

Přirozená radioaktivita čerstvých a hydrotermálně alterovaných hornin na lokalitě Pohled (moldanubikum)

Natural Radioactivity of Fresh and Hydrothermally Altered Rocks at the Pohled locality (Moldanubicum)

EVA MASTÍKOVÁ, ZDENĚK DOLNÍČEK

Katedra geologie, Palackého univerzita, 17. listopadu 12, Olomouc, CZ – 771 46; e-mail: evamastikova@centrum.cz; dolnicek@prfnw.upol.cz

Abstract: In quarry Pohled near Havlíčkův Brod there are found mainly Moldanubian granites and paragneisses, rarely also amphibolite, eclogite, serpentinite and pyroxenite. The rocks are cut by numerous hydrothermal veins and in their neighbourhood there are developed extensive hydrothermal alterations. In addition, disseminated Mo-mineralization occurs in granites. Both macroscopic and microscopic changes are observed especially in granites and gneisses adjacent to mineralization. Radioactivity of fresh and altered rocks was measured using field and laboratory gamma-ray spectrometry. The highest measured values of K, U and Th showed granites. Altered granite showed higher average content of K (3.5%) and lower Th (11.9 ppm) than fresh unaltered granite (K 3.0%, Th 13.3 ppm), whereas content of U is essentially the same, 6.0 ppm. Gneisses have average content of potassium 1.3%, thorium 2.8 ppm and uranium 2.2 ppm. During alteration, increase of content of K, U and Th was observed. Pegmatite veins had average content of potassium 2.7%, uranium 6.9 ppm and thorium below detection limit (<1.5 ppm). Amphibolites, eclogites, serpentinites and pyroxenites have the all determined elements below detection limits. Generally the rocks investigated belong to low or middle radioactive one.

Key words: Moldanubicum, Pohled quarry, gamma-ray spectrometry, natural rock radioactivity

ÚVOD

Lom Pohled je čtyřetážový činný lom nacházející se ve stejnojmenné obci čtyři kilometry východně od Havlíčkova Brodu. Podle regionálně-geologického členění spadá do pestré skupiny moldanubika. Nejběžnějšími horninami jsou žula a rula. Pohledská žula je světle šedá, středně zrnitá hornina. Hlavními minerály jsou křemen, živce a biotit, akcesoricky se vyskytoval zirkon (Mastíková 2009), chlorit, apatit, pyrit, muskovit a kalcit (Welser, Záruba 2004). Geneze granitu je spojována s melechovským masivem moldanubického plutonu (<http://pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz/pohled/pohled.htm>). Ruly lze definovat jako biotitické pararuly, postižené různým stupněm migmatitizace, přecházející lokálně až v migmatit. Podřízené jsou zastoupeny amfibolické ruly. Vedle hlavních fází, křemene, plagioklasu, biotitu/amfibolu a muskovitu jsou v rulách v malé míře zastoupeny sillimanit, chlorit, granát, apatit, zirkon a titanit (<http://pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz/pohled/pohled.htm>). Dalšími horninami, nalezenými v malém množství v podobě max. 50 cm velkých čoček uzavřených v rulách, jsou amfibolit, eklogit, serpentinit a pyroxenit. Podrobněji se o výskytu a složení ultrabazických uzavřenin zmiňuje Turek (2006). Na některých místech jsou odkryty i pegmatitové žíly, tvořené křemenem, K-živci, biotitem, ojediněle amfibolem, fluorapatitem či skorylem (Welser, Záruba 2004, Mastíková 2009).

V lomu Pohled bylo nalezeno vtroušeninové Mo-zrudnění a následující typy žilné mineralizace: žíly s polymetalickým zrudněním, žíly pouze s křemenem, žíly s kalcitem, žíly alpského typu a žíly s palygorskitem (Mastíková 2009). Vtroušeninové molybdenitové zrudnění se vyskytlo na rozhraní

dvou litotypů, migmatitu a granitu v západní části třetí etáže lomu. Molybdenitem obohacený červeně zbarvený granit obsahuje kromě obvyklých fází i tabulky a šupiny molybdenitu o velikosti 1,5 mm. Velmi hojně hydrotermální žíly s polymetalickým zrudněním kutnohorského typu mají různou mocnost (mm – cm, max. 30 cm). Rudní minerály (sferiterit, galenit, pyrit, chalkopyrit, arzenopyrit a pyrhotin) jsou obvykle doprovázeny křemennou a karbonátovou žilovinou. Nejběžnější mineralizací jsou křemenné žíly. Křemen je bílý nebo šedé barvy, poměrně časté jsou drobné krystaly v dutinách, místy s přechody do křišťálu (Dobeš, Malý 2001). Kalcitové žilky jsou tvořeny samotným kalcitem, někdy s malou příměsí doprovodných minerálů. Kalcit tvoří hrubé až jemně zrnité agregáty, bílé až šedé barvy. Doprovodnými minerály mohou být pyrit, křemen či fluorit. Žíly alpského typu se vyskytují jen sporadicky. Jsou tvořeny křemenem, kalcitem, tmavě zeleným chloritem, pyritem, pyrhotinem a molybdenitem (Mastíková 2009).

V nejbližším okolí hydrotermálních žil došlo často k různě intenzivní alteraci okolní horniny. Alterace makroskopicky zasahuje do vzdálenosti několika centimetrů od žíly, nejvýrazněji je patrná u granitů. Makroskopicky se projevila změnou barvy (červené zbarvení alterované zóny). Mikroskopicky změny nejvíce postihly biotit a plagioklas. Biotit podléhá podél štěpných trhlin rozsáhlé chloritizaci. Veškeré živce byly více či méně sericitizované. Ke změně v textuře nedošlo.

Obecně každá hornina vykazuje specifickou přirozenou radioaktivitu, způsobenou rozpadem nestabilních izotopů U, Th a K. Radioaktivita hornin odráží jejich mineralogické složení. Nejvyšší obsah draslíku mají draselné živce, leucit,

biotit, flogopit, muskovit (včetně sericitu) a illit. Uran tvoří samostatné minerály jako je uranit a coffinit, nebo je součástí akcesorických minerálů jako je titanit, apatit, zirkon, xenotim, monazit a allanit. Thorium se nachází především v magmatogenních minerálech vzniklých za vysokých teplot, obvykle jako součást akcesorických minerálů jako je apatit, titanit, zirkon, epidot, allanit, monazit, v sedimentech může být dále vázáno i v jílových minerálech (Matolín 1970). V moldanubické oblasti patří k silně radioaktivním horninám granity, durbachity a syenity. Extrémně nízkou radioaktivitou se vyznačují serpentinity (Matolín, Chlupáčová 1997).

Konkrétní dosavadní výzkumy zaměřené na přirozenou radioaktivitu jednotlivých horninových typů v oblasti moldanubika jsou poměrně sporé. Na lokalitě Bory u Velkého Meziříčí byly metodou laboratorní gamaspektrometrie studovány granuly, erlany, pegmatity, serpentinity a pyroxenity strážceckého moldanubika (Fiala et al. 1987, Fuksová 2010). Nejvyšší obsahy radioaktivních prvků byly naměřeny u pegmatitů (max.: K 8,5%, Th 25,4 ppm, U 36 ppm). Nejnižší hodnoty vykazovaly bazické uzavřeniny, které měly obsahy K, U a Th pod mezí stanovitelnosti. Různé typy granulitů se v obsahu K a U lišily jen minimálně (v průměru: K 2,9%, U 3,1 ppm), vyšší obsah Th vykazují tmavé granulity (max. 15,9 ppm) než granulity světlé (max. 7,4 ppm) (Fuksová 2010). V Horách u Předína byly gamaspektrometricky studovány terénní pozůstatky po těžbě žilného zlatonosného zrudnění situovaného v rulách a kvarcitech (Potočková 2010, Potočková et al. 2011). Gamaspektrometricky byla na zájmových lokalitách (Zákopy, Štůlně) měřena rubanina vytěžená v jednotlivých pinkách. Průměrná hodnota obsahu K na Zákopech byla 1,6%, na lokalitě Štůlně 1,9%. Obsah U se pohybuje v intervalu 3,2–8,9 ppm; obsah Th v rozmezí od 6,2–12,3 ppm. Další výzkum byl zaměřen na lokalitu Budišov a její

okolí (Matolín 2004), tvořené amfibol-biotitickými durbachity a granosyenity. Durbachity a granosyenity jsou v Českém masivu horninami s nejvyšší regionální radioaktivitou. Koncentrace K je 1,9–5,1%, U 4,1–8,6 ppm a Th 14,8–36,6 ppm (Matolín 2004).

Cílem předložené práce je 1) zhodnocení přirozené radioaktivity všech litotypů nacházející se na lokalitě Pohled a 2) zhodnocení vlivu naložených hydrotermálních přeměn na distribuci K, U a Th.

METODIKA PRÁCE

Množství přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) bylo měřeno nejprve v terénu pomocí gamaspektrometru GRM 260/B (výrobce GF Instruments, Brno). Jednotlivá gamaspektrometrická měření trvala 3 minuty. V měřeném bodě byl pak odebrán vzorek horniny o hmotnosti cca 500 g pro laboratorní gamaspektrometrii. Laboratorní gamaspektrometrie se uskutečnila pomocí laboratorního gamaspektrometru GS-320 (výrobce Exploranium Inc., Kanada) na katedře geologie PfF UPOL v Olomouci. Vzorky v úlomcích o velikosti 1–5 cm se vložily do uzavíratelných plastových kelímků s víčkem o objemu 250 ml a nechaly se uzavřené 1 měsíc pro ustavení radioaktivní rovnováhy. Samotné měření každého vzorku trvalo cca 30 minut. U draslíku je mez stanovitelnosti 0,5 hmot. %, u uranu a thoria je mez stanovitelnosti 1,5 ppm.

VÝSLEDKY

Měření byly podrobeny všechny v lomu nalezené litotypy. Rozsahy naměřených hodnot K, U a Th z terénního i laboratorního měření jsou zaznamenány v tabulce 1.

Tab. 1. Hodnoty terénního a laboratorního měření obsahů K, U a Th u jednotlivých litotypů.

Tab. 1. Values of field and laboratory measurement of K, U, and Th in individual rock types.

hornina	druh měření	počet měření	K (%)		Th (ppm)		U (ppm)	
			rozpětí	průměr	rozpětí	průměr	rozpětí	průměr
granit nealterovaný	laboratorní	6	2,8–3,3	3,0	11,7–13,8	13,3	5,4–6,6	6,1
	terénní	8	2,9–5,2	4,6	14,3–21,3	18,1	8,7–14,0	11,3
granit alterovaný	laboratorní	7	3,3–4,5	3,5	7,5–13,6	11,9	5,4–6,8	6,0
	terénní	7	3,9–5,8	5	11,9–20,6	18,0	8,0–13,5	11,1
pegmatit	laboratorní	4	1,1–5,5	2,7	<1,5		3,4–9,2	6,9
	terénní	4	2,2–3,8	2,7	2,7–5,2	3,6	9,2–10,3	9,6
rula	laboratorní	6	<0,5–3,2	1,3	<1,5–9,3	2,8	<1,5–5,1	2,2
	terénní	13	0,4–4,5	2,7	0,6–13,8	8,9	1,7–8,4	5,0
amfibolit	laboratorní	1	<0,5		<1,5		<1,5	
	terénní	5	0,6–1,3	0,9	1,0–3,7	2,9	1,1–2,1	1,6
pyroxenit	laboratorní	2	<0,5		<1,5		<1,5	
	terénní	1	1,8		3,8		3,6	
eklogit	laboratorní	3	<0,5		<1,5–2,9		<1,5	
	terénní	1	1,2		2,0	2,0	2,6	
serpentinit	laboratorní	2	<0,5		<1,5		<1,5	
	terénní	0						

Největší počet měření byl realizován u **žuly**, u které se většinou porovnávala vždy její nealterovaná část s částí alterovanou (přeměněnou během formování polymetalické hydrotermální mineralizace na žilách). Výrazný rozdíl byl v obsahu Th a K. Laboratorně byla u nealterovaných granitů průměrná hodnota draslíku 3,0%, thoria 13,3 ppm a uranu 6,1 ppm. U alterovaných granitů to pak bylo 3,5% draslíku, 11,9 ppm thoria a 6,0 ppm uranu. Největší variabilita dat byla naměřena u Th, u nealterovaného granitu se hodnoty pohybovaly v rozmezí 11,7–13,8 ppm, u alterovaného granitu 7,5–13,6 ppm. U ostatních radioaktivních prvků (K, U) je variabilita menší.

U **rul** byla v laboratorních podmínkách průměrná hodnota v draslíku 1,3%, thoria 2,8 ppm a uranu 2,2 ppm. U amfibolických a biotitických rul byly hodnoty podobné, proto nejsou rozlišeny. Největší variabilita byla u Th a U. Obsah thoria byl v rozmezí <1,5–9,3 ppm, u uranu to bylo v rozmezí <1,5–5,1 ppm. Menší variabilita byla u draslíku, <0,5–3,2%.

U **pegmatitů** byly průměrné hodnoty u draslíku 2,7%, uranu 6,9 ppm a u thoria byla pod mezí stanovitelnosti (v terénu Th 3,6 ppm). Nejširší variabilita dat byla naměřena u uranu, 3,4–9,2 ppm v laboratoři (9,2–10,3 ppm v terénu), draslík byl v rozmezí 1,1–5,5% v laboratoři (2,2–3,8% v terénu).

Všechny **amfibolity** měly při laboratorních měřeních hodnoty pod mezí stanovitelnosti. Z terénního měření měly amfibolity průměrnou hodnotu draslíku 0,9%, thoria 2,9 ppm a uranu 1,6 ppm.

Všechny **pyroxenity** měly v laboratorních podmínkách hodnoty pod mezí stanovitelnosti. V terénu dosáhla hodnota u draslíku max. 1,8%, thoria 3,8 ppm a uranu 3,6 ppm.

Eklogity se měřily ve 3 případech v laboratoři a jeden vzorek v terénu. Obsahy všech radioaktivních prvků byly u laboratorního měření pod mezí stanovitelnosti. V terénu byly naměřeny hodnoty K 1,2%, Th 2,0 ppm a U 2,6 ppm.

Serpentinity měly obsahy draslíku, thoria a uranu při laboratorním měření pod mezí stanovitelnosti, v terénu nebyly měřeny.

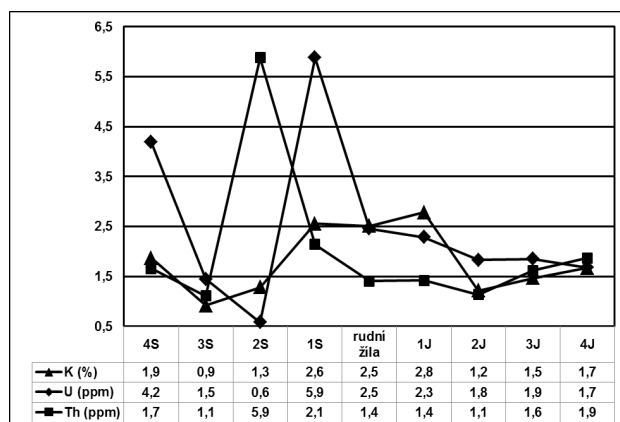
Nejvyšší naměřená hodnota **uranu** byla 14 ppm v terénu u nealterovaného granitu, v laboratorních podmínkách to bylo 9,2 ppm u pegmatitu. Naopak nejnižší hodnota byla v laboratorních podmínkách pod 1,5 ppm (tj. pod mezí stanovitelnosti) u rul, amfibolitů, pyroxenitů a eklogitů, v terénu to bylo 1,1 ppm u amfibolitu. Nejvíce podobné hodnoty jsou u pegmatitů, rul, amfibolitů.

Nejvyšší hodnoty **draslíku** byly u granitů (alterovaných i nealterovaných) a pegmatitů (3,8% v terénu, 5,5% v laboratoři). Naopak nejnižší hodnota byla naměřena v terénu u ruly a to 0,4%. Laboratorně se meze stanovitelnosti (0,5%) dotkly ruly, pod ní jsou pak amfibolity, pyroxenity, serpentinity a eklogity.

Nejvyšší hodnoty **thoria** jsou u alterovaných i nealterovaných granitů (21,3 ppm v terénu; 13,8 ppm v laboratoři)

a rul (9,3 ppm v laboratoři; 13,8 ppm v terénu), nejnižší hodnoty (pod mezí stanovitelnosti) jsou u amfibolitů, pyroxenitů, serpentinitů.

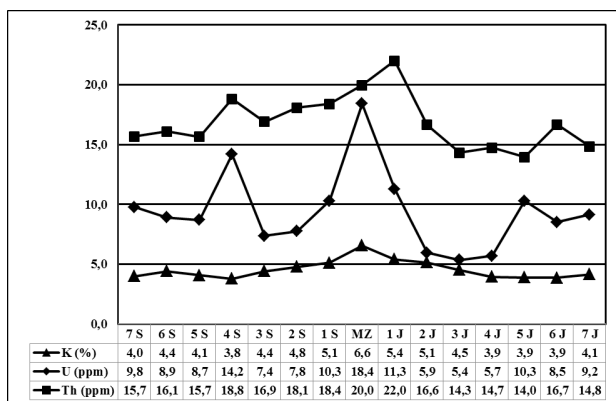
Ve východní části čtvrté etáže lomu byla odkryta rudní žíla s polymetalickým zrudněním a mocností kolem 30 cm. Žíla procházela ve směru SZ–JV se sklonem 59°. Okolní horninou byla rula. Centrální část žíly tvořil celistvý pyrotin a při okrajích hrubozrnný černý sfalerit se zrny pyrotinu. Do vzdálenosti čtyř metrů na obě strany (na sever a na jih) od žíly byla s krokem 1 metru měřena přirozená radioaktivita pomocí terénního gamaspektrometru. Jak je vidět na obr. 1, maximální obsahy Th a U byly u prvního a druhého metru severně od rudní žíly, následně se hodnoty v obou směrech výrazně snížily a již kolem čtvrtého metru byly ustálené a přibližně shodné (kolem 1,8 ppm). Pouze obsah U se u čtvrtého metru severním směrem opět zvýšil až na 4,2 ppm. Obsah K byl do vzdálenosti jednoho metru okolo žíly stejný (2,5–2,8%), pak pozvolna klesal.



Obr. 1. Vzájemné porovnání obsahů K, U, Th na profilu přes rudní žílu. Značení vzorků: číslo indikuje vzdálenost měřeného místa od středu žíly (v metrech), písmeno světovou stranu (S - sever, J - jih).

Fig. 1. Mutual comparison of K, U, Th contents on profile across ore vein. Marking of samples: number indicates how far is the measured place from the vein (in meters), letter indicates strike (S means north, J means south).

Dále byl měřen profil přes výskyt vtroušeninového molybdenitového zrudnění v západní části třetí etáže lomu. Zrudnění, jak již bylo zmíněno, se nachází se na rozhraní dvou litotypů, migmatitu a granitu. Jižním směrem pokračoval migmatit, kdežto severním granit. Opět na příčném profilu byly měřeny obsahy Th, U a K (obr. 2) pomocí terénního gamaspektrometru. Nejvýraznější výkyvy můžeme pozorovat u uranu, kde nejvyšší hodnoty byly v oblasti s Mo-zrudněním. Thorium dosahuje nejvyšších hodnot také v blízkosti Mo-zrudnění, následně se v obou směrech hodnota zmenšovala a ustalovala. Menší píky U a Th můžeme pozorovat na čtvrtém metru severně a šestém metru jižně. Draslík má zřetelné maximum v místě výskytu Mo-zrudnění, na obě strany pak jeho obsah klesá.



Obr. 2. Vzájemné porovnání obsahů K, U, Th na profilu přes hnízdo vtroušeninového Mo-zrudnění. Značení vzorků: číslo indikuje vzdálenost měřeného místa od Mo-zrudnění (v metrech), písmeno světovou stranu (S - sever, J - jih), MZ – molybdenitové zrudnění.

Fig. 2. Mutual comparison of contents of K, U, and Th along profile through a nest of disseminated Mo mineralization. Marking of samples: number indicates how far is measured place from the Mo-mineralization (in meters), letter indicates strike (S means north, J means south), MZ molybdenite mineralization.

DISKUSE

Při porovnání naměřených obsahů přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) lze konstatovat, že veškerá terénní měření jsou vyšší než laboratorní. Terénní měření ukazuje hodnoty zhruba dvojnásobné oproti laboratornímu měření. Tento rozdíl je nejvíce patrný u granitů. Tyto vysoké hodnoty mohou být následkem reálných podmínek při měření, kdy jsou výsledky ovlivněny okolními horninami v lomu při měření díky neideální geometrii (blízkost lomových stěn, zahlobení etáže, apod.). U vzácnějších typů hornin (amfibolity, eklogity, serpentinity, pyroxenity) jsou zvýšené hodnoty při terénním měření prokazatelně ovlivněny okolními více radioaktivními horninami. Velikost čoček těchto hornin obvykle nepřesahuje několik desítek centimetrů, zatímco gamaspektrometr registruje záření z oblasti o průměru zhruba dva metry (Štelcl, Zimák 2006).

Výrazný rozdíl mezi alterovaným a nealterovaným granitem byl v obsahu Th a K. Z vyššího obsahu Th u nealterovaného granitu (průměr 13,3 ppm) můžeme usuzovat, že při alteraci docházelo k rozkladu akcesorických minerálů obsahujících Th a k odnosu Th z alterované horniny. Vyšší obsah K (průměr 3,5 %) v alterovaném granitu mohla zapříčinit K-feldspatizace a sericitizace plagioklasů, potvrzená již dříve mikroskopicky (Mastíková 2009). Obsah uranu se při těchto alteracích výrazněji nezměnil.

U zkoumané rudní žíly v rule byly nejvyšší hodnoty radioaktivních prvků naměřeny v bezprostředním okolí žíly. Při vzniku polymetalického zrudnění tak došlo k přínosu K, U a Th do okolní horniny. Ve větší vzdálenosti od žíly, kam již nedosahovala alterace, se hodnoty v obou směrech výrazně snížily a následně ustálily. Nepředvídatelné

je opětovné zvýšení hodnoty U (4,2 ppm) u čtvrtého metru severním směrem. Patrně je to způsobeno primární nehomogenitou výskytu U-Th-minerálů v rule. Vyloučit nemůžeme ani případný výskyt dalšího neodkrytého zrudnění či lokální akumulaci radioaktivních akcesorických minerálů v hornině.

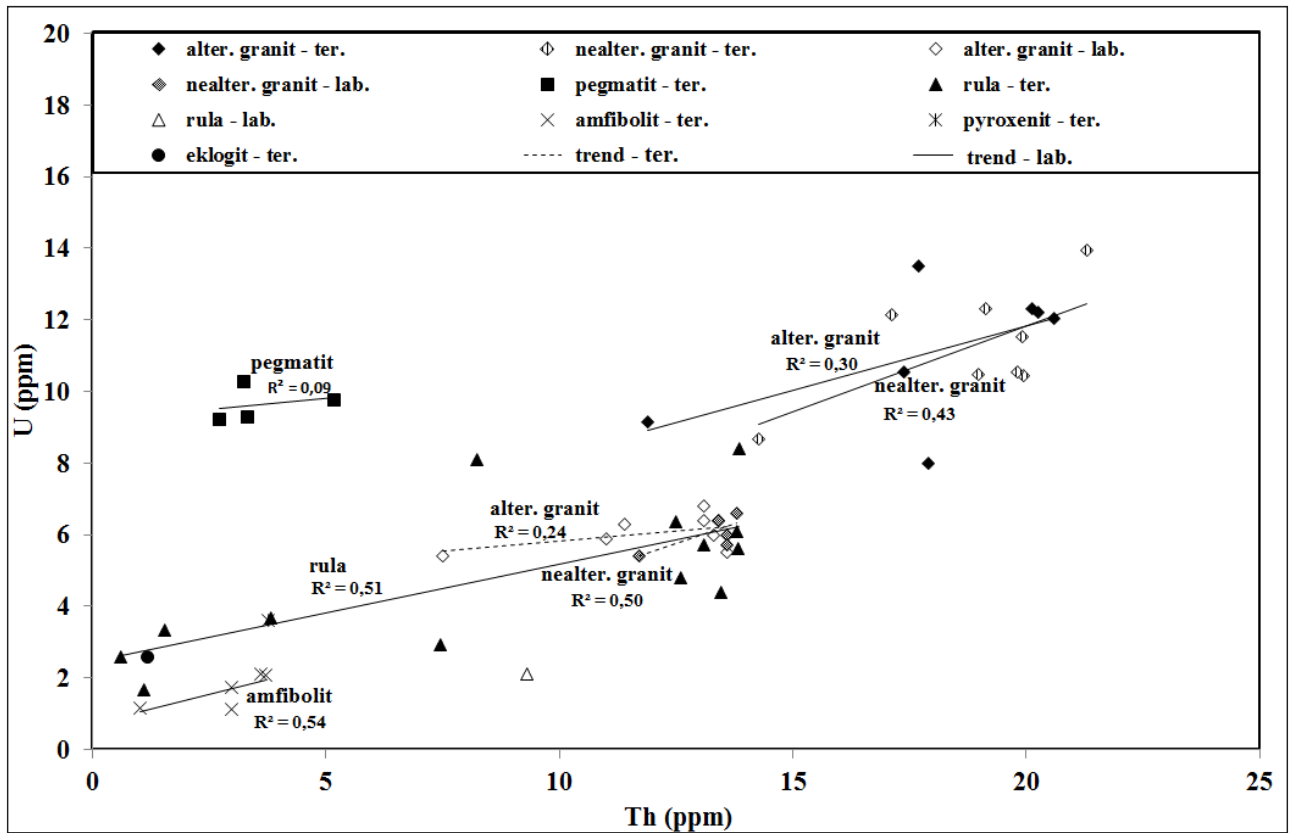
Na profilu přes **Mo-zrudnění** byly největší hodnoty naměřeny v nejbližším okolí zrudnění, což nasvědčuje přínosu K, U i Th během formování Mo-zrudnění. Mikroskopicky byla zjištěna výrazná chloritizace biotitu a sericitizace plagioklasů. Gamaspektrometricky indikované změny jsou v souladu i se stanoveními chemickými: Mo-granit má výrazně vyšší obsah uranu (30,6 ppm), thoria (21,6 ppm), a draslíku (7,8 hmot. % K_2O) než nealterovaný granit (5,0 ppm U, 10,6 ppm Th a 3,8 % K_2O ; Mastíková 2009).

Z naměřených dat pro jednotlivé horninové typy byly zkonstruovány korelační diagramy s cílem posoudit trendy v distribucích. U dvojice **Th–U** (obr. 3) je u všech horninových typů patrná přímo úměrná závislost. Tato pozitivní závislost značí, že Th a U jsou vázány na stejný minerál (např. titanit, zirkon, monazit nebo apatit). Mikroskopicky byl potvrzen výskyt zrn zirkonu a apatitu v rule a výskyt zirkonu v granitu, kolem nichž, jsou-li uzavírány v biotitu, jsou vyvinuty pleochroické dvůrky (Mastíková 2009).

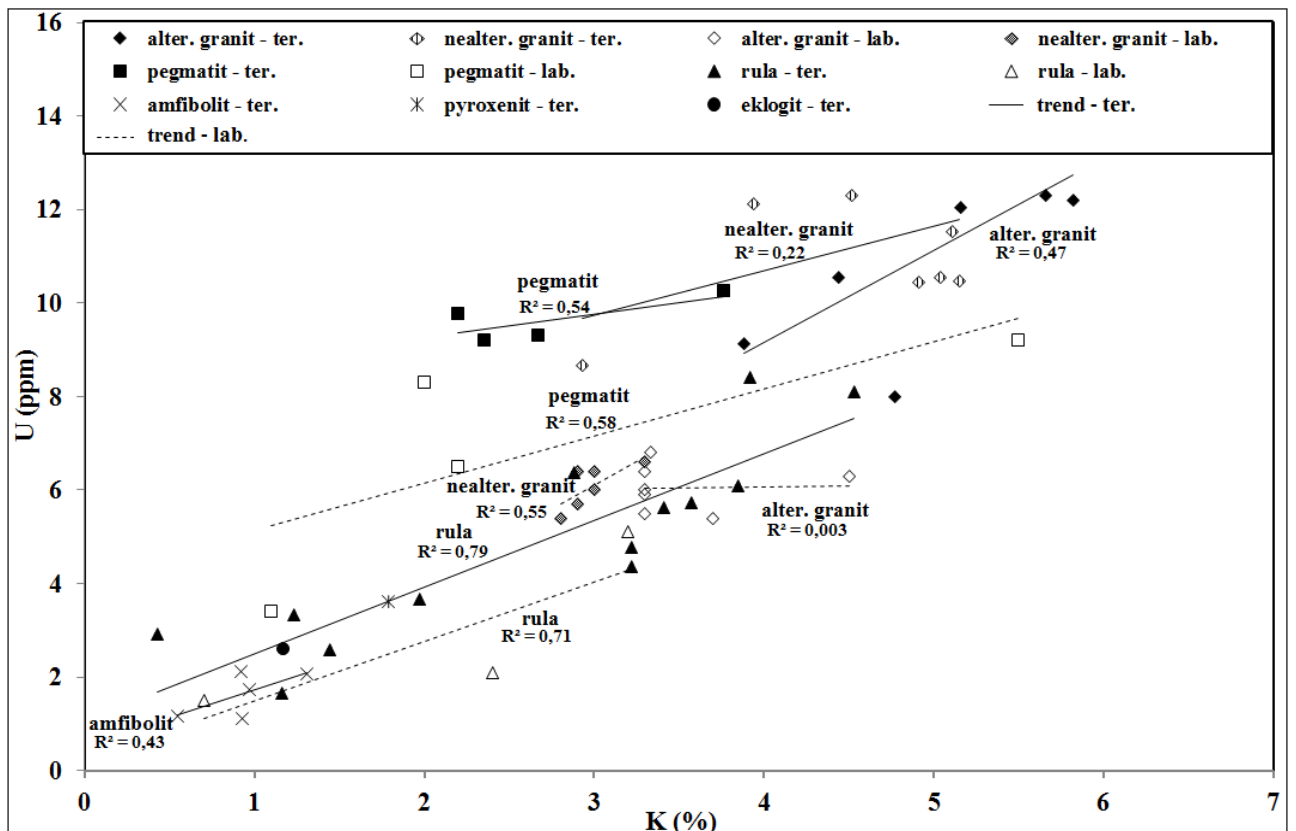
V diagramu **K–U** (obr. 4) můžeme pozorovat víceméně u všech horninových typů přímo úměrnou závislost, se zvyšujícím se obsahem K se zvyšuje i obsah U. Nejlepší korelace obsahů obou prvků je u rul ($R^2 > 0,70$). V biotitech z rul (které představují v daných horninách hlavního nositele draslíku) jsou hojné pleochroické dvůrky, nasvědčující přítomnosti radioaktivních akcesorických minerálů (Mastíková 2009). U pyroxenitu a eklogitu žádný trend nepozorujeme z důvodu malého množství dat. Pro porovnání jsou do grafu vyneseny i hodnoty z laboratorního měření, a to hodnoty pro granity, pegmatity a ruly. Závislost K-U je v tomto případě téměř shodná i se závislostí K-U vycházející z terénního měření. U granitů můžeme pozorovat jen malou variabilitu naměřených dat.

Dvojice **K–Th** (obr. 5) se v terénních a laboratorních výsledcích liší. U granitů, rul a amfibolitů byla z terénních měření zjištěna přímo úměrná závislost K a Th. Naopak u pegmatitů je závislost opačná (při zvyšování K zůstává Th konstantní nebo se mírně zmenšuje). U pyroxenitů a eklogitů žádný trend nepozorujeme z důvodu malého množství dat. Hodnoty z laboratorních měření byly shodné u rul a nealterovaných granitů, ale u alterovaných granitů je naznačen trend opačný. Se zvyšujícím se obsahem K se obsah Th snižuje; závislost však není nijak zřetelná ($R^2 = 0,15$). To je výsledkem přeměn, ke kterým došlo během alterace.

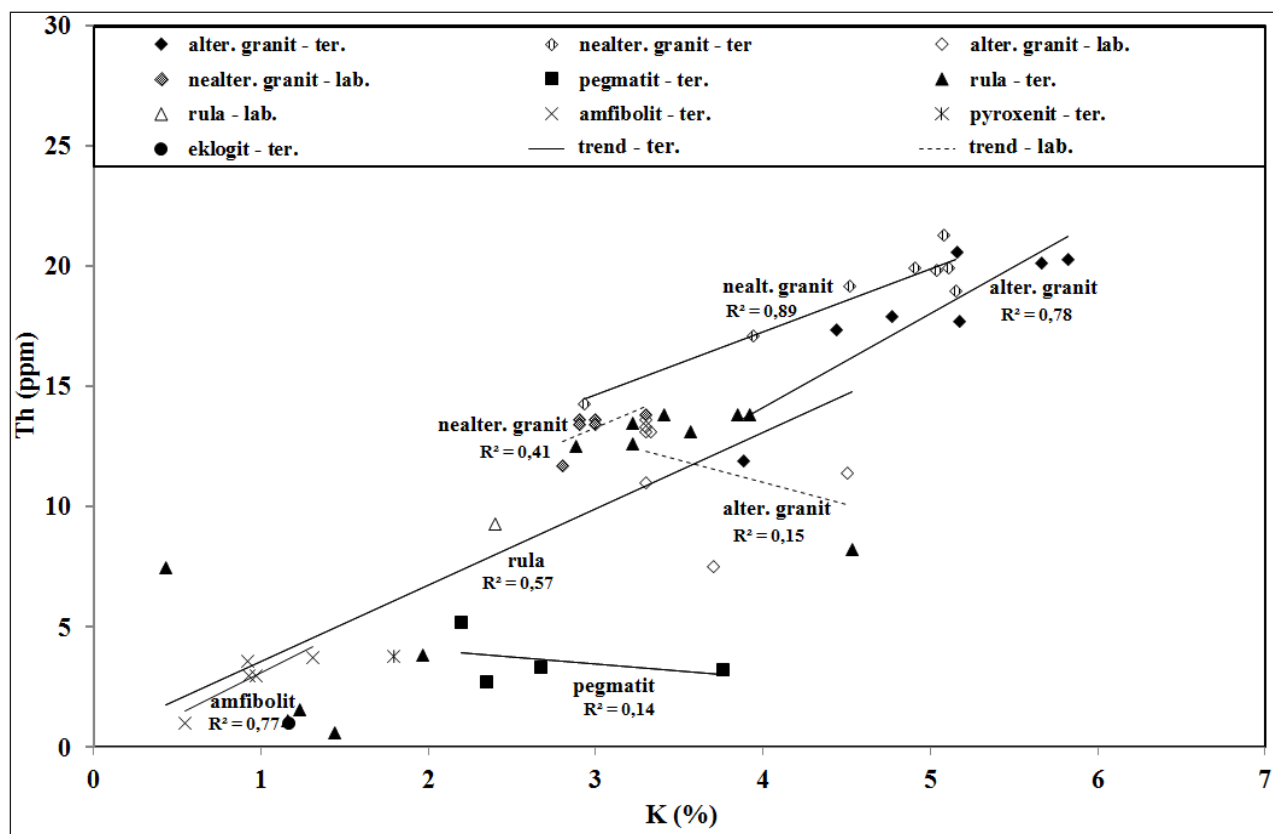
Možností vzájemného porovnání obsahu radioaktivních prvků na lokalitě Pohled s dosavadními výzkumy v moldanubiku jsou omezené. Dosavadní publikace se vesměs nezabývají radioaktivitou jednotlivých hornin, ale úhrnnou radioaktivitou



Obr. 3. Korelace terénního a laboratorního měření thoria a uranu. V grafu nejsou uváděny hodnoty laboratorního měření pod mezi stanovitelnosti.
Fig. 3. Correlation of field and laboratory measurement of thorium and uranium. The chart does not contain values of laboratory measurements below detection limits.



Obr. 4. Korelace terénního a laboratorního měření draslíku a uranu. V grafu nejsou uváděny hodnoty laboratorního měření pod mezi stanovitelnosti.
Fig. 4. Correlation of field and laboratory measurement of potassium and uranium. The chart does not contain values of laboratory measurements below detection limits.



Obr. 5. Korelace terénního a laboratorního měření draslíku a thoria. V grafu nejsou uváděny hodnoty laboratorního měření pod mezí stanovitelnosti.
Fig. 5. Correlation of field and laboratory measurement of potassium and thorium. The chart does not contain values of laboratory measurements below detection limits.

na zkoumaném území. Pouze na lokalitě Bory byly gamaspektrometricky měřeny konkrétní typy hornin. Korelace je možná u pegmatitů, serpentinitů a pyroxenitů. Hodnoty radionuklidů u pegmatitů v Borech jsou vyšší (v průměru: K 4,8%, Th 9,0 ppm, U 7,6 ppm) (Fuksová 2010) než v Pohledu (v průměru: K 2,7%, Th < 1,5 ppm, U 6,9 ppm). To může mít příčinu v odlišných mechanismech vzniku pegmatitové taveniny na obou lokalitách. V Borech byly pegmatity minimálně zčásti generovány při anatexi okolních metamorfitů (srov. Fiala et al. 1987), zatímco v Pohledu doklady o podobném mechanismu vzniku zatím chybí. Obsahy radioaktivních prvků v bazických a ultrabazických uzavřeninách v Borech i v Pohledu jsou shodně pod mezí stanovitelnosti. V porovnání s publikovanými údaji z oblasti moldanubika lze konstatovat, že na lokalitě Pohled náleží horniny k nízké (bazické uzavřeniny, amfibolity) a středně radioaktivní (granity).

ZÁVĚR

Nejvyšší naměřené hodnoty radioaktivních prvků (U, Th, K) byly u granitů, nejmenší naopak u bazických uzavřenin (amfibolitů, pyroxenitů, eklogitů a serpentinitů).

Při hydrotermální alteraci došlo u horninách ke změně makroskopickým (změna barvy), mikroskopickým (sericitizace, chloritizace, K-feldspatizace) i chemickým. Alterace má vliv i na distribuci radioaktivních prvků (K,

U, Th), přičemž lze konstatovat různé chování v různých litotypech. U alterovaných hornin došlo buď 1) ke zvýšení obsahu všech tří sledovaných prvků, nebo 2) ke zvýšení obsahu K a snížení Th, přičemž obsah U zůstává neměnný. Přínos K, U a Th do okolní horniny lze pozorovat u žilného polymetalického zrudnění v rula a u vtoušeninového Mo-zrudnění v granitu. Druhý případ se vyskytuje u polymetalické žilné mineralizace v granitech.

PODĚKOVÁNÍ

Rádi bychom poděkovali RNDr. Karlu Malému, Ph.D. za asistenci v terénu a doc. RNDr. Jiřímu Zimákovi, CSc. za proškolení a rady při využívání laboratorního gamaspektrometru. Terénní část práce byla finančně podpořena granty GAČR 205/07/P130 a IGA UP PrF_2011_010.

LITERATURA

- DOBEŠ P., MALÝ K. (2001): Mineralogie polymetalických rudních výskytů ve střední části havlíčkobrodského revíru. – Vlastiv. sbor. Vysočiny, sect. natur., 15: 51–85.
- FIALA J., MATĚJOVSKÁ O., VAŇKOVÁ V. (1987): Moldanubian granulites and related rocks: petrology, geochemistry and radioactivity. – Rozpr. ČSAV, Ř. mat.-přír. věd, 97 (1): 3–102.

- FUKSOVÁ A. (2010): Geologická dokumentace lomu Bory u Velkého Meziříčí (moldanubikum). – Ms. [Bakalářská práce, depon. in: Univerzita Palackého, Olomouc].
- MASTÍKOVÁ E. (2009): Geologická dokumentace lomu Pohled (moldanubikum). – Ms. [Bakalářská práce, depon. in: Univerzita Palackého, Olomouc].
- MATOLÍN M. (1970): Radioaktivita hornin Českého masivu. – Academia, Praha.
- MATOLÍN M. (2004): Radioaktivita přírodního prostředí v oblastech Budišov a Krucemburk – extrémy v České republice. – Zpr. Geol. výzk. v roce 2003, 133–137, Praha.
- MATOLÍN M., CHLUPÁČOVÁ M. (1997): Radioaktivní vlastnosti hornin. – In: KOBR M., CHLUPÁČOVÁ M., MAREK F., KNĚZ J., HRÁCH S.: Petrofyzika: 109–126, Karolinum, Praha.
- POTOČKOVÁ T. (2010): Mineralogie křemenných žil se zlatonosným zrudněním v Horách u Předína (západní Morava). – Ms. [Bakalářská práce, depon. in: Univerzita Palackého, Olomouc].
- POTOČKOVÁ T., DOLNÍČEK Z., HOUZAR S. (2011): Gamaspektrometrická charakteristika lokalit primární zlatonosné mineralizace v Horách u Předína (západní Morava). – Geol. výzk. Mor. Slez., 18: 143–147.
- ŠTELCL J., ZIMÁK J. (2006): Přirozená radioaktivita horninového prostředí Moravského krasu. – Univerzita Palackého, Olomouc.
- TUREK K. (2006): Charakteristika ultrabazických uzavřenin v horninách moldanubika na lokalitách Polnička a Pohled. – Ms. [Bakalářská práce, depon. in: Masarykova univerzita, Brno].
- WELSER P., ZÁRUBA J. (2004): Biotitický pegmatit s fluorapatitem od Pohledu u Havlíčkova Brodu. – Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. muz., 12: 216–219.
- <http://pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz/pohled/pohled.htm>

