko skupín. Chloritizované biotické granity (vzorky V1,V2, V3, V11) s koncentráciou tória od 19,47 ppm až po 29,2 ppm, ktorá je pre suitu Tetčice typická podľa (Sedláková 2008, Skála 2012). Ďalšou varietou sú chloritizované biotitické granity s anomálnou koncentráciou tória 36,38 ppm až 60,72 ppm: vzorky V4, V5, V6, V7, V8, V9 a V12. Osamotená vzorka medzi granitmi je V10, ktorá má nezvyčajnú hodnotu uránu 9,9 ppm, čo je až dva a pol násobná hodnota oproti priemeru V1-V20. Spomedzi vzoriek granitov vystupuje tiež vzorka V13, avšak v jej prípade je obsah tória len 5,14 ppm a uránu iba 1,07 ppm. Medzi dioritovú skupinu hornín sa však nedá zaradiť pre vysoký obsah draslíku až 6,3 %. Medzi dioritmi (vzorky V14 až V20) by sa dali vyčleniť dve variety hornín. Biotiticko amfibolický diorit s obvyklými hodnotami ako draslíku, uránu tak aj tória, ktorý reprezentujú vzorky V14 až V18. Akoby z iného kraja sú vzorky V20 a V21, ktoré majú typické hodnoty draslíku a uránu, no rozdiel hodnôt medzi laboratórnym a terénnym meraním tória je viac ako päťnásobný.

Rozdiel vo výške koncentrácii K, U a Th medzi skupinou granitov a dioritov je v prírode samozrejmosťou, pretože diorit, ako bazická hornina, má nižšiu rádioaktivitu ako granit, ktorý je hornina kyslá. Avšak dôvod, prečo medzi granitovými vzorkami sú tak nadmerne zvýšené obsahy tória, je zatiaľ neznámy.

Vysoké hodnoty tória v mojich výsledkoch sa výrazne podobajú hodnotám, ktoré namerali pri svojich bakalárskych prácach Sedláková (2008) a Skála (2012). Skála (2012)

elektrónovou mikroanalýzou vo svojom výskume zistil, že zdrojom zvýšeného obsahu tória sú minerály allanit a thorit. Aj keď sú moje vzorky petrograficky takmer totožné, v zhotovenom výbruse vzorky V7 sa obsah allanitu či thoritu nepotvrdil. Nedá sa ale stopercentne zhodnotiť, že v hornine sa dané rádioaktívne minerály nevyskytujú. Jedine podrobnejšia analýza viacerých výbrusov z lokality by na isto dokázala zhodu s leukokrátnymi biotitickými granitmi, ktoré skúmali Sedláková (2008) a Skála (2012).

Ďalšie bádanie na lokalite medzi Ivančicami a Moravskými Bránicami by v budúcnosti mohlo priniesť viac informácií o tóriovej anomálii a najmä o šiestich varietach hornín, ktoré sa na tak malom území vyskytujú.

7 Záver

V minulosti bol niekoľkými autormi brnenský masív označovaný ako nízko rádioaktívny vzhľadom k ostatným granitoidným telesám. Toto tvrdenie obzvlášť obhájilo gamaspektrometrické zmeranie brnenského masívu Štelclom a Weissom v roku 1986. Sedláková (2008) a Skála (2012) vo svojich bakalárskych prácach poukazujú na pás červených leukokrátnych granitov, ktoré majú niekoľko násobne vyššiu rádioaktivitu ako zmerali Štelcl a Weiss (1986). Na veľmi podobné granity s obsahom tória až do 60,72 ppm som vo svojej záujmovej lokalite narazil aj ja, čo jednak výrazne prevyšuje hodnoty namerané leteckou gamaspektrometriou, no hlavne vyvracia tvrdenia o nízkej rádioaktivite západnej časti brnenského masívu. Zvláštnosťou je, že na zmeranom 1,5 km úseku je až 6 variet hornín s rozdielnou rádioaktivitou. Potvrdili sa tým slová Suessa z roku 1903, kedy vo svojom diele popísal na mojej lokalite niekoľko typov hornín, ktoré sa náhodne menia, a medzi ktorými sa nedá pozorovať žiadna zákonitosť. Bolo by preto vhodné danú oblasť v budúcnosti podrobnejšie preskúmať, aby sme získali odpovede na otázky, prečo tomu tak je.

8 Literatura

Breiter, K., Gnojek, I., Chlupáčová, M., (1998): *Radioaktivity patterns – constraints for the magmatic evolution of the two-mica granites in the Central moldanubian Pluton.* - Věstník ČGÚ, vol. 73, Praha, 301-311.

Dallmeyer, D. R., Fritz, H., Neubauer, F., Urban, M., (1994): *Ar/Ar mineral age controls on the tectonic evolution of the southeastern Bohemian Massif.* - Pre - Alpine crust in Austria. — Excursion Guide, 14-22.

Dudek, A., Melková, J., (1975): *Radiometric age and isotopic data determination in the crystalline basement of the Carpathian Foredeep and of the Moravian Flysch.* – Věst. Ústř. Úst. geol. 50, 257–264.

Dudek, A., (1980): *The crystalline basement block of the Outer Carpatians in Moravia: Bruno-Vistulicum.* — Rozpr. Čs. Akad. Věd, Ř. mat. přír. Věd. 90, 8, 3-85.

Finger, F., von Quadt, A., Pin, C., Steyrer, HP., (1998): *The ophiolite Chin along the western Moravo–Silesian plate margin; a trace of the Rheic Suture?* — Acta Univ Carol Geol 42: 244–245.

Finger, F., Hanžl, P., Pin, C., Quadt, A., Steyrer, HP., (2000a): *The Brunovistulicum: Avalonian Precambrian at the eastern end of the Variscides.* In: Franke, W., Altherr, R., Haak, W., Oncken, O., Tanner, D., (eds): *Orogenic processes: quantification and modelling in the Variscan Belt of Central Europe.* — Geological Society, London, Special Publications, vol 179, pp 103–112.

Gnojek, I., Sedlák, J., Zabadal, S., (2005): *Geofyzikální podklady z vybraného úseku rosicko-oslavanské pánve.* — Miligal s.r.o. Brno.

Gnojek, I., Sedlák, J., Zabadal, S., (2005): *Geofyzikální podklady z vybraného úseku rosicko-oslavanské pánve, Mapa koncentrace thoria.* - Miligal s.r.o. Brno.

Google Earth (2014): Ivančice — Google Earth [cit. 9.4.2014]

Hanžl, P., Melichar, R., (1997): *Brno Massif: a section through the active continental margin or composed terrane?* — Krystalinikum 23, 33–58.

Hanžl, P., Melichar, R., Gregorová, M., (2000): *Brněnský masiv.* — In: Miller P., Novák Z. (eds.): *Geologie Brna a okolí.* — Čes. Geol. Úst., Praha, 14-17.

Havlena, V., (1976): *Late Paleozoic Paleogeography of Czechoslovakia and the Plzeň Basin.* — Folai. Mus. Rer. Natur. Bohem. occident. Geology 7.

Hönig, S., (2008): *Granátické granity a pegmatity brněnského masivu – nový typ UST* v A-typových granitech?* : Diplomová práce. MS PřF MU Brno. 62 s., 10 s. příl.

Hönig, S., Leichmann, J., Novák, M., (2010): *Unidirectional solidification textures and garnet layering in Y-enriched garnet-bearing aplite–pegmatites in the Cadomian Brno Batholith, Czech Republic.* — Journal of Geosciences, 53, 113–129. [cit. 9.2.2014]
Dostupné z: `http://www.jgeosci.org/content/jgeosci.065_2010_2_honig.pdf`

Jelínek, E., Dudek, A., (1993): *Geochemistry of subsurface Precambrian plutonic rocks from the Brunovistulian complex in the Bohemian massif, Czechoslovakia.* - Precambrian Res., 62, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 103 - 125.

Leichmann, J., (1994): *Trondhjemites of the Brno Massif.* Geol. Výzk. Mor. a Slez. v r. 1993: 82–85.

Leichmann, J., (1996): *Geologie und Petrologie des Bruenner Massivs.* Unveroef. Diss. MS. Universitaet Salzburg.

Leichmann, J., Höck, V., (2008): *The Brno Batholith: an insight into the magmatic and metamorphic evolution of the Cadomian Brunovistulian Unit,eastern margin of the Bohemian Massif.* — Journal of Geosciences, 53, 1, Praha, 281–305.

Mapy.cz (2014): Okres Brno-venkov [cit. 17.3.2014]
Dostupné z: `http://mapy.cz/s/9rI9`

Mareš, S., (1979): *Úvod do užité geofyziky.* — SNTL – Nakladatelství. Praha, 591 s.

Matolín, M., (1970): *Radioaktivita hornin Českého masívu.* — Academia. Praha, 99 s.

Matolín, M., Chlupáčová, M., (1997): *Radioaktivní vlastnosti hornin.* — In: Kobr M. et al. (eds): *Petrofyzika* — Vydavatelství Karolinum. Praha, 109–126.

Mitrenga, P., Rejl, L., Weiss, J., (1976): *Nové poznatky o geologické stavbě brněnského masívu.* — Nové výzkumy na Moravě, 33-39.

Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V., Weiss, J. (1983): *Geologie ČSSR I : Český masív.* — Státní pedagogické nakladatelství. Praha, 333 s.

Mojžeš, A., (2012): *Metodika terénnych geofyzikálnych meraní rádioaktivity hornín.* Vysokoškolské skriptá. UK Bratislava, 1 – 113. [cit. 11.2.2014]
Dostupné z:
`http://www.fns.uniba.sk/uploads/media/Metodika_terennych_geofyzikalnych_merani_radioaktivity_hornin.pdf`

Novosád, T., (2011): *Gamaspektrometrická charakteristika žilných granátických granitů jižní části brněnského masivu*: Bakalářská práce. MS PřF MU Brno. 28 s.

Sedláková, I., (2008): *Gamaspektrometrická charakteristika vybraných typů granitů brněnského masivu*: Bakalářská práce. MS PřF MU Brno. 30 s., 4 s. příl.

Sedláková, I., Leichmann, J., (2009): *Thoriem bohaté granity západní části brněnského masivu* — Geol. Výzk. Mor. Slez., Brno, 118–120.

Skála, P., (2012): *Radioaktivita Th-bohatých granitů při západním okraji metabazitové zóny, brněnský masiv*: Bakalářská práce. MS PřF MU Brno. 31 s., 6 s. příl.

Suess, F. E., (1903): *Vorläufiger Bericht űber die geologische Aufnahme im sűdlichen Theile der Brűnner Eruptivmasse.* — Verh. RA, Jg. Wien, 381-389.

Štelcl, J., et al. (1980): *Petrologie brněnského masivu a jeho korelace s některými kadomskými plutony evropských variscid.* – MS, PF UJEP - Brno.

Štelcl, J., Weiss, J., Gregorová, M., Staněk, J., Štelcl ml., J., (1986): *Brněnský masív.* - Universita J. E. Purkyně v Brně.

van Breemen, O., Aftalion, M., Bowes, D., Dudek, A., Mísař, Z., Povondra, P., Vrána, S., (1982): *Geochronological studies of the Bohemian Massif, Czechoslovakia, and their signifikance in the evolution of Central Europe.* — Trans. Roy. Soc. Edinburgh: Earth Science, 73, 89 - 108.

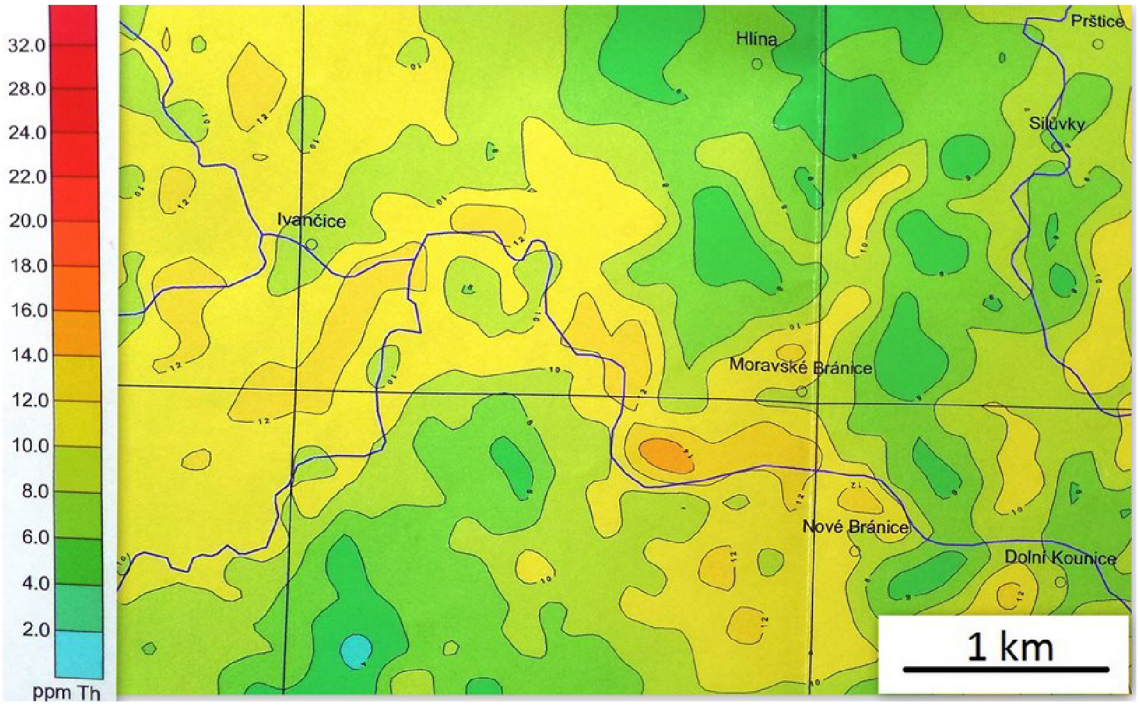
9 Prílohy

- **Príloha 1:** Foto chloritizovaného biotitického granitu, vzorka V7.
- **Príloha 2:** Foto biotitického amfibolického dioritu, vzorka V17.
- **Príloha 3:** Mapa distribúcie tória.
- **Príloha 4:** Rozdiely draslíku, uránu a tória medzi terénnym a laboratórnym meraním.

Príloha 1: Foto chloritizovaného biotitického granitu, vzorka V7.

Príloha 2: Foto biotitického amfibolického dioritu, vzorka V17.

Príloha 3: Mapa distribúcie tória.



Prevzaté z Gnojek, i., et. al., (2005)

Príloha 4: Rozdiely draslíku, uránu a tória medzi terénnym a laboratórnym meraním.

		K	U	Th
meranie	hornina	rozdiel ter./lab.	rozdiel ter./lab.	rozdiel ter./lab.
V 1	chloritizovaný biotitický granit	0,25	2,98	2,93
V 2	chloritizovaný biotitický granit	0,16	0,5	3,43
V 3	chloritizovaný biotitický granit	-0,45	2,76	3,39
V 4	chloritizovaný biotitický granit	1,21	2,53	6,65
V 5	chloritizovaný biotitický granit	0,44	1,96	2
V 6	chloritizovaný biotitický granit	0,31	3,32	11,26
V 7	chloritizovaný biotitický granit	0,56	2,22	5,29
V 8	chloritizovaný biotitický granit	0,94	1,39	-16,98
V 10	chloritizovaný biotitický granit	1,18	1,12	7,48
V 11	chloritizovaný biotitický granit	-0,32	-0,72	12,49
V 12	chloritizovaný biotitický granit	1,77	-0,68	6,6
V 13	chloritizovaný biotitický granit	1,35	-0,35	15,13
V 14	chloritizovaný biotitický granit	-0,5	1,73	17,46
V 14	biotiticko amfibolický diorit	1,09	2,62	10,35
V 15	biotiticko amfibolický diorit	0,99	0,63	1,82
V 16	biotiticko amfibolický diorit	-0,01	-1,55	8,13
V 17	biotiticko amfibolický diorit	-1,4	1,19	8,39
V 18	biotiticko amfibolický diorit	-1,46	0,08	7,86
V 19	biotiticko amfibolický diorit	0,49	3,47	5,49
V 20	biotiticko amfibolický diorit	-0,26	-1,92	12,11

Žltou je zvýraznený nárast obsahu prvku pri laboratórnom meraní.