PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA KULMSKÝCH SEDIMENTŮ NA VÝCHODNÍM OKRAJI ČESKÉHO MASIVU

Natural radioactivity of Upper Devonian – Lower Carboniferous siliciclastic flysch formations on the eastern margin of the Bohemian Massif

Jiří Zimák
Katedra geologie PřF UP, tř. 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc; e-mail: zimak@prfnw.upol.cz

(14-42 Rýmařov, 14-43 Mohelnice, 14-44 Šternberk, 15-11 Zlaté Hory, 15-12 Osoblaha, 15-13 Vrbno pod Pradědem, 15-14 Krnov, 15-31 Bruntál, 15-32 Opava, 15-33 Moravský Beroun, 15-34 Vítkov, 15-41 Hlučín, 15-43 Ostrava, 24-21 Jevíčko, 24-22 Olomouc, 24-23 Protivanov, 24-24 Prostějov, 24-41 Vyškov, 25-11 Hlubočky, 25-12 Hranice, 25-13 Přerov, 25-14 Valašské Meziříčí)

Key words: siliciclastic flysch sediments, gamma-spectrometry, natural radioactivity

Abstract
Contents of potassium, uranium and thorium were measured using a laboratory gamma–ray spectrometer in more then two thousand samples of Upper Devonian to Lower Carboniferous siliciclastic flysch sediments outcropping on the easternmost margin of the Bohemian Massif (mainly in the Drahany Mts. and Nízký Jeseník Mts.). Studied rocks belong to eight formations: Protivanov Fm., Rozstání Fm., Myslejovice Fm., Mohelnice Fm., Andělská Hora Fm., Horní Benešov Fm., Moravice Fm. and Hradec–Kyjovice Fm. Conglomerates (incl. gravelites), various types of psammites (mainly graywackes), siltstones, silty shales and clay shales occur in all mentioned formations. Quartzites and phyllites dominated in the source zone of clastic sediments of Mohelnice Fm. and Andělská Hora Fm., therefore K, U and Th contents in siliciclastic sediments of the both formations are correspondingly low. Relatively high radioactivity of sediments belonging to remaining six formations suggests a significant contribution of acid or intermediate magmatic rocks in the source zone of clastic material.

Úvod

Leteckou, terénní i laboratorní gamaspektrometrií již dříve bylo prokázáno, že brunovistulický terán se nízkou radioaktivitou krystalinika odlišuje od západněji ležících částí Českého masivu a že regionálně zvýšené pole přirozené radioaktivity v této oblasti představuje území Drahanské vrchoviny a Nízkého Jeseníku (včetně Oderských vrchů) díky relativně vysoké radioaktivitě flyšoidních souvrství devonu a spodního karbonu (tj. kulmských sedimentů) – viz např. Ibrmajer – Suk et al. (1989), Manová – Matolín (1995), Zimák – Štelcl (2003), Zimák (2011). Tato flyšoidní souvrství se podle četných údajů v literatuře (např. Kumpera 1988, Kumpera – Martinec 1995) formovala v akrečním klínu během kolize dvou bloků kontinentální kůry – Českého masivu a brunovistulika. Gamaspektrometrické studium obsahu přirozených radioaktivních prvků v těchto sedimentech může rozšířit poznatky o charakteru snosné oblasti. Přirozená radioaktivita je navíc jednou ze základních petrofyzikálních vlastností, která může limitovat technické využití sedimentů (hlavně drob) těžených v této oblasti.

Vzorky a metody

Na sledovaném území bylo za více než deset let odebráno 2 142 horninových vzorků reprezentujících siliciklastické sedimenty osmi souvrství: protivanovského (dále jen ProS), rozstáňského (RozS), myslejovického (MysS), mohelnického (MohS), andělskohorského (AnHoS), hornobenešovského (HoBeS), moravického (MorS) a hradecko-kyjovického (HrKyS). Determinace hornin byla prováděna pouze makroskopicky, což působilo značné problémy hlavně s rozlišováním jednotlivých horninových typů ve skupině jemnozrnných psamitů a také s rozlišováním jemnozrnných psamitů od aleuritů (tedy jemnozrnných drob nebo pískovců od siltovců). Proto jsou siliciklastické sedimenty v této zprávě rozděleny na základě strukturních kritérií pouze do tří skupin: 1) psefity (slepence), 2) psamity (droby a pískovce), 3) aleurity (siltové břidlice a siltovce) a pelity (jílové břidlice, v AnHoS fylitické břidlice). Do třetí z uvedených skupin jsou řazeny i laminity. Psefity jsou ve studovaném souboru vzorků zastoupeny převážně gravelity; v případě slepenců s hojnou přítomností klastů o velikosti nad 10 mm je příprava reprezentativních vzorků pro laboratorní gamaspektrometrická měření značně komplikovaná, ne-li nemožná.

V horninových vzorcích byly na PřF UP v Olomouci za použití spektrometru SG – 1000 LAB s NaI(Tl) detektorem o objemu 0,35 dm^3 (průměr 76 mm, délka 76 mm) stanoveny obsahy draslíku (přímo na základě koncentrace ^{40}K), uranu a thoria (u obou prvků nepřímo na základě koncentrací dceřiných produktů, a proto jsou jejich obsahy při uvádění výsledků analýz označovány jako eU a eTh). Přirozená radioaktivita hornin je hodnocena i na základě hmotnostní aktivity ekvivalentu ^{226}Ra (a_m), která byla z výsledků gamaspektrometrických analýz vypočtena podle vztahu $a_m = 12{,}35U + (1{,}43 \times 4{,}06Th) + (0{,}077 \times 313K)$, do kterého jsou obsahy U a Th dosazovány v ppm, obsahy K v hmot. %. Meze detekce: K = 0,5 hm. %, U a Th pod 1,5 ppm. Při výpočtu hodnot a_m a při statistickém zpracování dat byly obsahy K pod mezí detekce nahrazeny hodnotou 0,33 hm. %, obdobně v případě eU a eTh hodnotou 1 ppm.

doi: 10.5817/GVMS2012-1-2-130

geol. jednotka / hornina	n	K (hm. %)				eU (ppm)				eTh (ppm)				a_m (Bq.kg^{-1})			
		min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x
protivanovské souvrství (n =191):																	
psefity	22	<0,5	2,7	2,0	2,0	<1,5	4,8	2,8	2,9	1,6	12,4	10,4	10,1	30	183	151	143
psamity	140	0,9	3,6	1,9	2,0	<1,5	6,8	2,6	2,8	4,9	18,4	10,2	10,3	76	221	141	142
aleurity a pelity	29	1,8	3,3	2,4	2,5	<1,5	6,3	2,9	3,0	7,3	14,7	11,4	11,3	117	240	159	163
rozstáňské souvrství (n = 252):																	
psefity	19	1,2	2,8	2,1	2,1	1,7	5,6	2,9	3,3	7,7	14,4	9,9	10,5	110	218	154	152
psamity	147	0,8	3,5	1,9	1,9	<1,5	7,5	2,5	2,8	6,3	22,2	10,5	10,7	89	272	139	143
aleurity a pelity	86	1,6	3,6	2,6	2,7	1,8	9,7	3,5	4,0	7,5	27,9	11,7	12,2	120	313	184	185
myslejovické souvrství (n = 287):																	
psefity	58	1,3	4,5	1,9	2,0	<1,5	8,0	2,4	2,9	5,4	23,8	9,1	9,5	80	345	131	140
psamity	159	0,7	4,9	2,1	2,2	<1,5	10,7	2,7	3,1	5,1	30,1	10,5	11,0	81	403	146	156
aleurity a pelity	70	1,4	4,6	2,6	2,7	1,5	13,3	3,4	4,4	8,2	36,0	12,0	13,1	118	462	171	195
mohelnické souvrství (n = 182):																	
psefity	42	<0,5	1,6	0,6	0,6	<1,5	1,8	<1,5	<1,5	1,7	6,0	3,2	3,5	30	86	45	48
psamity	111	<0,5	4,2	1,0	1,1	<1,5	4,7	<1,5	<1,5	<1,5	10,6	4,5	5,1	33	156	65	73
aleurity a pelity	29	1,3	3,2	2,1	2,2	<1,5	5,4	1,7	1,8	5,1	16,1	7,3	7,6	76	189	114	119
andělskohorské souvrství (n = 247):																	
psefity	8	1,1	1,7	1,3	1,4	<1,5	2,7	2,0	2,0	5,6	11,1	7,8	7,9	81	139	99	103
psamity	137	<0,5	3,3	1,3	1,4	<1,5	4,4	2,1	2,1	4,6	17,8	7,9	8,2	61	194	104	108
aleurity a pelity	102	0,8	5,3	2,1	2,1	<1,5	4,8	2,2	2,3	3,4	17,1	8,6	8,9	61	276	130	132
hornobenešovské souvrství (n = 170):																	
psefity	3	<0,5	2,4	1,4	1,4	<1,5	3,1	2,4	2,2	<1,5	12,5	10,0	7,8	26	160	130	105
psamity	137	0,8	2,6	1,8	1,8	<1,5	4,8	2,5	2,6	6,5	16,7	10,2	10,4	83	191	133	135
aleurity a pelity	30	0,5	6,1	2,6	2,7	<1,5	11,6	3,0	3,6	1,9	27,8	11,6	12,0	35	363	169	178
moravické souvrství (n = 431):																	
psefity	34	1,2	2,6	1,9	1,8	1,7	7,4	3,0	3,3	6,7	17,4	9,8	10,3	93	223	134	144
psamity	224	<0,5	3,8	1,8	1,9	<1,5	6,7	2,8	3,0	2,6	26,5	11,2	11,8	35	292	143	150
aleurity a pelity	173	1,0	4,3	2,5	2,5	1,5	9,8	3,5	3,6	6,6	23,9	11,8	12,1	81	281	171	175
hradecko-kyjovické souvrství (n = 382):																	
psefity	45	0,9	2,9	1,6	1,6	<1,5	4,1	2,1	2,3	4,9	15,0	7,5	8,4	71	187	109	116
psamity	215	<0,5	3,7	1,8	1,8	<1,5	7,9	3,0	3,1	3,7	23,7	11,3	11,5	42	278	148	149
aleurity a pelity	122	0,7	5,9	2,7	2,8	<1,5	8,6	3,8	4,1	6,8	25,5	12,2	12,8	70	363	181	191

Tab. 1: Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, eU, eTh) v horninách a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m); n = počet vzorků.
Tab. 1: Natural radioactive element (K, eU, eTh) contents in rocks and calculated mass activity (a_m); n = number of samples.

Výsledky a diskuze

Výsledky provedených laboratorních gamaspektrometrických měření jsou shrnuty v tabulce 1. Ze získaných dat plynou tyto závěry:

1. I když flyšoidní souvrství devonu a spodního karbonu představují v geofyzikálním obrazu regionálně zvýšené pole přirozené radioaktivity, nedosahuje průměrná hmotnostní aktivita jejich hornin hodnoty pro průměrnou zemskou kůru (kolem 180 Bq·kg^{-1}).

2. Zimák – Štelcl (2003) zhodnotili přirozenou radioaktivitu sedimentů AnHoS, HoBeS, MorS a HrKyS na základě 1 830 terénních gamaspektrometrických stanovení obsahů draslíku, uranu a thoria pomocí gamaspektrometru GS-256. Srovnání výsledků terénní a laboratorní gamaspektrometrie je náplní tabulky 2. Je zcela zřejmé, že terénní gamaspektrometrie poskytuje výrazně vyšší hodnoty pro všechny

souvrství/horniny		K (%)			eU (ppm)			eTh (ppm)			a_m (Bq·kg^{-1})		
		T	L	T/L	T	L	T/L	T	L	T/L	T	L	T/L
AnHoS	**psefity a psamity**	2,3	1,4	1,6	3,7	2,1	1,8	11,9	8,2	1,5	169	108	1,6
	aleurity a pelity	3,3	2,1	1,6	4,0	2,3	1,7	14,5	8,9	1,6	211	132	1,6
HoBeS	**psefity a psamity**	3,2	1,8	1,8	5,2	2,6	2,0	16,7	10,4	1,6	239	135	1,8
	aleurity a pelity	3,6	2,7	1,3	5,8	3,6	1,6	17,5	12,0	1,5	260	178	1,5
MorS	**psefity a psamity**	3,3	1,9	1,7	5,4	3,0	1,8	17,4	11,6	1,5	248	149	1,7
	aleurity a pelity	3,9	2,5	1,6	6,5	3,6	1,8	19,8	12,1	1,6	288	175	1,6
HrKyS	**psefity a psamity**	3,5	1,8	1,9	5,7	3,0	1,9	18,0	11,0	1,6	259	143	1,8
	aleurity a pelity	4,2	2,8	1,5	6,7	4,1	1,6	19,6	12,8	1,5	296	191	1,5

Tab. 2: Průměrné obsahy přirozených radioaktivních prvků v horninách andělskohorského, hornobenešovského, moravického a hradecko–kyjovického souvrství a vypočtená hmotnostní aktivita (a_m); T = terénní gamaspektrometrická měření (Zimák – Štelcl 2003), L = laboratorní gamaspektrometrická měření (v této práci).
Tab. 2: Average contents of natural radioactive elements in rocks of the Andělská Hora Fm., Horní Benešov Fm., Moravice Fm. and Hradec-Kyjovice Fm., and calculated mass activity (a_m); T = field gamma-spectrometrical measurements (Zimák – Štelcl 2003), L = laboratory gamma-spectrometrical measurements (this work).

tři stanovované prvky. Hodnota T/L v tabulce 2 vyjadřuje poměr mezi výsledkem terénních měření a laboratorních měření (vždy jde o průměrné hodnoty pro daný prvek, horninové prostředí a souvrství). Hodnoty T/L se pohybují v intervalu 1,3 až 2,0, průměrná hodnota T/L je kolem 1,6. Hlavním důvodem nesouladu mezi výsledky terénních a laboratorních měření je nevhodná geometrie výchozů, na nichž byla terénní měření prováděna. Terénní gamaspektrometry jsou kalibrovány na poloprostor. Ideální výchoz pro tato měření by proto měl být plochý a také dostatečně velký. Ve sledovaném území jsou však takové výchozy zcela výjimečné. Při terénních měřeních zpravidla na detekční krystal gamaspektrometru přicházelo záření gama i z horninového prostředí „nad poloprostorem". Typickým příkladem je stěnový lom, v němž je při měření na stěně analyzováno i záření přicházející z pracovní plochy lomu. Je-li horninové prostředí v tomto lomu víceméně homogenní (alespoň pokud jde o distribuci K, U a Th), pak jsou v terénu gamaspektrometricky stanovené obsahy těchto tří prvků zhruba 1,5× vyšší než ve skutečnosti.

3. Ve flyšových souvrstvích přirozená radioaktivita sedimentů obvykle roste v řadě psefit – psamit – aleurit – pelit. Tato závislost platí i v případě studovaných flyšoidních souvrství. Pokud sloučíme psefity a psamity do jedné skupiny (soubory psefitů v jednotlivých souvrstvích jsou často malé a nereprezentativní), pak bez výjimky pro všechny tři sledované prvky a pro všech osm souvrství platí, že obsah daného prvku je ve skupině aleuritů a pelitů vždy vyšší než ve skupině psefitů a psamitů (a samozřejmě to musí platit i pro hmotnostní aktivitu).

4. Z údajů v tab. 1 a 2 lze učinit závěr, že celková přirozená radioaktivita kulmských souvrství jesenické oblasti roste v posloupnosti AnHoS – HoBes – MorS – HrKys (tedy od podloží do nadloží či od Z k V). Výrazný rozdíl mezi AnHoS a HoBeS je vysvětlitelný rozdílnými petrografickými poměry ve snosné oblasti. Ve zdrojové oblasti klastik AnHoS dominovaly epizonálně metamorfované horniny (kvarcity, fylity, metavulkanity) a anchimetamorfované sedimenty (viz např. Dvořák 1994) – tomu odpovídají nízké obsahy K, U a Th v sedimentech AnHoS, hlavně v psefitech a psamitech (tab. 1 a 2). Na základě relativně vyšší radioaktivity sedimentů HoBeS, MorS a HrKyS lze předpokládat významné zastoupení kyselých nebo intermediárních magmatitů ve zdrojové oblasti klastického materiálu, což je zcela v souladu s údaji o modálním složení psefitů a psamitů – viz např. Maštera (1975), Dvořák (1994), Tomášková – Přichystal (1995).

5. Zimák – Štelcl (2004) na základě distribuce obsahů K, U a Th v sedimentech HoBeS a MorS dospěli k závěru, že v období jejich vzniku byl z nejsevernějšího úseku zdrojové oblasti přinášen klastický materiál s výrazně vyšší přirozenou radioaktivitou než z úseků ležících jižněji (za předpokladu, že k přínosu klastického materiálu docházelo od západu). Laboratorními měřeními byla vyšší radioaktivita sedimentů v severní části HoBeS a MorS potvrzena, avšak pokud jde o průměrné hodnoty, nejsou tyto rozdíly příliš výrazné, a navíc je nutno poznamenat, že i v rámci severní nebo jižní části HoBeS a MorS existují podstatné rozdíly. Není tedy žádný důvod předpokládat, že by právě severní část snosné oblasti měla být zdrojem klastického materiálu se zvýšenou radioaktivitou. Zimák – Štelcl (2004) při své úvaze navíc nezohlednili snad dostatečně podložený názor, že výnosové kužely (tvořené materiálem přinášeným vodními toky od západu) byly trakčními i gravitačními proudy pravděpodobně roznášeny od JJZ k SSV, tj. ve směru osy pánve (viz např. Zapletal 1971, Dvořák 1994, Hartley – Otava 2001).

6. Obdobně jako v jesenickém kulmu roste i v prostoru Drahanské vrchoviny přirozená radioaktivita kulmských sedimentů stejné zrnitostní kategorie ve směru od Z k V, tj. v posloupnosti ProS – RozS – MysS (tab. 1). Výrazný je tento trend zejména ve skupině aleuritů a pelitů. Tuto skutečnost již v jižní polovině Drahanské vrchoviny prokázali Štelcl – Zimák (2009) na základě výsledků terénních i laboratorních gamaspektrometrických měření.

7. Nejnižší obsahy K, U a Th v rámci sledovaných souvrství vykazují MohS a AnHoS (viz tab. 1). Na litologickou podobnost a současně i na existující rozdíly mezi MohS a AnHoS poukazuje např. Maštera (1996), jenž původ detritického materiálu v obou souvrstvích odvozuje ze starých orogenních komplexů. Podle citovaného autora v psamitech MohS převládají klasty kvarcitů až kvarcitických fylitů a agregátního křemene, v psamitech AnHoS se objevují navíc živce, včetně K-živců. Výsledky gamaspektrometrických analýz tomu odpovídají.

8. Průměrná hmotnostní aktivita jednotlivých skupin hornin je ve všech osmi souvrstvích pod 200 $Bq \cdot kg^{-1}$. V případě některých ložisek drob v MysS, MorS a HrKyS je však tato mezní hodnota překročena a limituje tak využitelnost drceného kameniva (viz poznámka níže). Pouze v případě MohS a AnHoS jsou průměrné hmotnostní aktivity jednotlivých skupin hornin pod 150 $Bq \cdot kg^{-1}$ (tab. 1).

Poznámka: Atomový zákon a vyhláška č. 307/2002 Sb. určuje mezní hodnotu pro materiály používané ve stavbách s pobytovými prostory na 150 $Bq \cdot kg^{-1}$ (pro materiály používané ve stavbě ve velkém množství – např. beton) a na 200 $Bq \cdot kg^{-1}$ (pro materiály používané ve stavbě v omezeném množství). Pokud je hmotnostní aktivita vyšší než stanovená mezní hodnota, nesmí být stavební materiál uveden do oběhu.

Literatura

Dvořák, J. (1994): Variský flyšový vývoj v Nízkém Jeseníku na Moravě a ve Slezsku. – Český geologický ústav Praha.

Hartley, A. J. – Otava, J. (2001): Sediment provenance and dispersal in a deep marine foreland basin: the Lower Carboniferous Culm Basin, Czech Republic. – Journal of the Geological Society, 158, 137–150.

Ibrmajer, J. – Suk, M. et al. (1989): Geofyzikální obraz ČSSR. – Academia.

Kumpera, O. (1988): Brunovistulikum ve variském vývoji. – Acta Universitatis Carolinae, Geologica, 401–410.

Kumpera, O. – Martinec, P. (1995): The development of the Carboniferous accretionary wedge in the Moravian-Silesian Paleozoic Basin. – Journ. Czech Geol. Soc., 40, 47–64.

Manová, M. – Matolín, M. (1995): Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000. – Český geologický ústav Praha.

Maštera, L. (1975): Petrografie slepenců moravických vrstev a hradeckých drob v Nízkém Jeseníku. – Výzkumné práce Ústředního ústavu geologického, 8ú, 25–36.

Maštera, L. (1996): Petrofacie v drobách mohelnického souvrství (střední Morava) a andělskohorského souvrství (severní Morava a Slezsko). – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1995, 102–104.

Štelcl, J. – Zimák, J. (2009): Přirozená radioaktivita kulmských sedimentů v širším okolí velkolomu Mokrá. – MS, PřF MU Brno a PřF UP Olomouc.

Tomášková, A. – Přichystal, A. (1995): Valouny vulkanitů z kulmských slepenců: pravděpodobná geotektonická pozice a možné zdrojové oblasti vulkanitů. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1994, 75–77.

Zapletal, J. (1971): Litostratigraficko–faciální vývoj kulmské sedimentace v centrální části Nízkého Jeseníku. – Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Facultas Rerum Naturalium, 38, 143–197.

Zapletal, J. – Dvořák, J. – Kumpera, O. (1989): Stratigrafická klasifikace kulmu Nízkého Jeseníku. – Věstník Ústředního ústavu geologického, 64, 243–250.

Zimák, J. (2011): Přirozená radioaktivita granitoidů a metagranitoidů brunovistulického teránu na území České republiky. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 18, 201–204.

Zimák, J. – Štelcl, J. (2003): Terénní gamaspektrometrické měření přirozené radioaktivity hornin v oblasti moravskoslezského kulmu v Nízkém Jeseníku. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2002, 203–204.

Zimák, J – Štelcl, J. (2004): Přirozená radioaktivita hornin moravskoslezského kulmu v oblasti Nízkého Jeseníku a Oderských vrchů: příspěvek k poznání zdrojové oblasti klastického materiálu. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2003, 103–106.