

# Radioaktivita granitoidů krkonoško-jizerského plutonu: Statistické zhodnocení archivních údajů

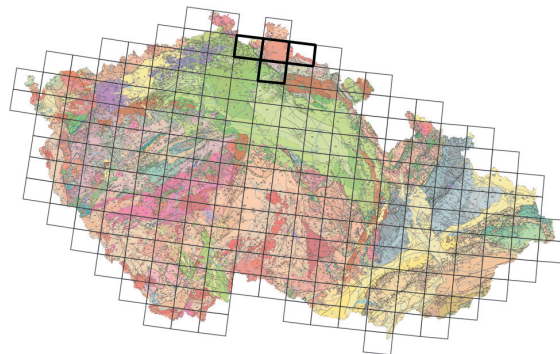
Radioactivity of granitoids of the Krkonoše-Jizera Pluton: Statistical analysis of archival data

TOMÁŠ ČERNÍK – VIKTOR GOLIÁŠ

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, 128 43 Praha 2; polodrat@gmail.com, wiki@natur.cuni.cz

**Key words:** *Krkonoše-Jizera Pluton, natural radioactivity, potassium, uranium, thorium, granite, evaluation*

**Abstract:** This work is focused on natural radioactivity of the Krkonoše-Jizera Pluton, which is divided into six granite types: Jizera, Liberec, Fojtka, Tanvald, Harrachov, and Krkonoše type. The aim of the work was to compare these granites and find out if there is any significant difference in the radioactive elements content (U, Th, K). Published data for each type were processed using statistical methods. A significant difference in the radioactive elements contents in each type was proved. Harrachov granite is the most radioactive one. Tanvald granite shows



(03-13 Hrádek nad Nisou, 03-14 Liberec, 03-23 Harrachov, 03-32 Jablonec nad Nisou)

anomalous U/Th ratio ( $U/Th > 1$ ). All the other types have average levels of radioactivity.

Granitoidní horniny krkonoško-jizerského plutonu (KJP) vykazují zvýšenou radioaktivitu. Je to však těleso litologicky heterogenní a proměnlivé v obsazích radioaktivních prvků (K, U, Th) v granitoidech krkonoško-jizerského plutonu se věnovala již obhájená bakalářská práce prvního z autorů (Černík 2012). Považujeme za vhodné její základní výsledky ve zkrácené formě publikovat a přispět tak k diskusi o tomto velmi zajímavém horninovém tělese.

Krkonoško-jizerský granitoidní pluton je umístěn v období svrchního karbonu do centra luga v severní části Českého masivu. Na základě petrologických a terénních kritérií (velikosti, množství vyrostlic K-živce, zrnitosti základní hmoty a intruzivních kontaktů) vymezil Klomínský (1969) několik horninových typů: G1 – výrazně porfyrický biotitický granodiorit (jizerský), G2 – porfyrický biotitický granit (liberecký), G3 – středně zrnitý biotitický granit (harrachovský), G4 – drobnozrnitý biotitický granit (krkonošský), F – porfyrický drobnozrnitý, mezokratní amfibol-biotitický granodiorit (fojtské hybridní granitoidy) a D – středně zrnitý muskovit-biotitický až biotitický alkalicko-živcový granit (tanvaldský).

Tanvaldský typ se nachází na j. okraji krkonoško-jizerského plutonu. Od ostatních typů granitů se geochemicky i mineralogicky liší, např. výskytem granátu, andalusitu a albitu (Klomínský et al. 2007). Proto je jeho souvislost s jinými tělesy v krkonoško-jizerském plutonu častou otázkou diskusí. Souborný přehled názorů na genezi tanvaldského granitu podává Kvičinský (1986).

## Popis převzatých dat použitých pro statistické zhodnocení

Oblast KJP je radiometricky relativně dobře prozkoumána jak několika etapami leteckého měření, tak lokálně i pozemním měřením gamaspektrometrie. Obě skupiny dat však mají jen relativní vypovídací schopnost. Aeroradiometrická data jsou negativně ovlivněna všemi faktory způsobenými geometrií měření v horských terénech, pozemní i letecká data dále ovlivňují povrchové zvětrávací procesy a stínění půdním pokryvem, na jizerských pláních často zvodnělým.

Klasickým příkladem je letecká anomálie jz. od Hejnic, jedna z vůbec nejvýraznějších v jizerské části plutonu (Sedlák et al. 2005). Pozemním gamaspektrometrickým profilem jsme v roce 2011 zjistili, že zde žádná anomálie ve skutečnosti není, pouze běžný jizerský a liberecký granit, což potvrdilo i laboratorní stanovení K, U a Th u tří odebraných vzorků (Černík 2012). Leteckou „anomálií“ zde způsobuje mohutné pole balvanité suť na prudkém svahu.

Pro zhodnocení obsahů radioaktivních prvků granitoidů KJP byla proto vybrána a hodnocena pouze data získaná laboratorním měřením z odebraných vzorků, převážně laboratorní gamaspektrometrií. Jsou to následující data:

První jsou údaje Fatkové (1969), jejíž nepublikovaná práce obsahuje celkem 120 analýz granitoidních hornin. Jsou uváděny koncentrace K, U, Th a U(Ra), naměřené metodou laboratorní gamaspektrometrie v laboratořích bývalého ČSÚP ve Stráži pod Ralskem. Horninové typy granitů byly autorkou přiřazeny podle klasifikace Klomínského (1969). Vzorky jsou lokalizovány pouze na schematické mapě formátu A4 s obrysy české části KJP.

Tabulka 1. Výsledky statistického hodnocení obsahů radioaktivních prvků v granitoidech krkonoško-jizerského plutonu

typ granitu	K	U(Ra)	Th
	[% K]	[ppm eU]	[ppm Th]
<b>liberecký</b>			
počet vzorků	62	71	71
minimum	2,55	2,2	7,9
maximum	4,84	27,0	42,8
průměr	3,62	8,11	22,2
směrodatná odchylka	0,52	3,92	6,9
medián	3,60	7,40	21,0
rozptyl	0,27	15,35	48,2
<b>jizerský</b>			
počet vzorků	55	86	86
minimum	1,98	3,3	10,7
maximum	4,76	35,0	49,0
průměr	3,37	7,88	22,0
směrodatná odchylka	0,65	4,67	9,4
medián	3,21	6,75	20,9
rozptyl	0,42	21,84	36,1
<b>fojtský</b>			
počet vzorků	6	6	6
minimum	2,87	3,8	15,8
maximum	4,84	10,6	29,0
průměr	3,84	8,02	22,4
směrodatná odchylka	0,77	2,28	5,1
medián	3,87	8,35	23,0
rozptyl	0,59	5,18	26,3
<b>tanvaldský</b>			
počet vzorků	24	24	24
minimum	2,6	2,0	3,0
maximum	4,61	25,0	11,8
průměr	3,88	10,10	9,7
směrodatná odchylka	0,64	5,10	1,8
medián	4,26	9,00	10,0
rozptyl	0,41	25,97	3,1
<b>harrachovský a krkonošský</b>			
počet vzorků	9	18	18
minimum	3,1	7,0	17,0
maximum	4,64	40,0	31,0
průměr	4,00	13,60	24,0
směrodatná odchylka	0,58	7,97	3,6
medián	4,42	11,50	24,5
rozptyl	0,34	63,46	13,3

Tabulka 2. Poměry radioaktivních prvků v granitoidech krkonoško-jizerského plutonu

typ granitu	U/Th	K/Th	U/K
liberecký	0,36	0,16	2,24
jizerský	0,36	0,15	2,34
fojtský	0,36	0,17	2,09
tanvaldský	1,04	0,40	2,60
harrachovský a krkonošský	0,57	0,17	3,40

Dalším datovým zdrojem jsou údaje z litogeochemické databáze České geologické služby, které byly vybrány a zakoupeny pro účely bakalářské práce. Je to celkem 39 analýz granitoidů pocházejících z katalogu geochemických dat základní regionální sítě ČR (Čadková et al. 1985). Výběr z databáze obsahuje údaje o koncentraci U a Th, naměřené laboratorní gamaspektrometrií na pracovišti Geofyziky Brno. Koncentrace  $K_2O$  byly stanoveny silikátovou analýzou v laboratořích České geologické služby v Praze. Hodnoty  $K_2O$  byly přepočteny na obsah K. Vzorky jsou lokalizovány jak slovně (obvykle byly odebrány v činných či zaniklých lomech), tak i souřadnicemi v systému JTSK. Mají litologický popis, nejsou však přiřazeny k jednotlivým typům granitů KJP.

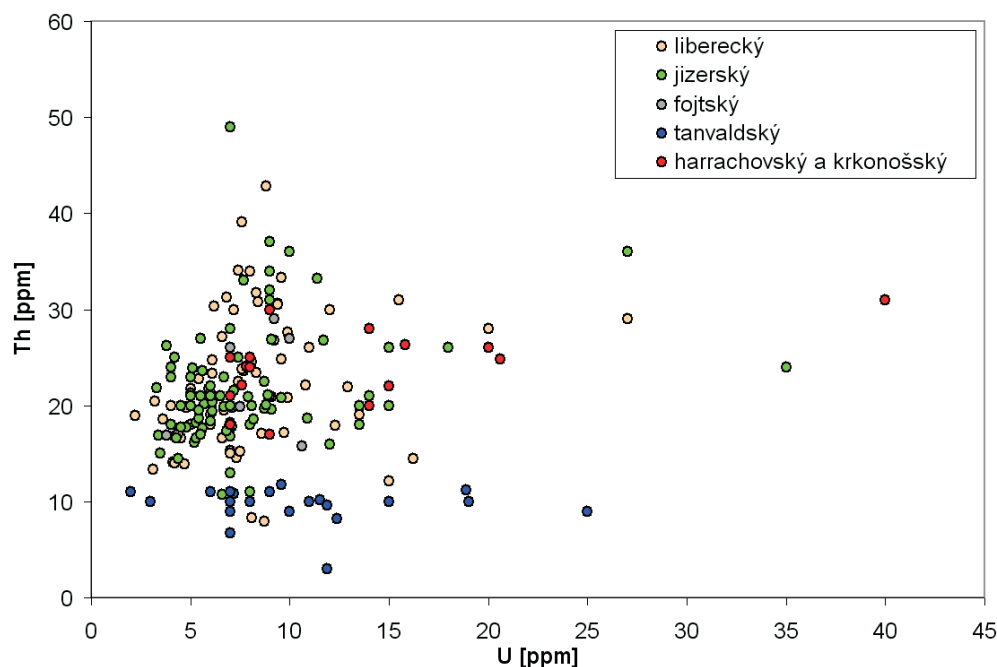
Třetím datovým souborem použitým pro hodnocení radioaktivity KJP jsou data Jeliňského (1965) z polské části plutonu. U vybraných 59 vzorků byly stanoveny uran i thorium. Vzorky jsou lokalizovány jako body na vložené skládané mapě formátu A2, litologicky charakterizovány a rozděleny na tři skupiny (porfyrický granit, stejnozrný granit a aplitický granit), které generálně nesouhlasí s klasifikací KJP podle Klomínského (1969). Údaje o obsazích draslíku nejsou v práci Jeliňského (1965) uvedeny. Problémem může být ovšem odchylná metodika stanovení uranu a thoria. Uran byl měřen perloluminiscenčně a thorium kolorimetricky za použití činidla Arsenazo-1. Věrohodnost těchto analýz byla ověřena, jak uvádíme dále.

Dalším uvažovaným zdrojem byla data z publikované práce Mikulského (2007), který uvádí 25 analýz granitoidů KJP. Jeho práce však byla zaměřena ložiskově. Z toho důvodu uvádí většinou postmagmaticky alterované a mineralizované vzorky s vysokými obsahy U i Th z okolí Szklarské Poręby, které se nehodí do skupiny běžných hornin KJP. Dalším problémem je opět jiná metodika stanovení U a Th, kdy byly namísto laboratorní gamaspektrometrie užity metody XRF a ICP-AES. Vzorky také nejsou dobře lokalizovány ani přiřaditelné k popisovaným typům granitů. Údaje Mikulského (2007) proto nebyly do hodnoceného souboru zahrnuty.

## Zhodnocení dat a výsledky

Použitá data jsou heterogenní a obsahují v závislosti na autorovi informace o zkoumaných vzorcích hornin (litologický popis), místo (popis lokality) a pozici odběru (souřadnice nebo mapové podklady, oboje často pochybné kvality) a hodnoty obsahů radioaktivních prvků K, U a Th.

Obr. 1. Grafické znázornění obsahů uranu a thoria v jednotlivých typech granitoidů krkonoško-jizerského plutonu. Tento soubor dat byl hodnocen statisticky.



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

Mapa Fatkové (1969) byla ztotožněna superpozicí s mapou horninových typů KJP Klomínského et al. (2010). Tímto způsobem byly některé z jizerských typů granitu přiřazeny k libereckému typu.

Horninové typy z práce Jeliňského (1965) byly přiřazeny superpozicí publikované mapy s mapou Klomínského et al. (2010), ale ani tak se nepodařilo dostatečně přesně určit veškeré typy granitů polské části plutonu. Čtyři vzorky (snad) náležející krkonošskému typu byly proto přiřazeny k typu harrachovskému a jsou pro účely tohoto hodnocení sdruženy do jedné skupiny. Z dat Jeliňského (1965) byly také vyřazeny čtyři velmi odlehlé vzorky jizerského typu a čtyři z libereckého typu. Koncentrace radioaktivních prvků u nich dosahovaly 7–62,5 ppm U a 28–61 ppm Th, zároveň měly i vysoké obsahy snadno vyloužitelného uranu. 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 Jeliňským (1965) nejsou z důvodu odlišné analytické metodiky plně srovnatelné s daty získanými laboratorní gamaspektrometrií. Lze však předpokládat, že obě části plutonu – česká i polská – budou mít generelně podobné koncentrace radioaktivních prvků. Ze všech dat z české části plutonu a také z dat Jeliňského (1965) byly proto 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 zmíněných osmi odlehlých vzorků). Hodnoty průměrů se poněkud liší, což však může být způsobeno i větším podílem více radioaktivních granitů harrachovských a krkonošských i částečně

postmagmaticky alterovaných libereckých a jizerských typů. Proto považujeme analytická data Jeliňského (1965) za věrohodná.

Do statisticky hodnoceného souboru bylo zařazeno celkem 206 vzorků. Získaná data, jejichž úplný přehled uvádí Černík (2012), byla zpracována v programu Excel. Pokud byly stanoveny obsahy uranu jako U(Ra), tedy stanovení uranu přes dceřiné izotopy radia a zároveň jako U, tj. stanovení přes dceřiný  $^{234}\text{Th}$ , byla do datového souboru použita spolehlivější hodnota U(Ra). Jako statistické parametry byly hodnoceny počet vzorků, průměr, minimum, maximum, směrodatná odchylka, rozptyl a medián (tab. 1), ze získaných průměrů byly vypočteny poměry radioaktivních prvků (tab. 2). Grafické vyjádření koncentrací uranu a thoria pro celý datový soubor ukazuje obr. 1.

Nejaktivnější – co se týče jak U, tak Th – je granit harrachovský a krkonošský, zato nejméně U obsahuje granit jizerský. Harrachovský granit obsahuje také nejvíce K. Ještě zajímavější je tanvaldský dvojslídny granit, který obsahuje průměrně 10 ppm U a pouze 9,73 ppm Th (tab. 1) a má obrácený poměr U/Th, a to 1,04 oproti 0,36 až 0,54 u ostatních typů (tab. 2).

## Diskuse a závěr

Geochemická a petrografická spřízněnost se objevuje i na obrazu obsahu radioaktivních prvků u jizerského a libereckého granitu. Petrograficky rozdílný granit až granodiorit fojtský s vysokým podílem biotitu a amfibolu (Mrázová et al. 2006) má překvapivě velmi podobné obsahy radioaktivních prvků i totožné poměry U/Th a velmi podobné K/Th jako hostitelský liberecký a jizerský granit. Tyto údaje podporují hypotézu jeho vzniku jako produktu granitizace amfibolitu (Klomínský 1969). V takovém případě by hornina měla zajisté mnohem nižší obsahy radioaktivních prvků.

Pravděpodobnější je jeho vznik spíše procesy magmatické diferenciaci.

Zcela odlišná je situace granitu tanvaldského. Na rozdíl od ostatních typů obsahuje relativně nejvyšší podíl U, nejvyšší je i jeho poměr U/Th (což je tedy spíše „uranový“ granit podobný např. granitu žandovskému). Navíc se u tanvaldského granitu projevuje určitá horní hranice v obsahu Th (obr. 1), který v žádném ze vzorků nepřevyšuje 12 ppm, zatímco obsahy U jsou variabilní v mezích obvyklých u ostatních typů. Uvedené parametry jsou zcela v souladu s údaji ostatních autorů, kteří tento typ na základě petrografických, geochemických a strukturních dat řadí mimo hlavní skupinu (Kvičinský 1986, Klomínský et al. 2006, Klomínský et al. 2009). Tanvaldský granit dokonce Kvičinský (1986) považoval za geochemicky spřízněnější s kadomským granitem rumburským a diskutováno je jeho možné vyšší stáří, než má hlavní část tělesa KJP. Tomu však odporují moderní geochronologická data (Klomínský et al. 2010, Jiří Žák, úst. sděl. 2012).

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

*Poděkování. Výzkum byl realizován za finančního přispění Výzkumného záměru MSM0021620855. Děkujeme RNDr. Pavle Gütlerové za provedení výběru z litogeochemické databáze ČGS, Mgr. Pavlu Veselému za umožnění přístupu a pomoc v archivu s. p. DIAMO a RNDr. Vladimíru Lysenkovi, Doc. RNDr. Jiřímu Žákovi, Ph.D., a RNDr. Ivanu Gnojčovi za cenné konzultace. Prof. Milanu Matolínovi děkujeme za plodné připomínky k textu práce.*

## Literatura

- ČADKOVÁ, Z. – JAKEŠ, P. – HAKOVÁ, M. – MRÁZEK, P. (1985): Katalog geochemických dat základní regionální sítě. – MS Čes. geol. služba, Praha.
- ČERNÍK, T. (2012): Radioaktivita granitoidů krkonošsko-jizerského plutonu. Bakalářská práce, 28 str. – MS Přírodověd. fak. Univ. Karlovy v Praze.
- FATKOVÁ, J. (1969): U, Ra, Th, a K40 v granitoidních horninách krkonošsko-jizerského masivu. – MS DIAMO, Stráž pod Ralskem, 52 str.
- JELIŃSKI, A. (1965): Geochemia uranu w granitowym masywie Karkonoszy z uwzględnieniem innych masywów granitoidowych Dolnego Śląska. – Biul. Inst. Geol. 193, Warszawa, 5–110.
- KLOMÍNSKÝ, J. (1969): Krkonošsko-jizerský granitoidní masiv. – Sbor. geol. Věd, Geol. 15, 7–132.
- KLOMÍNSKÝ, J. – FEDIUK, F. – SCHOVÁNEK, P. – JARCHOVSKÝ, T. (2009): Tanvaldský masiv – relik magmatického tělesa v krkonošsko-jizerském kompozitním masivu. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2008, 158–161.
- KLOMÍNSKÝ, J. – JARCHOVSKÝ, T. – RAJPOOT, G.S. (2010): Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif. 4. LUGICUM. – 78 str. Čes. geol. služba, Praha.
- KLOMÍNSKÝ, J. – SCHOVÁNEK, P. – JARCHOVSKÝ, T. – SULOVSKÝ, P. – TOUŽIMSKÝ, M. (2007): Kontakt tanvaldského a libereckého granitu Jablonce nad Nisou. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2006, 24–29.
- KVIČINSKÝ, Z. (1986): Postavení tanvaldského granitu ve vztahu k horninám krkonošsko-jizerského a lužického plutonu. – Věst. Ústř. Úst. geol. 61, 6, 361–367.
- MIKULSKI, S. Z. (2007): Metal ore potential of the parent magma of granite – the Karkonosze massif example. Granitoids in Poland. – Arch. mineral. Monograph. 1, 123–145.
- MRÁZOVÁ, Š. – ADAMOVÁ, M. – BURDA, J. – KNĚSL, I. – KLOMÍNSKÝ, J. – LOCHMANN, Z. – MANOVÁ, M. – NEKOVARÍK, Č. – NÝVL, D. – ŠALANSKÝ, K. (2006): Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000, list 03-144 Tanvald. – 34 str. Čes. geol. služba, Praha.
- SEDLÁK, J. – GNOJEK, I. – DĚDÁČEK, K. – ZABADAL, S. (2005): Letecké geofyzikální mapování radioaktivních zátěží Liberecka. Závěr. zpráva. – MS Miligal, s.r.o., Brno, Čes. geol. služba, Praha.