

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Hospodaření s přírodními zdroji



Tomáš Černík

Radioaktivita granitoidů krkonošsko-jizerského plutonu
Radioactivity of granitoids of the Krkonoše-Jizera pluton

Bakalářská práce

Vedoucí: Mgr. Viktor Goliáš, PhD.

Praha, 2012

Děkuji svému školiteli Mgr. Viktoru Goliášovi, Ph.D., za odborné konzultace a trpělivost. Dále bych rád poděkoval RNDr. Pavle Gúrtlerové za provedení výběru z litogeochemické databáze ČGS, Mgr. Pavlu Veselému za umožnění přístupu a pomoc v archívu a.s. DIAMO a RNDr. Vladimíru Lysenkovi, Doc. RNDr. Jiřímu Žákovi, Ph.D. a RNDr. Ivanu Gnojčkovi za cenné konzultace. Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat svým rodičům za podporu při studiu a psaní bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci zpracoval samostatně z uvedených pramenů a literatury a na základě konzultací se svým školitelem. Současně dávám svolení k tomu, aby tato práce byla zpřístupněna v příslušné knihovně UK a prostřednictvím elektronické databáze vysokoškolských kvalifikačních prací v depozitáři Univerzity Karlovy a byla používána ke studijním účelům v souladu s autorským právem.

Tomáš Černík

Praha, 2012

1. ABSTRAKT

Tato práce se zaměřuje na přirozenou radioaktivitu krkonošského plutonu. Krkonošský pluton se rozděluje na šest dílčích typů granitu: Jizerský, liberecký, fojtský, tanvaldský, harrachovský a krkonošský. Cílem práce bylo porovnat tyto granity a zjistit zda je mezi jednotlivými typy těchto granitů výrazný rozdíl obsahu radioaktivních prvků U, Th, K. Na základě literárních údajů z české i z polské části plutonu byly ke každému typu granitu přiřazeny údaje analyzovaných vzorků (obsahy K, U, Th). Lokalizované body odběru byly přiřazeny k jednotlivým typům krkonošsko-jizerských granitoidů. Soubor analytických dat byl statisticky zhodnocen. Na základě statistického zpracování dat se podařilo prokázat výrazný rozdíl v obsazích radioaktivních prvků u jednotlivých typů granitů. Nejvíce radioaktivní je žula harrachovská. Žula tanvaldská má výrazně anomální poměr $U/Th > 1$. Ostatní typy mají radioaktivitu pouze průměrnou.

Dále byla prověřena významná letecká gamaspektrometrická anomálie jihozápadně od Hejnic. Zde bylo provedeno pozemní gamaspektrometrické měření, které výrazné zvýšení aktivity oproti okolnímu horninovému prostředí neprokázalo. Tato anomálie je pravděpodobně vyvolána malou zakrytostí horniny, případně i geometrickými vlivy měření v horském terénu.

2. SUMMARY

This thesis is focused on the natural radioactivity of the Krkonoše pluton, which is divided in 6 particular types of granite: the Jizera, the Liberec, the Fojtka, the Tanvald, the Harrachov, the Krkonoše ones.

The goal of the thesis was to compare these values and find out whether there was an unlike element (U, Th, K) content difference.

Based on literature data about the Czech and Polish part of pluton, there was assigned data of the analysed samples (of contents of K, U, Th) to each type of granite. The literature data was refined on the base of the current knowledge. The localized collection points were assigned to the particular types of the Krkonoše - Jizera granitoids.

The analytic data collection was statistically evaluated. On the base of the statistic data evaluation significant differences of the radioactive element content of the particular types of granite was proved. The most radioactive one is the Harrachov granite. The Tanvald one has a distinctively anomalous ratio of U to Th higher than 1. The other types of granite have only an average level of radioactivity. There was also checked a significant aerial gamaspectrometric anomaly in the south - west direction of Hejnice. There was made a field gamaspectrometric measurement, which did not prove the significant increase in an activity in comparison to the surrounding geological environment. This anomaly is probably caused by a little coverage of the rock, or by a geometric effect eventually.

OBSAH

1. ABSTRAKT	
2. SUMMARY	
3. ÚVOD	1
4. CHARAKTERISTIKA GRANITOIDŮ KRKONOŠSKO-JIZERSKÉHO PLUTONU	2
4.1. Geografické vymezení krkonoško-jizerského plutonu	3
4.2. Rozdělení krkonoško-jizerského plutonu podle typu granitu	4
4.2.1. Typ G1 - jizerský granit porfyrický, biotitický adamelit až granodiorit	5
4.2.2. Typ G2 - liberecký granit-porfyrická žula až adamelit, hrubě až středně zrnitý porfyrický biotitický granit	6
4.2.3. Typ G3 - harachovský granit – středně zrnitý biotitický granit	6
4.2.4. Typ F - fojtský granit - porfyrický drobnozrnitý, mesokrání amfibol-biotitický granodiorit (fojtské hybridní granitoidy)	6
4.2.5. Typ G - krkonošský granit - drobnozrnitý biotitický granit	7
4.2.6. Typ D - tanvaldský granit - dvojslídna žula	7
5. PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA GRANITOIDNÍCH HORNIN ČR	8
6. PŘEHLED PROVEDENÝCH PRŮZKUMŮ - RADIOMETRICKÁ PROZKOUMANOST	9
6.1. Letecká radiometrické mapování	9
6.2. Pozemní radiometrické měření v oblasti krkonoško-jizerského plutonu	13
6.3. Laboratorní měření obsahu radioaktivních prvků	14
7. SEZNAM A POPIS PŘEVZATÝCH DAT OBSAHU RADIOAKTIVNÍCH PRVKŮ POUŽITÝCH PRO STATISTICKÉ HODNOCENÍ SOUBORU GRANITOIDŮ KRKONOŠSKO-JIZERSKÉHO PLUTONU	15
8. ZHODNOCENÁ DAT A VÝSLEDKY.....	17
9. OVĚŘENÍ LETECKÉ GAMASPEKROMETRICKÉ ANOMÁLIE U HEJNIC	20
10. DISKUSE	23
11. ZÁVĚR	25
12. POUŽITÁ LITERATURA	26
13. PŘÍLOHA	29

3. ÚVOD

Radioaktivita je součástí životního prostředí už od samotného vzniku země před 4.6 mld. let. Nejvyšší přirozené dávky působící na biosféru pocházejí z horninového prostředí.

Rozpadové řady radioaktivních prvků se podílí na tepelném toku v litosféře. Mnoho let před tím než byla radioaktivita objevena Marií Curie-Sklodowskou s ní lidé přicházeli do styku, a to i větší míře, například při dobývání nerostných surovin (například stříbrné rudy v 16. stol.), tak při využívání minerálního pigmentu připraveného z uranových sekundárních minerálů na zdobení těl severoamerickými indiány na Colorado Plateau.

Bohužel ve 20. stol. následkem havárie a válečných konfliktů, počala být radioaktivita vnímána jako cosi nepřirozeného, negativního. Štěpné reakce, dnes využívané v jaderných reaktorech, pobíhaly v geologicky dávných dobách na zemi přirozeně a to v dobře známé lokalitě přírodních jaderných reaktorů Oklo v Gabonu.

Česká republika je zemí celosvětového významu ve výskytu uranových ložisek. Také úroveň přirozené radioaktivity je území ČR přinejmenším nadprůměrné. Jako jeden z hlavních horninových zdrojů způsobujících zvýšené pole radioaktivity jsou právě granitoidy.

Také granitoidní horniny krkonošsko-jizerského plutonu vykazují zvýšenou radioaktivitu. Je to však těleso velmi litologicky heterogenní a z toho to důvodu i rozdílné v obsazích radioaktivních prvků. Tuto problematiku má za cíl osvětlit následující bakalářská práce.

4. CHARAKTERISTIKA GRANITOIDŮ KRKONOŠSKO-JIZERSKÉHO PLUTONU

Krkonoško-jizerské krystalinikum je jednou z částí geologické jednotky Českého masivu – Iugika. Tato jednotka oválného tvaru je protažena ve směru ZSZ – VJV. Její jižní a východní část překrývají podkrkonošské svrchnopaleozoické sedimenty a sedimenty vnitrosudetské pánve. Na severu je krystalinikum omezeno vnitrosudetským zlomem a hraničí s metamorfovanými komplexy krystalinika Kačavských hor. Severozápadní část lemují horniny lužického plutonu (žuly, granodiority, jizerské ortoruly). Podél lužické poruchy se celé krystalinikum nasouvá na sedimenty křídý (Chaloupský a kol. 1989).

Samotné jádro krystalinika je tvořeno sledy svorů a fylitů, místy s vložkami kvarcitů, erlánů, grafitických břidlic, amfibolitů a krystalických vápenců. Toto jádro jednotky je olemováno svrchnoproterozoickými horninami, které jsou tvořeny fylity s vložkami bazických a kyselých metavulkanitů. Společně tak pokračují a navazují na jim podobný komplex tepelsko-barrandienský .

Jižní část krystalinika je překryta zvrásněnými slabě metamorfovanými horninami stáří svrchního proterozoika – středního kambria. Tyto komplexy překrývají jednotky prekambriké.

Celé krystalinikum je rozděleno na několik dílčích úseků:

- krkonoško-jizerský masiv – žulové intruze variského stáří
- jizerský komplex - rulový komplex; prekambriké stáří; ortoruly; svory
- ještédské krystalinikum – slabě metamorfované horniny; stáří svrchnoproterozoického – spodnokarbonského
- železnobrodské krystalinikum – komplex fylitů; stáří svrchnoproterozoického – silurského + vulkanické horniny stáří kambria
- krkonošské krystalinikum – svory; ruly; stáří prekambria
- rýchorské krystalinikum – horniny charakteru břidlic; stáří kambrium – silur

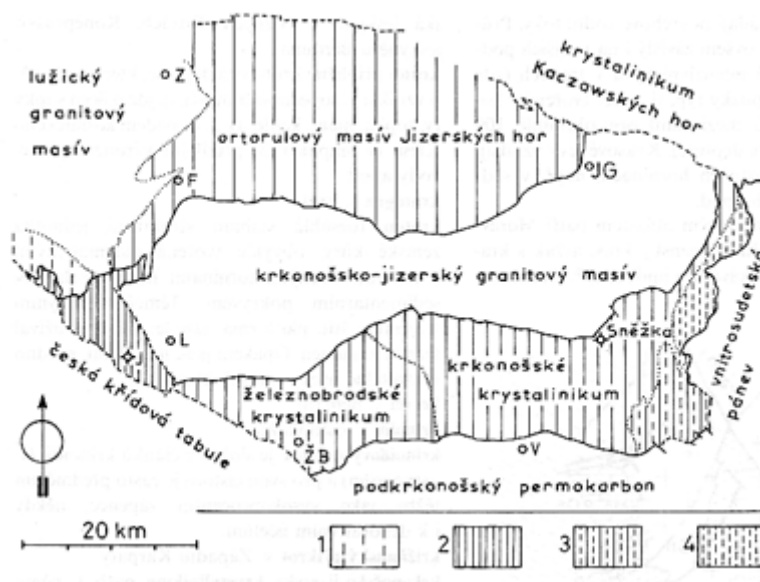
Celková rozloha krystalinika činí zhruba 1100 km². Na naše území zasahuje jeho část o rozloze zhruba 700 km².

Co se týče území Polska, zde řadíme mezi jednotky krystalinika ještě celky kowarské, niedamirowské a leszczyńskie jednotky (Slaby 2002).

Pro krkonoško-jizerské krystalinikum jsou typickými horninami ruly, které tvoří jeho převážnou jihovýchodní část. Odtud pozvolna přecházejí do hornin typu svorů. Tyto horniny jsou převážně břidličnaté a v mineralogickém složení je zastoupen křemen, K-živce, muskovit a biotit. Jílovité a drobové sedimenty, které tvoří základ oblasti, prošly minimálně dvěma fázemi metamorfózy.

Severní část krystalinika je tvořena jizerskými rulami, které se rozkládají mezi krkonošským plutonem a krystalinikem Kačavských hor. Hlavní podíl však mají na tvorbě území Polska (Mazur 2002).

Samotné jádro krystalinika je petrograficky poměrně homogenní. Převládá zde středně zrnitá porfyrická, biotitická žula, která přechází až do granodioritu. Žíly jsou v této oblasti poměrně ojedinělé a pokud se zde nalézají, jsou tvořené převážně aplity a pegmatity (Klomínský 1969).



Obr. 1. Schématická geologická mapa krkonošsko-jizerského krystalinika. 1 - nízká rula, 2 - ještědské krystalinikum, 3 - rýchorské krystalinikum, 4 - leszczyniecká jednotka; F - Frydlant, J - Ještěd, JG - Jelenia Góra (Polsko), L - Liberec, V - Vrchlabí, Z - Zawidów (Polsko), ŽB - Železný Brod. (Petránek 1993).

4.1. Geografické vymezení Krkonošsko-Jizerského plutonu

Krkonošsko-jizerské granitoidní těleso je umístěné ve svrchním karbonu do centra lugu, nacházející se v severní části Českého masívu. Je členěno na základní litologické granitoidní jednotky: jizerská, liberecká, fojtská, harrachovská a krkonošská.

Výjimkou je však tanvaldské granitoidní těleso, které je osamostatněno od ostatních typů, které si jsou vzájemně podobné, tanvaldský typ se nachází na j. okraji krkonošsko-jizerského masívu. Tanvaldský typ se odlišuje základními petrologickými rozdíly: např. výskytem granátu, andalusitu a albitu (Klomínský a kol. 2006). Proto je jeho souvislost s jinými tělesy v krkonošsko-jizerském plutonu častou otázkou diskuzí. Souborný přehled názorů na genezi Tanvaldského granitu podává Kvičinský (1986).

4.2 Rozdělení Krkonoško-jizerského plutonu podle typu granitu

Na základě terénních kritérií (velikosti, množství vyrostlic K-živce, zrnitosti základní hmoty a intruzivních kontaktů) vymezili Klomínský (1969) a Klomínský a kol. (2010) několik horninových typů :

G1 – výrazně porfyrický biotitický granodiorit (jizerský)

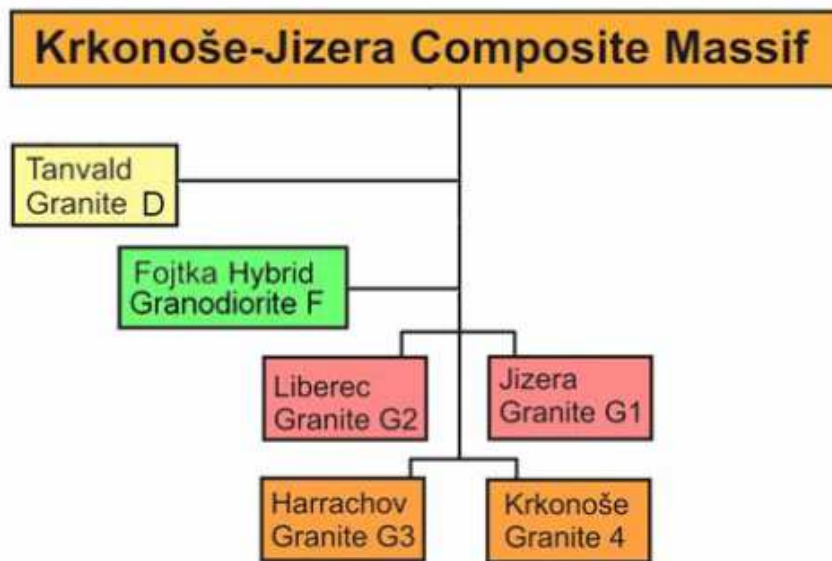
G2 – porfyrický biotitický granit (liberecký)

G3 – středně zrnitý biotitický granit (harrachovský)

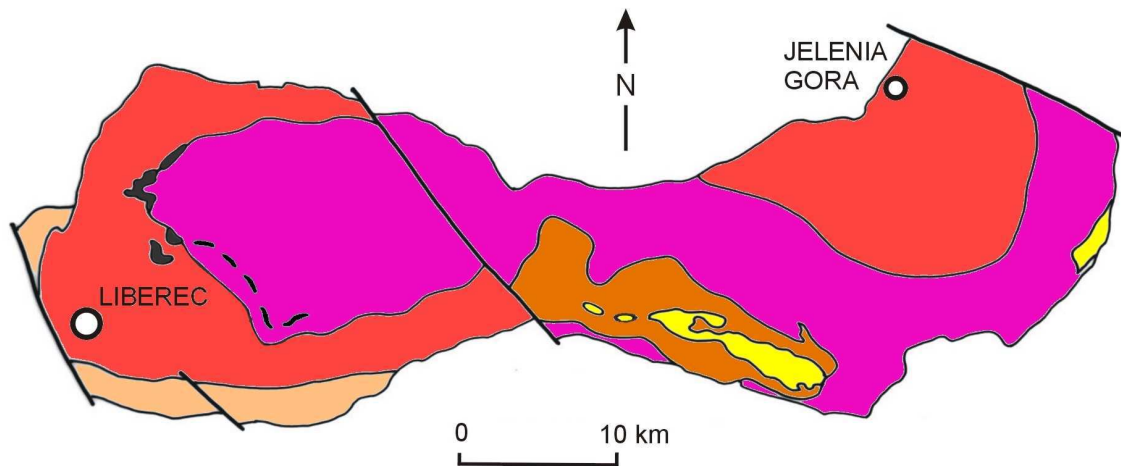
G – drobnozrnitý biotitický granit (krkonošský)

F – porfyrický drobnozrnitý, mesokrání amfibol-biotitický granodiorit (fojtské hybridní granitoidy)

D – středně zrnitý muskoviticko-biotitický až biotitický alkalicko živcový granit (tanvaldský granit)



Obr. 2. Hierarchické schéma ukazující na petrografickou a geochemickou spřízněnost jednotlivých granitových typů krkonoško-jizerského plutonu (Klomínský a kol. 2010).



Obr. 3. Krkonošsko-jizerský granitový pluton s rozdělením na jednotlivé typy: 1 – jizerský granit, 2 – granit typu fojtka, 3 – liberecký granit, 4 – harrachovský granit, 5 – krkonošský granit, 6 – tanvaldský granit, 7 – zlomy (Klomínský a kol. 2010)

4.2.1. Typ G1 - jizerský granit porfyrický, biotitický ademelit až granodiorit

Převážnou většinu plochy krkonošsko-jizerského masívu zabírá výrazně porfyrický granodiorit typu G1, který leží v centrální části Jizerských hor ve tvaru mírně klenuté desky mocné až několik set metrů (Fatková 1969), s planárním i lineárním uspořádáním vyrostlic.

Nezvětralá hornina je světle šedá s růžovým odstínem. V hornině je zastoupen plagioklas, draselný živec, chlorit, biotit výjimečně amfibol a jiné akcesorie. Vyrostlice jsou utvořeny především hypidiomorfním draselným živcem, ten způsobuje přítomný červený, růžový odstín. Vyrostlice o velikostech 3-5 cm, málokdy větší. Draselný živec se vyskytuje v základní hmotě ve formě karlovarských dvojčat.

Ve velkých vyrostlicích je uzavřen biotit a drobné plagioklasy jako lišty. Biotit se v základní hmotě vyskytuje jako hypidiomorfně omezené tabulky až slupky, velikost nepřesahuje 2 mm. Tvoří agregáty volně uskupených tabulek, výjimečně se shlukuje s amfibolem. Velikost těchto agregátů nepřevyšuje 3-5mm. Amfibol je průměrně ve velikosti 2 mm, ale vyskytuje se v minimálním množství. Z akcesorií je nejvýraznější allanit (Klomínský a kol. 2004).

4.2.2. Typ G2 - liberecký granit-porfyrická žula až adamelit, hrubě až středně zrnitý porfyrický biotitický granit

Je tvořen hlubším tělesem krkonošsko-jizerského masívu. K povrchu vystupuje převážně v podloží porfyrického granitu a to v depresních částech plutonu též při jeho jižním okraji. Tato hornina ve svém typickém zjevu vystupuje v okolí Liberce, zde se těží jako stavební, dekorační kámen (lom v Ruprechticích). V nezvětralém stavu má narůžovělou barvu; to je vyvoláno růžovými vyrostlicemi draselných živců, ty totiž zaujímají až polovinu makroskopicky pozorované plochy a to v krátkém sloupcovitém tvaru.

Největší vyrostlice však na rozdíl od jizerského typu dosahují maximálně 3 cm. V základní hmotě je ještě zastoupen plagioklas, křemen, biotit, častěji amfibol, muskovit, apatit, titanit, allanit, magnetit, pyrit a akcesorický zirkon. Zvětráváním vznikají druhotné minerály sericit, chlorit, epidot a limonit. V drobnějších krystalech a v menším množství se vyskytují vyrostlice bělavých plagioklasů. Albitem lemované mohou být vyrostlice draselných živců. V základní hmotě je zastoupen kouřový křemen a nevelké množství biotitu cca (8-10 %), růžový draselný živec a bílý až nazelenalý plagioklas (Klomínský a kol. 2004).

4.2.3. Typ G3 - harachovský granit – středně zrnitý biotitický granit

Má zásadní podíl na stavbě střední části tělesa táhnoucího se v rámci hlavního hřebene Krkonoš. Vyskytuje se ale i v ostrůvcích menší velikosti na východě jizerských hor v okolí Polubného. Liší se od typu G1 a G2 kyselejším charakterem, hornina má jemnější strukturu a téměř žádné vyrostlice. V tomto typu bylo zjištěno více variant s různou zrnitostí základní matrix (Fatková 1969, Klomínský a kol. 2006).

4.2.4. Typ F - fojtský granit - porfyrický drobnozrnitý, mesokrání amfibol-biotitický granodiorit (fojtské hybridní granitoidy)

Představuje zjevně nestejně granitizované reliktu amfibolitu (Klomínský 1969). V okolním granitu jsou uspořádány v téměř 12 km dlouhém přerušovaném pásmu, sledujícím zřetelnou stratiformní pozici mezi oběma typy porfyrických biotitických granitů. (Chaloupský a kol. 1989). Drobně zrnitý výrazně porfyrický amfibol-biotitický granodiorit až kvarcdiorit (fojtský) „Tato velmi heterogenní hornina patří do širší skupiny fojtských granitoidů. Dříve byla označována jako granitový porfyr (Gränzer 1927) a později popsána např. jako typ Žulový vrch a Fojtka“ (Klomínský 1969). Klasickou lokalitou tohoto fojtského typu jsou dnes již opuštěné lomy na svahu Žulového vrchu u obce Fojtka. Jedná se o šedou, černě kroupnatou horninu s drobnozrnitou základní hmotou. Čitelné jsou vyrostlice draselného živce, plagioklasu a fenokrysty křemene. V základní hmotě najdeme ještě biotit, amfibol,

akcesorický titanit, allanit, ilmenit, zirkon, dále druhotný sericit a chlorit. Charakteristickou vlastností všech hornin patřících do skupiny fojtských granitoidů jsou až centimetrové oválné „kulovité“ uzavřeniny drobnozrnného dioritu a právě xenokrysty kouřového křemene. V heterogenní suítě fojtských granitů se vyčleňuje ještě výrazně porfyrický drobně až středně zrnitý biotitický granit (fojtský) patřící mezi nejkyselější ze série fojtských granitoidů, s výskytem mezi amfibol-biotitickým granodioritem a libereckým granitem na žulovém vrchu nedaleko Fojtky (Klomínský a kol. 2004).

4.2.5. Typ G - krkonošský granit - drobnozrnný biotitický granit

Tento typ se vyskytuje v centrální hřebenaté části Krkonoš, především ve vrcholových partiích. Vyskytuje se také ve východní části jizerských hor, v okolí Liberce, a to v Bedřichově a poblíž Fojtky. Ten je dále petrograficky rozdělen do různých od sebe odlišných typů, některé popsala Borkowska (1966) jako granofyrové granity.

4.2.6. Typ D - tanvaldský granit - dvojslídňá žula

Samostatné postavení v krkonoško-jizerském plutonu má dvojslídňý tanvaldský granit. Tvoří 20 km dlouhé a až 4 km široké těleso, které lemuje biotitický granit liberecký při jižním a západním okraji plutonu.

Vystupuje na povrch v jižní okrajové části krkonoško-jizerského masívu a to mezi Tanvaldem a Chrastavou. Toto těleso je strmě ukloněné k jihu, v podobě až 3 km mocné žíly. Tanvaldský granit se vyskytuje také u Chrastavy a to při západním okraji krkonoško-jizerského masívu. Na východě v okolí Tanvaldu toto těleso vystupuje na povrch (Fatková 1969).

Hornina je středně až hrubě zrnitá, světlá až žlutavá s odstínem růžové, muskovit-biotitická. Se složením převážně draselného živce, plagioklasu (albitu až albit-oligoklasu), křemene, biotitu muskovitu a s možným výskytem granátu. Akcesorie apatit, andalusit, monazit, turmalín, titanit, zirkon. Jedná se hlavně o granát a andalusit, jež jsou charakteristickými minerály tanvaldského granitu a tudíž ho výrazně oddělují od ostatních typů, kterým tyto prvky chybí (Abraham a kol. 2000). Bouřlivá krystalizace tanvaldského granitu signalizovaná zvýšeným obsahem těkavých prvků (F, Rb), je pozorovatelná na zonálních živcích, komplikovanějších srůstech plagioklasů a korozích muskovitu. Výjimečně se v prostředí endokontaktu vyskytují znaky greisenizace a zvýšené koncentrace uranu. Žlutavou barvu této hornině dodává limonitický pigment ten se vyskytuje při agregátech slíd a tvoří povlaky zrn (Mrázová a kol. 2006).

5. PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA GRANITOIDNÍCH HORNIN ČR

Radioaktivita hornin je způsobena přítomností radioaktivních prvků, přírodních radionuklidů, jež jsou zdroji radioaktivního záření. Ta se projevuje nejčastěji zářením gama a to u prvků U, Th, a K. Měření radioaktivity se provádí letecky, pozemním měřením, ve vrtech karotáží, automobily i laboratorně.

Systematický výzkum byl započat v 50. letech minulého století. Byla detekovaná nejprve celková gama aktivita (Matolín 1970), později však pomocí moderní laboratorní gamaspektrometrie bylo možno určit koncentrace příslušných prvků K, U, Th (např. pionýrská práce Lepky 1980). Dnes již známe radioaktivitu všech význačnějších typů hornin vyskytujících se na území ČR, včetně granitoidních hornin velmi detailně (Ibrmajer, Suk 1989, Mannová, Matolín 1995), ale i z území Polska (Bieda a kol. 2008).

Radioaktivita granitoidů je v porovnání s jinými typy hornin obvykle zvýšená; ani granity ČR nejsou výjimkou (Matolín 1970, Mannová, Matolín 1995). Přehled o průměrných dávkových příkonech na jednotlivých komplexech granitoidů ČR podává Tab. 1.

Tab. 1. Přehled průměrných dávkových příkonů záření gama granitoidních hornin ČR v porovnání s jinými typy radioaktivnějších hornin rozdílné geneze (<http://www.enviport.cz/radioaktivita-horninoveho-p.aspx>).

TYP	D_a (dávkový příkon)
Granitoidy typu Čertova břemene	220
Granity - syenodiority třebíčského typu	200
Teplický ryolit	160
Granitoidy sedlčanského typu	150
Syenity jihlavského masivu	150
Horské granity nejdecko-eibenstockého masivu	150
Granity weinsberského a čiměřického typu	140
Žumberecké a skutečské granity	140
Migmatity podolského komplexu	140
Migmatity a ortoruly Orlických hor	140
Granity smrčinského typu	135
Sedmihorský peň kladubského masivu	135
Granity krkonoško-jizerského masivu	125
Granitoidy tábořského typu	125
Ortoruly a migmatity časlavského krystalinika	120
Ortoruly a migmatity svrateckého krystalinika	120
Paleovulkanity křivoklátsko-rokycanského pásma	120
Silurské graptolitové břidlice Barrandienu	120

D_a – dávkový příkon záření nGy*h⁻¹

6. PŘEHLED PROVEDENÝCH PRŮZKUMŮ - RADIOMETRICKÁ PROZKOUMANOST

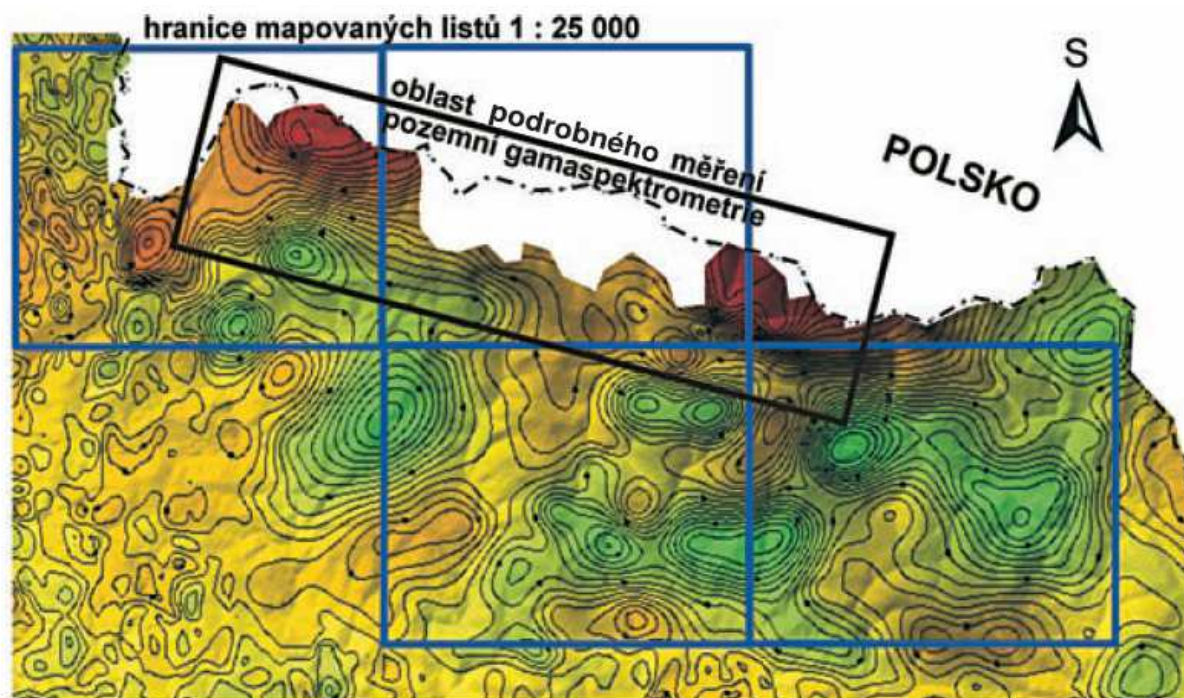
6. 1. Letecké radiometrické mapování:

Aeroradiometrický průzkum slouží k získávání údajů o horninovém podloží a jeho radioaktivitě. Při aeroradiometrickém průzkumu se používají přístroje – letecké radiometry, nověji též gamaspektrometry nesené letadlem, které detekují záření gama a analyzují jeho spektrum. Úroveň detekovaného záření gama je závislá na letové výšce, které s vyšší výškou ubývá a naopak. Závisí zde ještě na velikosti zdroje gama záření. Anomálie zabírající menší území jsou hůře detekovatelné, než plochy s menší aktivitou ale za to s větší plochou (Matolín 1977).

Měření dále ovlivňuje geometrie měření a morfologie terénu. Při držení stejné letové hladiny se elevace projevují nižšími výslednými hodnotami, zato konkávní útvary jako údolí se projevují zvýšením výsledných hodnot. Rozsah úhlu je většinou vztažen k průměru $2r$ kruhové plochy (Matolín 1977).

Krkonoško-jizerský pluton variského stáří vykazuje proměnné zvýšené pole intenzity gama. Krkonoško-jizerské granitoidy mají vysoký obsah draselného živce; to je jedna z příčin zvýšené radioaktivity plutonu. Proměnlivost radioaktivity je daná nejen nerovnoměrným rozložením radioaktivních prvků v granitoidech, ale má na ni vliv také stavba terénních a povrchových útvarů, tedy podmínky pro letecké měření v horských oblastech. Prvotní pohled na radioaktivní charakteristiku horninového podloží nám může poskytnout zejména letecké radiometrické měření (Matolín 1970).

První data z leteckého měření radioaktivity byla k dispozici v 50. let minulého století (Sine 1965). Ta přinášejí informace o úhrnné gama aktivitě v měřítku 1 : 200 000. Toto jsou také jediná dostupná aeroradiometrická data z centrální části Krkonoš. Z těchto údajů lze sledovat jen absolutní anomálie vzhledem k okolí, „maximální hodnoty“ krkonoško-jizerského masívu na severu, minimální hodnoty, které se nacházejí na jihovýchodě. Největší aktivita byla naměřena v hlavní hřebenové části Krkonoš (Obr. 4).



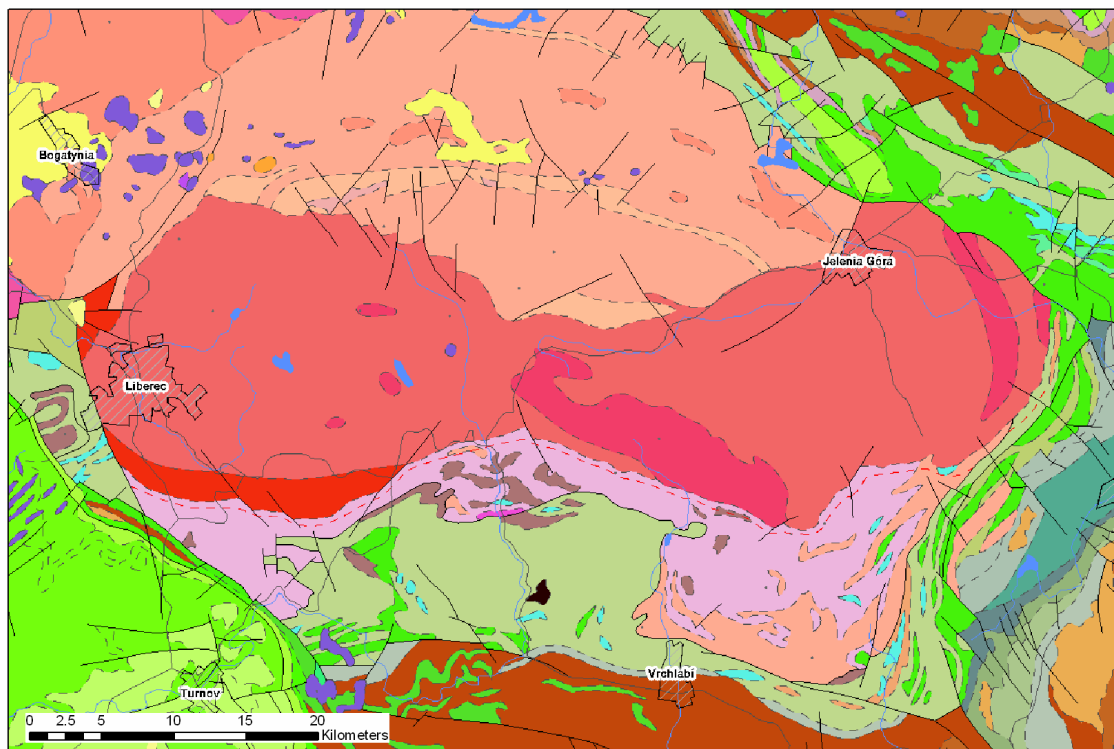
Obr. 4. Výřez z letecké radiometrické mapy kompilované z dat měření v měřítku 1:200 000 (sine 1965) a v měřítku 1:25 000 (Šalanský 1977) s vyznačením území plošného gamaspektrometrického měření (Skácelová, Žáček 2007). Jsou patrné vysoké hodnoty úhrnné gama aktivity na granitu krkonošského typu v blízkosti státní hranice.

Většina území krkonošsko-jizerského plutonu a krkonošsko-jizerského krystalinika (mimo centrálních Krkonoš) byla později pokryta také leteckým měřením úhrnné gama aktivity v měřítku 1:25 000 (Šalanský 1977).

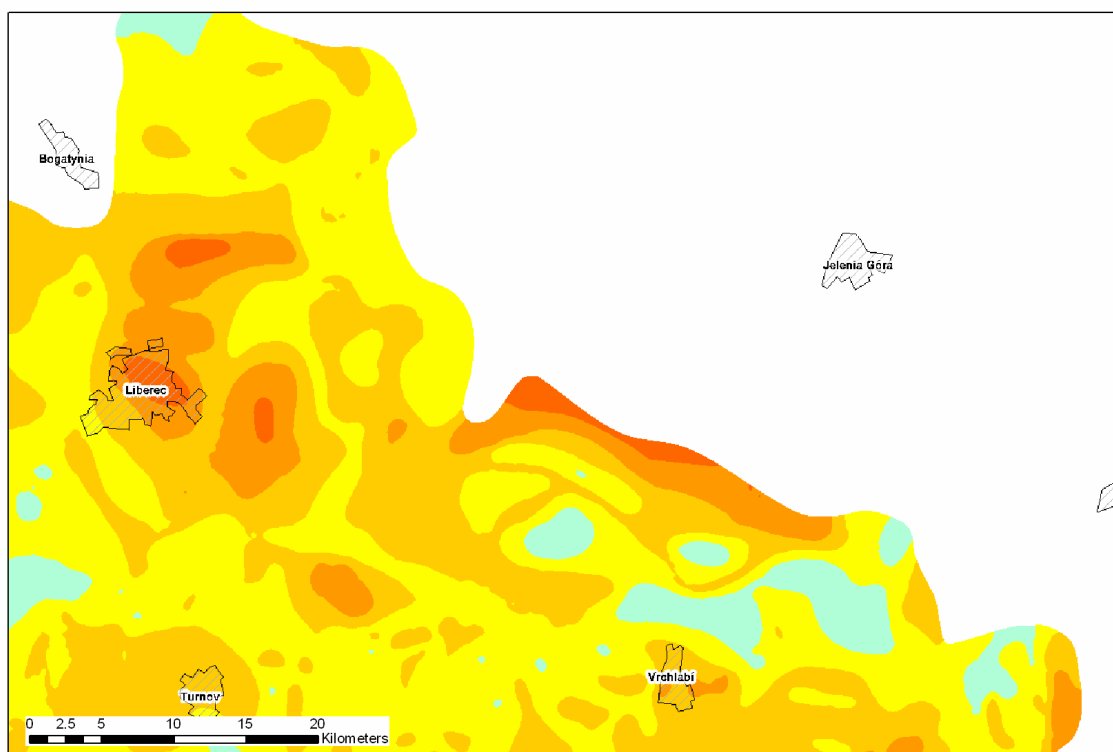
Toto měření již poskytlo poměrně detailní obraz rozložení radioaktivity jizerské části plutonu (Lysenko 2007). Z těchto předchozích měření a údajů z dalších oblastí byla sestavena Manovou a Matolínem (1995) přehledná radiometrická mapa České republiky, ze které je sestaven výřez, který je porovnán s geologií v regionálním měřítku (Obr. 5. a 6.).

V centrální části Krkonoš bylo prováděno ještě pozdější letecké gamaspektrometrické měření. Tato geofyzikální akce však dne 30.9.1997 skončila tragicky. Zahynuli zde tři ze čtyř členů posádky, včetně geofyziků Viktora Höschla a Radima Roudného z firmy PICODAS v důsledku nepřehledného horského terénu, špatného počasí a přecenění schopností pilota (<http://www.vrtulnik.cz/accidents/kata005.htm>).

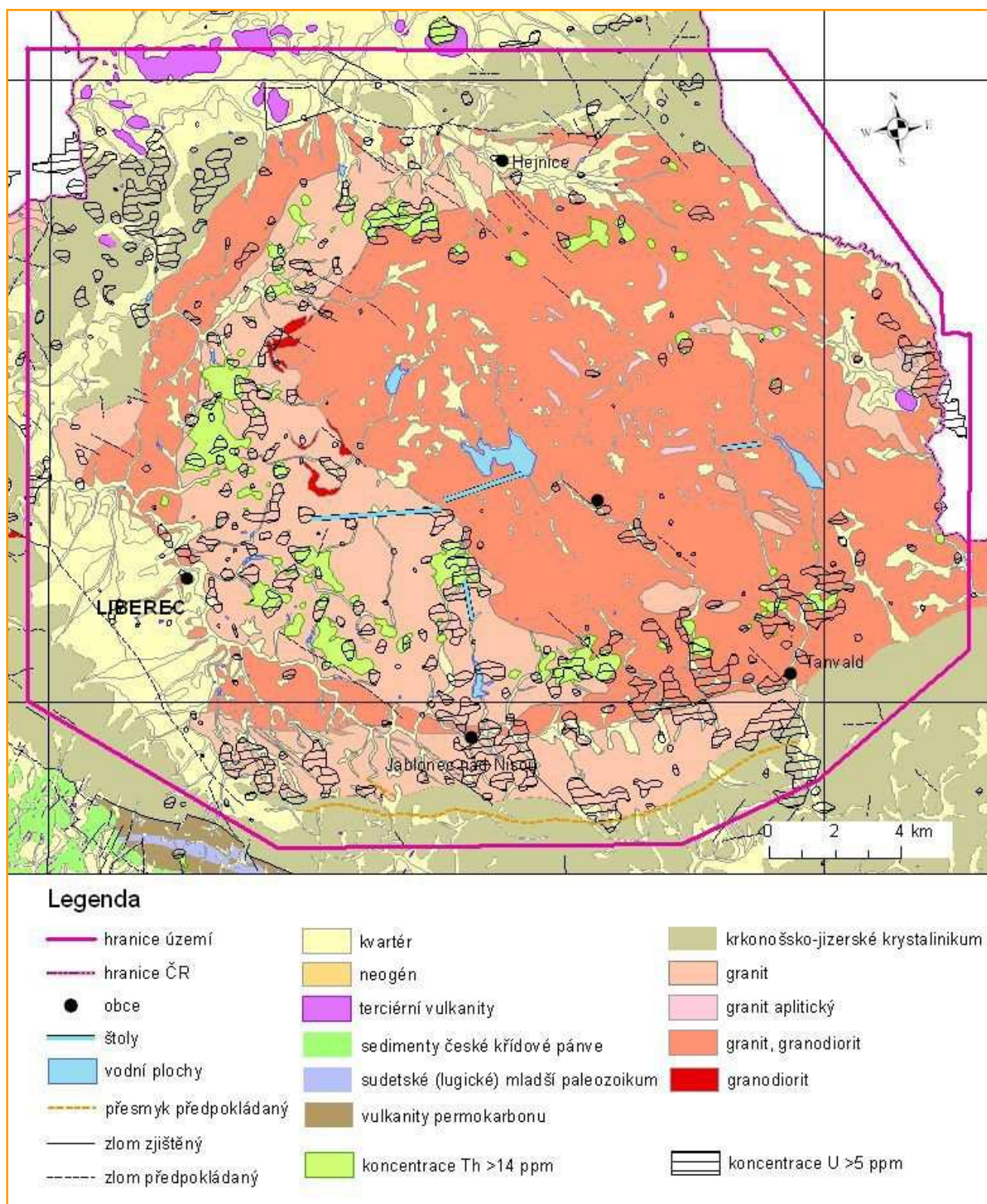
Poslední radiometrickou akcí byla realizace leteckého gamaspektrometrického měření v oblasti Jizerských hor v měřítku 1:25 000 (Sedlák a kol. 2005). Toto měření poskytlo velmi detailní obraz o rozložení přirozené radioaktivity i koncentracích K, U, Th v dotčené části KJ plutonu. Nejvyšší koncentrace radioaktivních prvků i nejvyšší dávkové příkony záření gama byly naměřeny v prstenci vymežujícím západní okraj KJ plutonu (Lysenko 2007), Obr. 7.



Obr. 5. Zjednodušená odkrytá geologická mapa 1:500 000 krkonošsko jizerského plutonu, a okolí v prostředí GIS (ArcMap 9.3). Datová vrstva datová vrstva pochází ze serveru ČGS mapy.geology.cz.



Obr. 6. Aeroradiometrická mapa 1:500 000 (dávkový příkon záření gama, Mannová, Matolín 1995) stejné oblasti jako obr. 4. v prostředí GIS (ArcMap 9.3). Datová vrstva pochází ze serveru ČGS mapy.geology.cz.



Obr. 7. Distribuce zvýšených koncentrací U a Th jako interpretace aeroradiometrických dat Sedláka a kol. (2005). Zjednodušený geologický podklad je upraven z digitální geologické mapy ČGS 1:50 000. (Lysenko 2007).

6. 2. Pozemní radiometrická měření v oblasti KJ plutonu

Systematická pozemní gama spektrometrická měření byla prováděna zejména v oblasti centrální části Krkonoš.

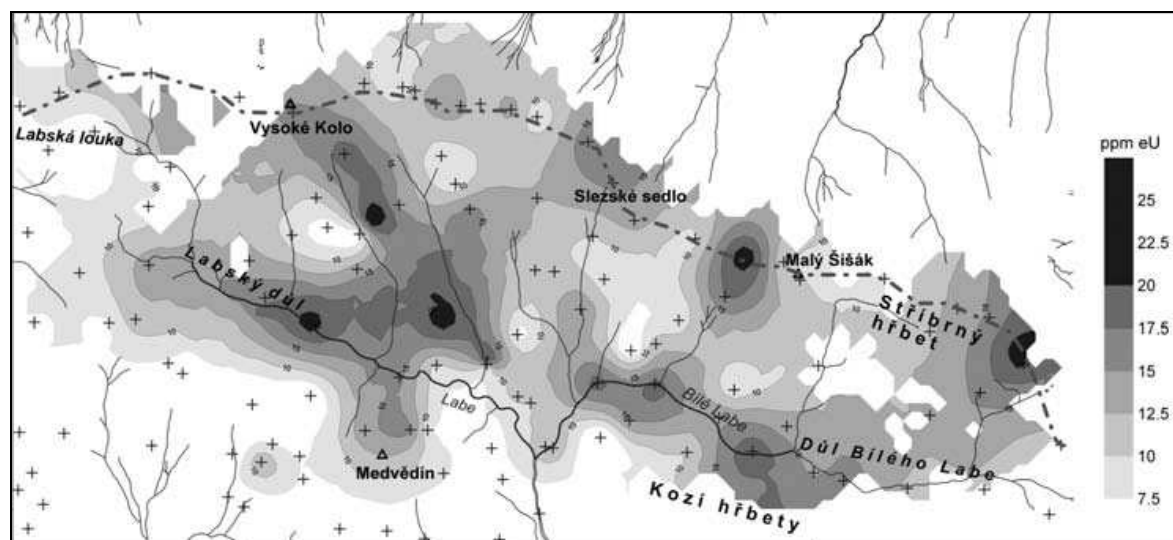
Na polské straně realizovali měření Solecki a kol. (2006). Provedli zde 1600 bodových záměrů na lineárních trasách v okolí turistických horských chodníků. Lokálně naměřili na území tvořeném krkonošským typem granitu velmi vysoké až uraganní koncentrace uranu (Tab. 2.), zřejmě nejvyšší z oblasti KJ plutonu vůbec. Práce však není bohužel řádně publikována a lokalizace bodů jejich měření není známa.

Tab. 2: Obsahy U, K, Th a dávkový příkon v oblasti krkonošského granitu (Solecki a kol. 2006)

	U	K	Th	⁴⁰ K	U	Th	D
	ppm	%	ppm	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	nGy/h
Maximum	159	8	217	2506	1984	891	908
průměr	7,0	3,5	21	1053	87	89	82
Směrodatná odchylka	11,4	1,2	13,0	366	141	53	66

Na české straně provedli plošné gama spektrometrické měření Skácelová a Žáček (2007), a to opět v oblasti krkonošského granitu v centrální části tělesa, přiléhající ke státní hranici.

Lokálně byly naměřeny také vysoké koncentrace uranu, např. až 47 ppm eU nedaleko Josefovy boudy (Žáček úst. sděl. 2012). V publikovaném článku jsou však data nevhodným způsobem shlazena a prezentována způsobem málo obvyklým pro tvorbu mapových výstupů radiometrických metod (Obr. 8.). To výrazně snižuje jejich vypovídací hodnotu.



Obr. 8. „Anomalie“ uranu v pramenné oblasti Labe (Skácelová, Žáček 2007)

6. 3. Laboratorní měření obsahu radioaktivních prvků

Výsledky letecké geofyziky a pozemního měření nejsou plně srovnatelné zejména z hlediska složité geometrie měření v členitém horském terénu, mají tak pouze relativní vypovídací schopnost, co však je srovnatelné jsou výsledky laboratorního měření odebraných vzorků provedených shodnou metodikou tj. laboratorní gamaspektrometrií.

6.3.1 Laboratorní gamaspektrometrie

Gamaspektrometrická metoda je používána pro určování zastoupení prvku U, Ra, Th, K, v horninách. Rozdrcené vzorky hornin o navážkách do 10^3 g se měří v oválných miskách či prstencových Marinelliho nádobách, které obklopují scintilační detektor resp. krystal NaI(Tl) s rozměry až 100*100 mm. Měřené vzorky se v miskách hermetizují, měření probíhá až po nahromadění Rn. Detekujeme nízkoenergetické části spekter záření gama. Podle určovaných radionuklidů zvolíme příhodný vymezující interval. Naměřené hodnoty nízkoenergetického spektra jsou závislé na složení horniny, proto by měly být laboratorní spektrometry cejchovány standardy o podobném složení měřených vzorků hornin. Mezinárodně uznávané standardy obsahu K, U, Th pro gamaspektrometrii jsou dostupné (IAEA Vídeň). Výsledek měření záleží na použitém detektoru, geometrii měření, aparatuře a postupu zpracování dat (Mareš a kol. 1990).

Data týkající se výsledků laboratorních gamaspektrometrických stanovení radioaktivních prvků v granitoidech krkonoško-jizerského plutonu jsou v literatuře značně rozptýlena. Obvykle se objevují ve společnosti dalších variských granitoidů Českého masívu. Ze souborných prací je třeba připomenout pionýrskou práci Lepky (1980) a přehled uvedený v kompendiu Ibrmajera a Suka (1989). V těchto souhrnech jsou ovšem uváděna pouze rozmezí hodnot, či hodnoty průměrné. Proto byly dále hledány práce obsahující primární soubory dat umožňující statistické hodnocení.

7. SEZNAM A POPIS PŘEVZATÝCH DAT OBSAHU RADIOAKTIVNÍCH PRVKŮ POUŽITÝCH PRO STATISTICKÉ HODNOCENÍ SOUBORU GRANITOIDŮ KRKONOŠSKO-JIZERSKÉHO PLUTONU

Pro zhodnocení obsahu radioaktivních prvků granitoidů krkonoško-jizerského plutonu byla z literatury a dalších zdrojů shromážděna, vybrána a hodnocena následující data:

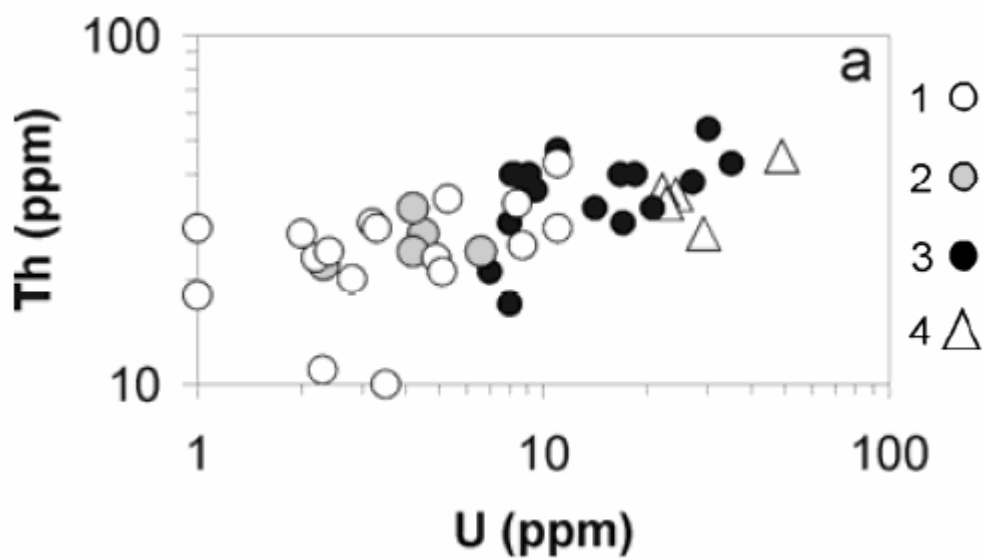
Prvním použitým datovým souborem jsou výsledky uvedené v nepublikované práci Fatkové (1969), zpracované pro účely uranového průmyslu (býv. ČSUP), uložené v archivu a.s. DIAMO ve Stráži p. Ralskem. Tato práce obsahuje celkem 120 analýz granitoidních hornin a doplňkově také některé výsledky analýz jiných hornin krkonoško-jizerského krystalinika i tercierních vulkanitů z této oblasti. Jsou zde v tabelární formě uváděny koncentrace K, U, Th, U(Ra) naměřené metodou laboratorní gama spektrometrie v laboratořích býv. ČSUP ve Stráži p. Ralskem. Horninové typy granitů jsou přiřazeny podle moderní klasifikace (Klomínský 1969). Vzorky jsou nepřítis přesně lokalizovány pouze na schématické mapce formátu A4 s obrysy české části KJ plutonu.

Dalším datovým zdrojem jsou údaje z litogeochemické databáze ČGS, které byly vybrány a zakoupeny pro účely této bakalářské práce. Je to celkem 39 analýz granitoidů pocházejících z katalogu geochemických dat základní regionální sítě ČR (Čadková a kol. 1985). Výběr z databáze obsahuje údaje o koncentraci U a Th naměřené laboratorní gama spektrometrií na pracovišti Geofyziky Brno a údaje koncentraci K_2O stanovené silikátovou analýzou na pracovišti ČGS. Pro účely této bakalářské práce byly hodnoty K_2O přepočteny na obsah K. Vzorky jsou lokalizovány jak slovně (obvykle byly odebrány v činných či zaniklých lomech), tak svými souřadnicemi v systému JTSK. Vzorky jsou litologicky popsány, nejsou však přiřazeny k jednotlivým typům granitů KJ plutonu.

Třetím datovým souborem použitým pro hodnocení radioaktivity KJ plutonu jsou pak publikovaná data Jeliňského (1965) z polské části plutonu. Tento autor uvádí velké množství analýz granitů dolního Slezska, z nichž velká část se týká právě KJ plutonu. U většiny vzorků je však stanoven pouze uran. Pro účely této bakalářské práce bylo vybráno 59 vzorků, u kterých byly stanoveny jak uran, tak thorium a pocházejí z území KJ plutonu. Vzorky jsou lokalizovány jako body na vložené skládané mapě formátu A2. Vzorky jsou litologicky charakterizovány a rozděleny na tři skupiny (porfyrický granit, stejnozrný granit a aplitický granit), jež generelně nesouhlasí s moderní klasifikací KJ plutonu. Údaje o obsazích draslíku nejsou v práci Jeliňského (1965) uvedeny. Největším problémem je však odchýlná metodika stanovení uranu a thoria. V těchto letech (do r. 1965) nebylo běžně rozšířené gama spektrometrické stanovení přírodních radionuklidů (Matolín 1977). Uran tak byl stanoven perloluminiscenčně a thorium kolorimetricky za použití činidla Arsenazo-1. Věrohodnost těchto analýz byla ověřena, viz. níže.

Dalším uvažovaným zdrojem byla data z publikované práce Mikulského (2007), který uvádí 25 analýz granitoidů KJ plutonu. Jeho práce však byla zaměřena spíše ložiskově. Z toho důvodu uvádí většinou

postmagmaticky alterované a mineralizované vzorky s vysokými obsahy U i Th z okolí Szklarskej Poreby, které se nehodí do běžné suity hornin KJ plutonu (obr. 9). Dalším problémem je opět jiná metodika stanovení U a Th, kdy byly namísto laboratorní gama spektrometrie užity metody XRF a ICP-AES. Vzorky také nejsou dobře lokalizovány ani přiřaditelné k popisovaným typům granitů. Údaje Mikulskiho (2007) proto nebyly do hodnoceného souboru zahrnuty.



Obr. 9. Variační diagram U vs. Th se zahrnutím alterovaných a mineralizovaných vzorků. (Mikulski, 2007)
 1 - "centrální" granit, 2 - "okrajový" granit, 3 - "granofyrická" žula, 4 - aplogranit ze Szklarske Poreby.

8. ZHODNOCENÍ DAT A VÝSLEDKY

Cílem této práce bylo přiřadit k jednotlivým převzatým výsledkům analýz radioaktivních prvků konkrétních vzorků granitoidů jejich polohu a jejich následné přiřazení k jednotlivému typu granitu. Použitá data byla velmi heterogenní a obsahovala v závislosti podle jejich autora informace o zkoumaných vzorcích hornin (litologický popis), místo (popis lokality) a pozici odběru (souřadnice, či mapové podklady, oboje často pochybné kvality) a hodnoty obsahů radioaktivních prvků K, U, Th. V případě dat ČGS litogeochemie jsou obsahu draslíku doměřeny nezávislou metodou (silikátová analýza), v případě dat Jeliňského (1965) pak údaje o koncentraci draslíku chybí.

Pro vznik datového souboru bylo nutno přiřadit jednotlivé analýzy k jednotně definovaným horninovým typům granitů krkonoško-jizerského plutonu podle Klomínského (1969) a Klomínského a kol. (2010).

Fatková (1969) rozdělila granitoidní těleso KJ plutonu na tři typy granitů. Mapy Fatkové (1969) byly ztotožněny superpozicí s mapami horninových typů KJ plutonu Klomínského a kol. (2010). Tímto způsobem bylo typové rozdělení Fatkové (1969) zpřesněno o fojtský typ granitu a některé z jizerských typů granitu byly přiřazeny k libereckému typu podle nového rozdělení KJ plutonu Klomínským a kol. (2010).

V případě litogeochemické databáze ČGS bylo přiřazování k jednotlivým typům granitů postupováno podle dat sdružených v souboru databáze ČGS a to podle popisu lokalit odběru vzorku, které více či méně odpovídaly litologickému popisu a proto byly snadno přiřaditelné k jednotlivým typům granitů popsaných Klomínským a kol. (2010). Ovšem u dvou vzorků, které byly popsány místem odběru Zaječí důl - Fojtka, bylo litologické stanovení nejspíše chybné a mohlo by litologickým popisem připomínat jizerský granit. Dle údajů ČGS odběr vzorků prováděn v lomech. Zde jsou ovšem lomy výhradně s fojtskými hybridními granodiority (autopsie autora této BP). Proto byly tyto dva vzorky přiřazeny do zpracovávaného datového souboru jako typ fojtka.

Jeliňski (1965) rozdělil KJ pluton na základě litologie do třech typů granitu, zcela odlišně (porfyrický granit, stejnozrný granit a aplitický granit) co se týče českého rozdělení. Tyto vzorky byly ztotožněny s moderním dělením horninových typů KJ plutonu, superpozicí mapy publikované Jeliňským (1965) s mapou Klomínského a kol. (2010). I přesto se nepodařilo dostatečně přesně určit veškeré dílčí typy granitů polské části plutonu. Provedené statistické hodnocení nezahrnuje samostatně krkonošský typ. Jedná se totiž o poměrně malé těleso. Při rektifikaci historických a současných map spadalo do hranice harrachovského granitu. Tyto čtyři vzorky z dat Jeliňského (1965) byly proto přiřazeny k harrachovskému typu. Harrachovský a krkonošský typ jsou tak pro účely tohoto hodnocení sdruženy do jedné skupiny.

Z dat Jeliňského (1965) bylo nutno při slučování s ostatními daty vyřadit velmi odlehlé hodnoty. Jednalo se o vyřazení čtyř vzorků jizerského typu a čtyř z libereckého typu. Koncentrace

radioaktivních prvků dosahovaly 7 až 62.5 ppm U a 28 až 61 ppm Th. Lze předpokládat, že tyto horniny byly ovlivněny pozdějšími alteračními a mineralizačními procesy a nezapadají do schématu základních horninových typů, podobně jako nezahrnuté vzorky Mikulského (2007).

Analýzy publikované Jelińským (1965) nejsou z důvodu odlišné analytické metodiky plně srovnatelné s daty získanými laboratorní gamaspektrometrií. Pro verifikaci jeho údajů byl zvolen následující postup: Lze předpokládat, že česká i polská část plutonu bude mít v globálu podobné koncentrace radioaktivních prvků. Ze všech dat z české části plutonu a také z dat Jelińského (1965) byly vypočítány průměrné hodnoty: Pro českou část to je: 7,84 ppm U a 19,9 ppm Th a pro polskou část plutonu 11,7 ppm U a 24,2 ppm Th (po vyřazení výše zmíněných osmi odlehlých vzorků). Hodnoty průměrů se tedy poněkud liší. Toto však může být způsobeno i tím, že v datech polských je zřejmě větší podíl výšeaktivních granitů harrachovských a krkonošských i postmagmaticky alterovaných libereckých a jizerských typů. Proto lze považovat analytická data Jelińského (1965) za věrohodná.

Získaná data byla dále statisticky zpracovávána a sumarizována v programu Excel. Dále ze statistických výsledků zjistit zda se od sebe jednotlivé typy liší co se týče radioaktivity.

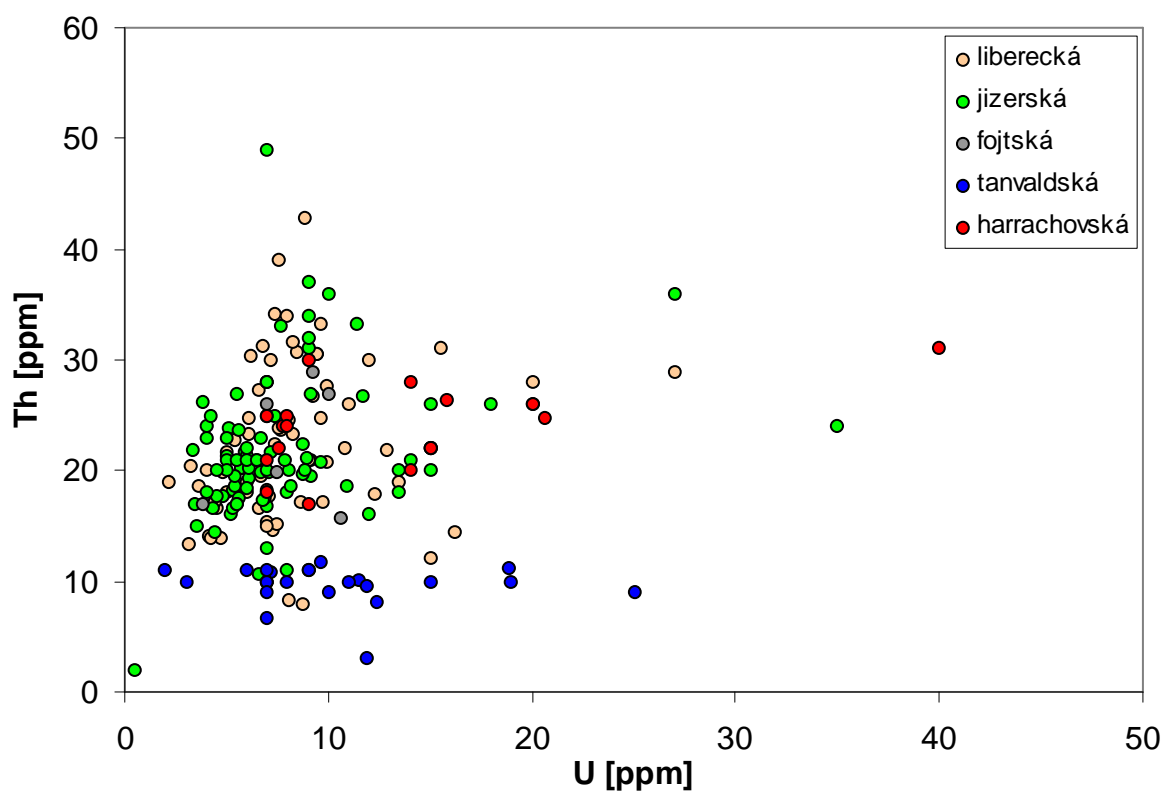
V rámci jednotlivých typů byly jako statistické parametry hodnoceny: Počet vzorků, průměr, minimum, maximum, směrodatná odchylka, rozptyl a medián. Tyto parametry byly zjištěny pro každý z radioaktivních prvků (K, U, Th). Pokud byly stanoveny obsahy uranu jako U(Ra), t.j. stanovení uranu přes dceřiný izotop radia a jako U tj. stanovení přes dceřiný ²³⁴Th, byla do datového souboru použita spolehlivější hodnota U(Ra).

V Tab. 3. je možno porovnat průměrné hodnoty přiřazené k jednotlivým typům granitu. Zde můžeme pozorovat že nejaktivnější co se týče jak uranu tak thoria je žula harrachovská, zato nejméně uranu obsahuje žula jizerská. Harrachovská žula obsahuje také nejvyšší obsahy draslíku. Ještě zajímavější je tanvaldská dvojslídna žula která obsahuje průměrně 10 ppm uranu a 9,73 ppm thoria a má obrácený poměr U/Th (což je tedy spíše „uranová“ žula) v porovnání s ostatními typy kde dvojnásobně převládá thorium nad uranem.

Úplný soubor statisticky hodnocených dat a konkrétnější parametry datových souborů jednotlivých horninových typů jsou uvedeny v Příloze 1., grafické vyjádření koncentrací uranu a thoria pro celý datový soubor ukazuje Obr. 10.

Tab. 3. průměrné obsahy K, U, Th v krkonoško-jizerských granitech na základě statistického hodnocení vybraného datového souboru 206 vzorků.

Typ granitu	počet vzorků		K [% K]	U(Ra) [ppm eU]	Th [ppm Th]	U/Th
jizerská žula	87	průměr	3.31	7.79	21.74	0.36
fojtská žula	6	průměr	3.84	8.02	22.43	0.36
liberecká žula	71	průměr	3.62	8.11	22.24	0.36
tanvaldská žula	24	průměr	3.88	10.10	9.73	1.04
harachovská žula	18	průměr	4.00	13.60	24.02	0.57

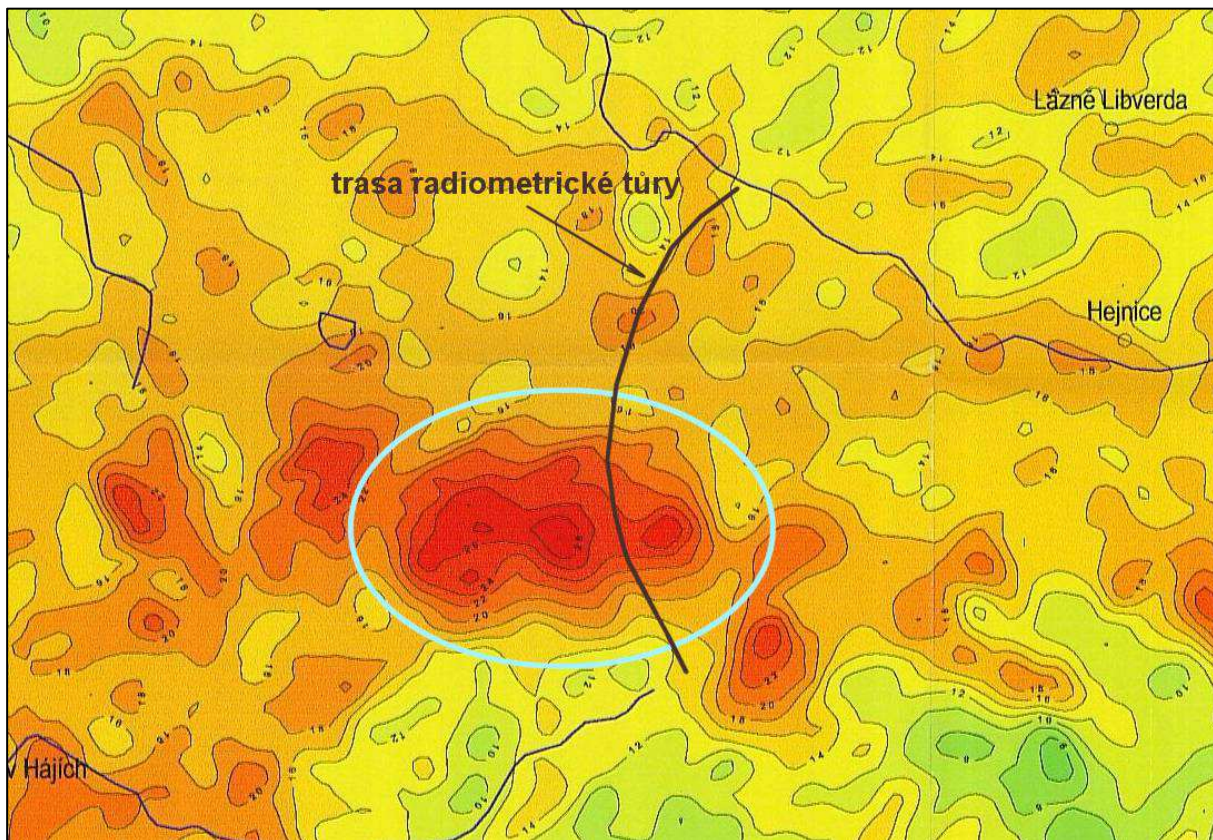


Obr. 10. Grafické znázornění obsahů uranu a thoria v jednotlivých žulových typech krkonoško-jizerského plutonu. Tento soubor dat byl hodnocen statisticky.

9. OVĚŘENÍ LETECKÉ GAMASPEKROMETRICKÉ ANOMÁLIE U HEJNIC

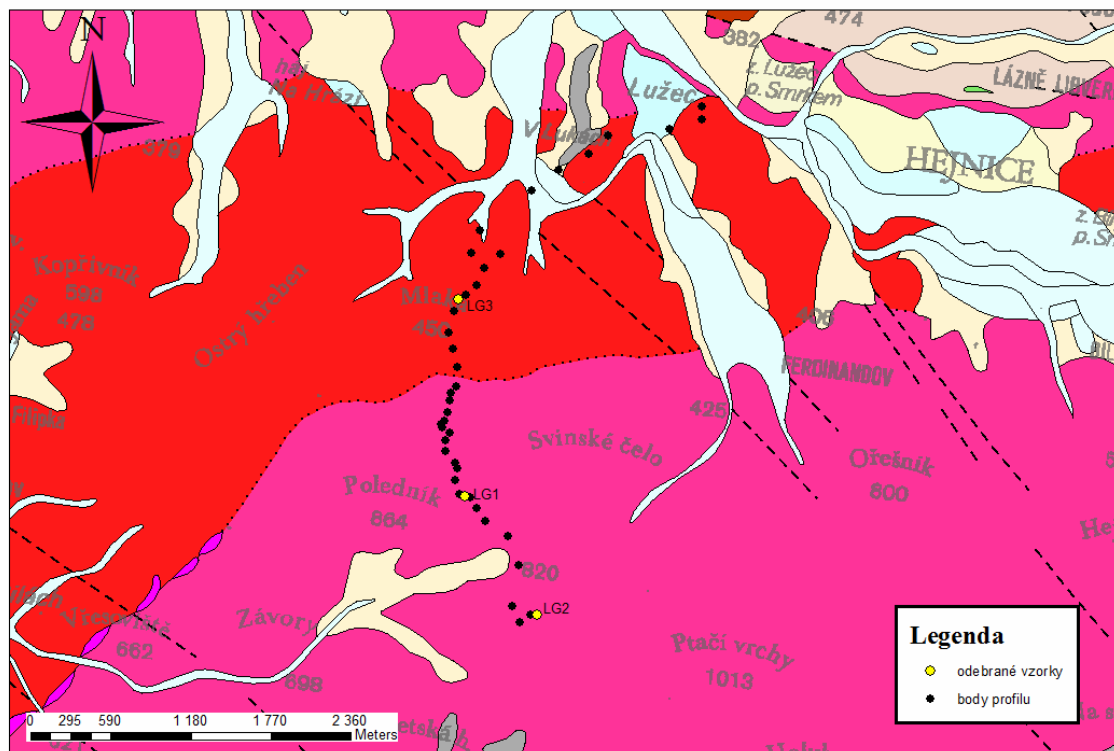
Obzvláště zajímavé jsou partie plutonu se zvýšenou radioaktivitou. Jak již bylo výše uvedeno, tak nejvíce radioaktivní je centrální část plutonu na krkonošském hřebeni. Zde se i vyskytují v blízkém exokontaktu tohoto typu malá uranová ložiska Medvědin (Veselý 1982, Plášil a kol. 2009) a Kowary (Mochacka a Banaš 2000).

Jedna z nejvýraznějších, nově nalezených leteckých anomálií se nachází na severním okraji jizerské části plutonu jihozápadně od Hejnic (Sedlák a kol. 2005). Anomálie je patrná jak na hodnotách celkové gama aktivity tak i K, U, Th (Obr. 11.).



Obr. 11. Výřez z letecké radiometrické mapy Sedláka a kol. (2005) zobrazující leteckou gama anomálii jihozápadně od Hejnic (celková aktivita gama). Vyznačena je trasa pozemní radiometrické túry gamaspektrometrického měření.

V září 2011 byla tato anomálie ověřována pozemním gamaspektrometrickým profilem. Měření bylo provedeno terénním gamaspektrometrem GS 256, čas měření byl volen 3 minuty. Po dobu načítání se operátoři pohybovali; údaje jsou tudíž integrací hodnot obsahu radioaktivních prvků na profilu. Body počátku a konců záměr byly pozičně lokalizovány pomocí GPS. Pozice bodů měření na Obr. 12 jsou vynesena těžiště pozic jednotlivých záměrů. Během radiometrické túry byly také odebrány tři vzorky granitoidů z volných balvanů pro laboratorní měření (Lg – 1, Lg – 2, Lg - 3).

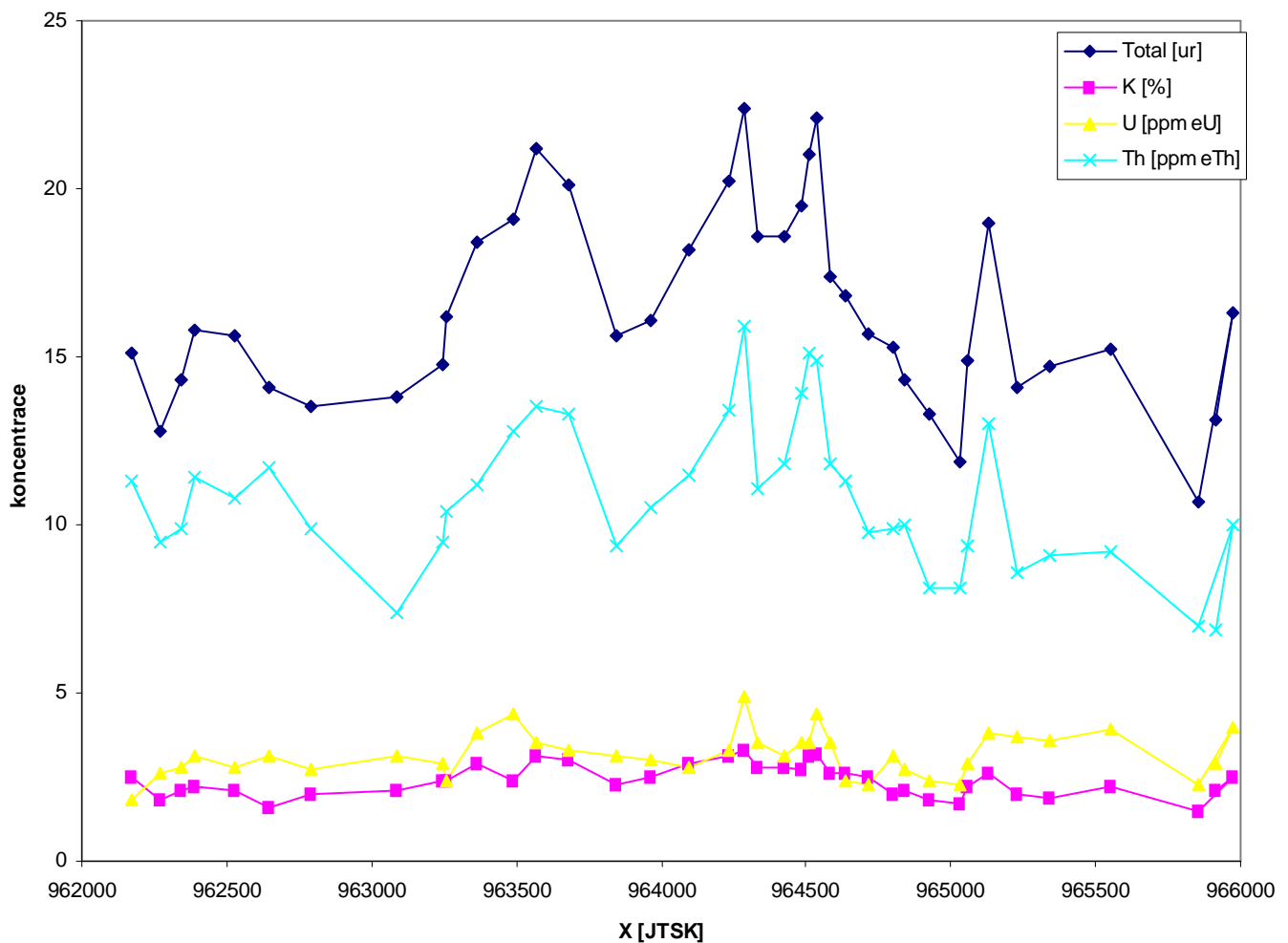


Obrázek. 12. Výřez geologické mapy 1 : 50 000 v prostředí GIS (ArcMap 9.3) území letecké anomálie jihozápadně od Hejnic s vyznačením bodů profilu pozemního gamaspektrometrického měření a lokalizace bodů odebraných vzorků granitů. Datová vrstva pochází ze serveru ČGS mapy.geology.cz.

Tab. 4: Výsledky laboratorního gamaspektrometrického stanovení radioaktivních prvků v odebraných litologických vzorcích z anomálie jihozápadně od Hejnic.

	Lg - 1	Lg - 2	Lg - 3
ppm U	3.7	4.9	5.6
ppm Th	20.0	14.0	22.0
ppm eU Ra	3.7	3.4	5.5
% K	3.7	4.8	4.0

Laboratorní gama spektrometrie byla realizována v radiometrické laboratoři Ústavu geochemie mineralogie a nerostných zdrojů Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Pro stanovení koncentrací přirozených radionuklidů byl měřen vzorek v 0,5 l Marinelliho nádobě (geometrie 3π) na laboratorním gama – spektrometru DSA 2000 (Canberra) s detektorem $75 * 75$ mm NaI(Tl) ve stínění 7 cm Pb. Měření probíhalo 0,5 hodiny, spektrální data byla vyhodnocena software GENIE 2000. Koncentrace radionuklidů byla stanovena maticovým výpočtem za použití standardů IAEA. Před měřením byly vzorky hermetizovány po dobu 14 dní pro dosažení rovnováhy s krátkodobými rozpadovými produkty radonu.



Obr. 13. Graficky znázorněné výsledky pozemního gamaspektrometrického měření letecké radiometrické anomálie jihozápadně od Hejnic. Vynesena celková gama aktivita a koncentrace K, U, Th. Vzátaženo k souřadnici X systému JTSK.

Výsledky terénního i laboratorního měření obsahu radioaktivních prvků v prostoru "anomálie" u Hejnic nesvědčí o výrazně zvýšené radioaktivitě. V případě terénního měření je poněkud vyšší obsah thoria, což ve dvou vzorcích potvrdilo i laboratorní měření koncentrací. Při porovnání s datovým souborem zpracovávaným během statistického hodnocení však vyplývá, že tyto horniny nijak nevybočují z rozmezí hodnot obsahů radioaktivních prvků pro liberecký a jizerský typ granitu. Existence této anomálie tak prokázána nebyla.

10 DISKUSE

Těleso krkonoško-jizerského plutonu se ve své radioaktivitě značně odlišuje. Přesto lze vysledovat podobnosti mezi jednotlivými petrografickými typy (Klomínský a kol. 2010). Tato geochemická a petrografická spřízněnost se objevuje i na obrazu obsahu radioaktivních prvků. Podobný obraz poskytují jizerský a liberecký granit, a také harrachovský a krkonošský granit (tyto dva typy byly sdruženy do jednoho souboru). Naproti tomu petrograficky rozdílný granit až granodiorit fojtský s vysokým podílem biotitu a amfibolu (Mrázová 2006) má velmi podobné obsahy radioaktivních prvků jako hostitelský liberecký a jizerský granit. To odporuje publikované hypotéze o jeho vniku jako produktu granitizace amfibolitu (Klomínský 1969). V takovém případě by takto vzniklá hornina měla zajisté mnohem nižší obsahy radioaktivních prvků. Zjištěné obsahy K, U, Th spíše hovoří o vzniku fojtského granodioritu procesy magmatické diferenciace.

Zcela odchylná je situace v případě granitu tanvaldského. Na rozdíl od ostatních typů obsahuje relativně nejvyšší podíl uranu; nejvyšší je i jeho poměr U/Th. To je zcela v souladu s údaji ostatních autorů, kteří tento typ na základě petrografických, geochemických a strukturních dat řadí mimo hlavní suitu (Kvičínský 1986, Klomínský a kol. 2006, Klomínský a kol. 2009). Tanvaldský granit je dokonce Kvičínským (1986) považován za geochemicky spřízněnější s kadomskými granity rumburskými a diskutováno je jeho možné vyšší stáří než má hlavní část tělesa KJ plutonu. Tomu však zatím odporují moderní geochronologická data (Klomínský a kol. 2010, Jiří Žák úst. sděl. 2012).

Další problematická část se týká geologické interpretace zvýšených hodnot radioaktivity krkonoško-jizerského plutonu vyplývající z dat leteckého měření. Na interpretační mapě (Lysenko 2007) je vidět že největší aktivita U, Th vystupuje jako prstenec kolem dokola jakoby ohraničovala celou západní část tělesa plutonu. To je nejspíše způsobeno morfologií terénu, kde z plochého kvartéru začíná stoupat svah do horských oblastí jizerských hor a vyskytují se zde zaříznutá údolí v prudce stoupajících svazích. Na prudkých svazích v pramenní oblasti potoků a řek byly splaveny sedimenty a zemina až na samotný skalní podklad. Tento stav má tím pádem při aeroradiometrickém mapování sklony k vytváření falešných anomálií, jako je případ aeroradiometrické "anomálie" jihozápadně od Hejnic. Jelikož se jedná o stejnou horninu, nebo alespoň velmi podobnou co se týče geneze, která se nachází i v centrální části plutonu. Zde se ovšem tento jev neprojevuje. Je tedy zřejmé že je to způsobeno právě nedostatkem kvartérního pokryvu resp. zvětralin, které se v centrální části hojně vyskytují jako například zvodnělá rašeliniště a bahniska. Tím pádem je zde aktivita touto vrstvou výrazně utlumena, což ještě více zvyšuje kontrast mezi svažitou (odkrytou) a vrcholovou (zakrytou) plochou masívu. Také tomu nejspíše přispívají geometrické podmínky aeroradiometrického měření v okrajových partiích masívu, kde je komplikovaná morfologie. Čili letoun který zde mapuje, přijímá záření z většího rozsahu úhlu než v případě rovinné morfologie povrchu.

Tato problematika byla diskutována přímo s autory leteckého měření, kteří uvádějí k problematice geometrie měření v horském terénu následující: „Kromě redukce četnosti impulsů záření gama na jednotnou nominální výšku 80 m nad terénem (při praktické proměnnosti této výšky od (50) 60 m do 120 (140) m podle složitosti reliéfu terénu) se žádná jiná korekce na konvexnost či konkávnost terénu při zpracování dat nedělá, byla by pracná a kromě některé očisty by mohla způsobovat i druhotná poškození originálních dat“ (osob. sděl. Ivan Gnojek 2012).

11. ZÁVĚR

V práci byla hodnocena radioaktivita jednotlivých typů granitů krkonoško-jizerského plutonu. Jako petrografické typy v souladu s předchozími autory byly vyčleněny: jizerský granit, liberecký granit, fojtský granit, tanvaldský granit a harrachovský granit. Ke každému typu byly přiřazeny výsledky stanovení radioaktivních prvků vybrané z literárních údajů. Tyto datové soubory byly dále statisticky zpracovány. Do statisticky hodnoceného souboru bylo celkem zařazeno 206 vzorků.

Liberecký granit s jizerským granitem jsou makropetrograficky asi nejvíce podobné a v terénu hůře rozlišitelné. Liberecký typ je ve srovnání s jizerským mírně draselnější (3,62 % oproti 3,31 % u jizerského granitu). Liberecký granit má také mírně vyšší obsahy U i Th oproti jizerskému typu.

Fojtský granit až granodiorit má navzdory zvýšenému podílu tmavých minerálů podobné obsahy radioaktivních prvků jako okolní liberecký a jizerský granit. To hovoří nejen o prostorové ale i o geochemické spřízněnosti těchto typů granitu.

Nejradioaktivnějším typem je harrachovská žula. Obsahy Th má víceméně podobné ostatním typům, ale výrazně vyšší obsahy má v případě K a U. Obsah uranu byl v jednom případě dokonce 40 ppm.

Zcela odchylná je žula tanvaldská. Oproti ostatním sledovaným typům má obrácený poměr U/Th a to 1,04 oproti 0,36 až 0,54 u ostatních typů. Tato žula je podle jiných autorů však odlišná i geneticky.

Pokud odhlédneme od odlišného tanvaldského typu, vyplývá z výsledků provedeného statistického hodnocení, že všechny typy granitů krkonoško-jizerského plutonu jsou součástí jediného diferencovaného magmatického tělesa.

12. POUŽITÁ LITERATURA

Abraham M., Dudek A., Fediuk F., 2000. *The Czech part of the Krkonose-Jizera Mts. Pluton in the light of regional heavy mineral prospecting*. Věst. Čes. geol. Ust., 75, 1, 17-22. Praha.

Bieda A., Lizurek G., 2008. Natural radioactivity of rocks occurring in the contact zone of the Karkonosze massif with the Szklarska Poreba schist belt. University of Silesia, Faculty of the Earth Sciences, Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Poland. 225-231 str

Borkowska M., 1966. Petrografia granitu Karkonoszy. *Geol. Sudetica* 2.: 7-120 str.

Čadková Z., Jakeš P., Haková M., Mrázek P., 1985. *Katalog geochemických dat základní regionální sítě*. - MS Česká geol. služba. Praha. In: Litogeochemická databáze České geologické služby.

Fatková J., 1969. *U, Ra, Th, a K^{40} v granitoidních horninách Krkonošsko-Jizerského masivu*. MS Archiv DIAMO Stráž p. Ralskem, 52 str.

Gränzer J., 1927. Granite des isergebirges. *SGÚ ČSR.*, č.7, 51-142. Praha

Chaloupský J., Červenka J., Jetel J., Králík F., Líbalová J., Píchová E., Pokorný J., Pošmourný K., Sekyra J., Shrbený O., Šalanský K., Šrámek J., Václ J., 1989. *Geologie Krkonoš a Jizerských hor*. Ústř. Úst. Geol., 288 str.

Jeliński A., 1965. *Geochemistry of the Uranium in the Karkonosze Granite Massif and Other Granitoid Massifs of Lower Silesia*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa. 102str.

Klomínský J., 1969. Krkonošsko-jizerský granitoidní masiv. *Sbor. Geol. věd, řada Geologie, 15*, 7-132.

Klomínský J., Schovánek P., Jarchovský T., Sulovský P., Toužimský M., 2006. Kontakt tanvaldského a libereckého granitu Jablonce nad Nisou. *Zprávy o geol. výzkumech v roce 2006*. 24-29.

Klomínský J., Jarchovský T., Rajpoot G.S., 2010. Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif. 4. LUGICUM. ČGS Praha. 78 str.

Klomínský J., Adamová M., Bělohradský V., Burda J., Kachlík V., Lochmann Z., Manová M., Nekovařík Č., Nývlt D., Šalanský K., 2004. Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000. 03-143 Liberec. Česká geologická služba. 70 str.

Klomínský J., Adamová M., Burda J., Jarchovský T., Kachlík V., Kořán V., Kříbek B., Manová M., Nekovařík Č., Šalanský K., 2006. Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000. 03-322 Jablonec nad Nisou. Česká geologická služba. 64 str.

Klomínský J., Fediuk F., Schovánek P., Jarchovský T., 2009. Tanvaldský masiv - relik magmatického tělesa v krkonošsko-jizerském kompozitním masivu. *Zprávy o geol. výzk. v r. 2008*. ČGS Praha. 158-161.

Kvičinský Z., 1986. Postavení tanvaldského granitu ve vztahu k horninám krkonošsko-jizerského a lužického plutonu. *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 61, 6, 361-367. Praha

Lysenko V., 2007. *JIZERSKÉ HORY. Distanční analýza geologicko-strukturálního obrazu geofyzikálních polí západní části krkonošsko-jizerského masivu*. MS. Závěrečná zpráva. ČGS Praha. 34 str.

Mareš S., Gruntorad J., Hrách S., Karous M., Marek F., Matolín M., Skopec J., 1990. *Úvod do užité geofyziky*. Nakladatelství technické literatury. Praha. 680 str.

Matolín M., 1970. Radioaktivita hornin Českého masívu. ÚÚG, nakl. Academia. 100 str.

Matolín M., 1977. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy Praha. *Radioaktivní suroviny - Průzkum radioaktivních surovin geofyzikálními metodami a radioaktivita hornin ČSSR*. Geindustria n.p., Praha. 44 str.

Mazur S., 2002. Geology of the Karkonosze-izera massif: an overview. *Mineralogical Society of Poland - Special papers*. Volume 20.

Mikulski S. Z., 2007. *Metal ore potential of the parent magma of granite – the Karkonosze massif example*. Granitoids in Poland. AM Monograph No. 1. 123-145 str.

Mochacka K., Banaś M., 2000: Occurrence and genetic relationships of uranium and thorium mineralization in the Karkonosze-Izera block (the Sudety Mts. SW Poland). *Annal. Soc. Geol. Polon.* 70: 137-150.

Mrázová Š., Adamová M., Burda J., Knésl I., Klomínský J., Lochman Z., Manová M., Nekovařík Č., Nývlt D., Šalanský K., 2006. *Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000*. 03-144 Tanvald. Česká geologická služba. 34 str.

Petránek J., 1993. *Malá encyklopedie geologie*. JIH České Budějovice, 248 str.

Plášil J., Sejkova J., Čejka J., Škoda R., Goliáš V., 2009. Supergene mineralization of the Medvědní uranium deposit, Krkonoše Mountains, Czech Republic. *J Geosci.* (54): 15-56.

Sedlák J., Gnojek I., Dědáček K., Zabadal S., 2005. *Letecké geofyzikální mapování radioaktivních zářičů Liberecka*. MS, Závěrečná zpráva. Miligal s.r.o., Brno. GEOFOND Praha.

sine, 1965. Aeroradiometrická mapa ČSSR 1:200 000 (mapa profilů). Ústí. úst. geol. Praha

Skácelová Z., Žáček V., 2007. Přirozená radioaktivita horninového podloží v oblasti Krkonošského národního parku. – In: Štursa J. & Knapík R. (eds), *Geoekologické problémy Krkonoš*. Sborn. Mez. Věd. Konf., říjen 2006, Svoboda n. Úpou. *Opera Corcontica*, 44(1): str. 55–60.

Slaby E., 2002. Porphyritic granite facies - Szklarska Poreba Huta. *Mineralogical Society of Poland - Special papers*. Vol. 20.: str. 245 - 247.

Solecki A., Buratyński G., Puchala R., Sobańska J., 2006. Natural radioactivity in the Karkonosze Mts. According to Gamma Spectrometric Measurements in the Places of Significant Touristic Traffic. Sborník referátů konference „Geoekologické problémy Krkonoš“, Svoboda nad Úpou 2006.

Šalanský K., 1977. *Letecké geofyzikální mapování v měřítku 1:25 000*. XVIII. Severní Čechy. MS, Technická zpráva. Geofyzika Brno. ČGS-Geofond Praha.

Veselý T., 1982. Malá uranová ložiska Českého masívu – Oblast severozápadních a severních čech. *Geol. hydrometal. Uranu*. 6(3): 3-46.

Internetové zdroje:

<http://www.vrtulnik.cz/accidents/kata005.htm> (25. 7. 2012)

<http://www.enviport.cz/radioaktivita-horninoveho-p.aspx> (20. 7. 2012)

13. PŘÍLOHA

Příloha. 1. Soubor statisticky hodnocených dat granitoidů krkonošsko-jizerského plutonu

výrazně porfyrický typ : Jizerská žula			
číslo vzorku	K	U(Ra)	Th
	[% K]	[ppm eU]	[ppm Th]
38	2.7	7.2	21.6
39	3.6	7.0	16.8
40	3	8.0	18.0
41	3.8	5.8	20.3
42	3	5.7	20.2
43	3.2	8.2	18.6
57	2.58	9.6	20.8
58	3.6	4.3	16.6
59	3.64	5.3	18.2
60	2.96	4.0	23.0
61	2.94	5.9	21.7
62	2.71	9.1	19.6
63	3.43	4.4	14.5
64	2.44	11.7	26.8
65	2.78	7.4	25.0
66	3.84	3.8	26.2
67	3.93	5.4	18.7
68	2.35	3.3	21.8
69	3.01	6.9	17.6
70	1.98	8.7	19.7
72	2.59	6.1	19.4
73	4.02	8.1	20.0
74	2.83	6.8	17.4
75	2.99	6.1	20.3
76	3.62	7.9	20.9
77	3.38	6.0	18.4
78	4.3	11.4	33.2
79	3.23	5.1	23.9
80	3.34	5.6	17.6
82	2.85	4.8	17.7
83	3.52	5.2	16.1
98	3.13	6.7	19.9
104	2.99	8.9	21.1
107	2.81	8.7	22.5
110	2.5	5.4	19.5
111	3.68	5.3	16.6
112	3.89	7.1	19.8
113	2.86	5.0	21.3
114	3.06	9.1	26.9
115	3.15	5.6	23.6
116	2.9	10.9	18.7
117	3.17	8.8	20.1
45	0.3	0.5	1.9
46	3.61	3.4	16.9
56	3.21	6.0	21.4

88	3.59	4.5	17.7
108	3.9	6.6	10.7
109	2.79	6.7	23.0
K945	4.54	5	21
K946	4.31	4	18
K947	4.76	9	37
K948	4.65	10	36
K949	4.17	7	25
K950	4.29	6	22
K951	4.39	4	24
K952	4.65	5	20
40/58		7.0	28.0
41/58		7.0	49.0
51/58		5.5	27.0
73		7.7	33.0
209		5.0	23.0
311		5.5	21.0
1087		18.0	26.0
352		15.0	26.0
426		4.5	20.0
449		9.0	31.0
450		6.5	21.0
478		3.5	15.0
616		6.0	21.0
731		14.0	21.0
1971		35.0	24.0
1973		13.5	18.0
1130		9.0	32.0
1230		4.2	25.0
53/58		7.0	20.0
32/58		12.0	16.0
1385		8.0	11.0
1469		9.0	34.0
1598		7.0	13.0
1602		15.0	22.0
1620		7.0	28.0
1748		13.5	20.0
1884		27.0	36.0
1891		15.0	20.0
1920		6.5	21.0
1942		5.5	17.0
1944		5.5	17.0
	K	U(Ra)	Th
	[% K]	[ppm eU]	[ppm Th]
počet	56	87	87
min	0.3	0.5	1.9
max	4.76	35.0	49.0
průměr	3.31	7.79	21.74
směrodatná odchylka	0.76	4.71	9.86
medián	3.21	6.70	20.80
rozptyl	0.58	22.21	40.31

fojtská žula			
číslo vzorku	K	U(Ra)	Th
	[% K]	[ppm eU]	[ppm Th]
9	2.9	9.2	29.0
84	3.88	3.8	16.9
85	2.87	7.5	19.9
87	3.85	10.6	15.8
K955	4.84	10	27
K956	4.68	7	26
	K	U(Ra)	Th
	[% K]	[ppm eU]	[ppm Th]
počet	6	6	6
min	2.87	3.8	15.8
max	4.84	10.6	29.0
průměr	3.84	8.02	22.43
směrodatná odchylka	0.77	2.28	5.13
medián	3.87	8.35	22.95
rozptyl	0.59	5.18	26.29

Porfyrický typ: Liberecká žula			
číslo vzorku	K	U(Ra)	Th
	[% K]	[ppm eU]	[ppm Th]
30	2.8	5.0	21.7
31	3.3	7.0	18.2
32	3.7	8.6	17.1
33	3.4	7.1	17.8
34	4.2	4.7	13.9
2	2.9	8.7	7.9
3	3.6	8.1	8.3
4	3.5	9.7	17.2
12	4.3	7.3	14.6
14	4.1	6.0	21.4
22	3.6	4.3	16.9
23	3.9	4.8	19.8
24	2.9	6.6	16.6
25	2.8	9.1	20.9
47	4.25	4.5	16.6
48	4.13	8.1	24.5
71	3.61	6.2	30.3
81	3.5	12.9	21.9
92	3.63	2.2	18.9
93	3.41	3.1	13.3
94	2.55	9.4	30.6
95	3.32	4.2	16.8
96	3.17	3.2	20.4
99	3.32	3.6	18.6
105	3.72	7.0	15.3
1	4.8	4.1	14.1
5	3.6	6.6	27.2
6	3.6	6.8	31.3
7	3.7	7.4	22.5
8	3.2	9.2	26.8
10	3.2	15.0	12.1
11	3	8.4	30.8
35	3.4	9.9	20.8
36	3.4	7.7	23.6
37	3.5	7.2	30.0
44	3.8	10.8	22.1
49	3.79	6.1	23.3
50	3.52	7.9	24.0
51	3.78	6.1	24.7
52	3.24	5.4	22.8
53	3.48	7.4	34.1
54	3.15	8.3	31.7
54A	3.78	8.8	42.8
54B	3.73	9.6	33.3
54C	3.65	9.4	30.5
55	3.36	7.6	39.1
86	3.61	6.7	19.5
89	3.42	7.6	23.8

90	3.19	9.6	24.8
91	3.43	9.9	27.6
100	3.7	4.4	17.1
101	4.07	7.5	15.2
102	3.08	16.2	14.5
103	3.14	12.3	17.9
106	2.86	8.3	23.4
K943	4.84	11	26
K944	4.46	9	21
K953	4.58	4	20
K954	4.49	6	19
K958	4.55	8	34
K981	4.54	5	18
K982	4.43	6	18
50/58		7.0	15.0
58/58		4.2	14.0
61/58		7.0	18.0
63/58		7.0	28.0
65/58		20.0	28.0
1168		12.0	30.0
1271		27.0	29.0
1280		15.5	31.0
1960		13.5	19.0
	K	U(Ra)	Th
	[% K]	[ppm eU]	[ppm Th]
počet	62	71	71
min	2.55	2.2	7.9
max	4.84	27.0	42.8
průměr	3.62	8.11	22.24
směrodatná odchylka	0.52	3.92	6.94
medián	3.60	7.40	21.00
rozptyl	0.27	15.35	48.16

dvoj slídná žula: Tanvaldská			
číslo vzorku	K	U(Ra)	Th
	[% K]	[ppm eU]	[ppm Th]
13	3	11.9	3.0
15	3.4	7.0	6.7
16	2.9	11.5	10.2
17	2.9	12.4	8.2
18	3.1	18.9	11.2
19	2.8	7.2	10.8
20	3.4	11.9	9.6
21	2.6	9.6	11.8
K963	4.34	6	11
K964	4.26	7	10
K965	4.31	3	10
K966	4.35	2	11
K967	4.3	9	11
K968	4.28	7	10
K969	4.26	9	11
K970	4.06	7	10
K971	4.49	7	11
K972	4.47	8	10
K975	4.3	25	9
K976	4.28	19	10
K977	4.61	15	10
K978	4.24	11	10
K979	4.36	7	9
K980	4.18	10	9
	K	U(Ra)	Th
	[% K]	[ppm eU]	[ppm Th]
počet	24	24	24
min	2.6	2.0	3.0
max	4.61	25.0	11.8
průměr	3.88	10.10	9.73
směrodatná odchylka	0.64	5.10	1.77
medián	4.26	9.00	10.00
rozptyl	0.41	25.97	3.12

harrachovská žula			
číslo vzorku	K	U(Ra)	Th
	[% K]	[ppm eU]	[ppm Th]
26	3.5	15.8	26.3
27	3.2	7.6	22.1
28	3.1	7.8	24.1
29	3.7	20.6	24.8
K973	4.64	20	26
K974	4.45	20	26
K961	4.47	8	25
K959	4.48	7	18
K960	4.42	7	21
323		8.0	24.0
531		14.0	28.0
398		9.0	30.0
1043		15.0	22.0
1079		9.0	17.0
1216		7.0	25.0
1097		14.0	20.0
1333		40.0	31.0
1741		15.0	22.0
	K	U(Ra)	Th
	[% K]	[ppm eU]	[ppm Th]
počet	9	18	18
min	3.1	7.0	17.0
max	4.64	40.0	31.0
průměr	4.00	13.60	24.02
směrodatná odchylka	0.58	7.97	3.64
medián	4.42	11.50	24.45
rozptyl	0.34	63.46	13.25

V předchozích tabulkách přílohy 1. můžeme podle číselného kódu zjistit zdroj analytických údajů: V případě čísel 1-117 se jedná o data Fatkové (1969), označení vzorků začínajících písmenem K patří litogeochem. databázi ČGS, vzorky označené X/Y a čísla vzorků > 200 pocházejí od Jeliňského (1965).