

# PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA HORNIN MORAVSKOSLEZSKÉHO KULMU V OBLASTI NÍZKÉHO JESENÍKU A ODERSKÝCH VRCHŮ: PŘÍSPĚVEK K POZNÁNÍ ZDROJOVÉ OBLASTI KLASTICKÉHO MATERIÁLU

Natural radioactivity of rocks in the Moravian-Silesian Culm area in the Nížký Jeseník Mts. and Odra Hills: A contribution to understanding of a source zone of clastic material

Jiří Zimák<sup>1</sup>, Jindřich Štelcl<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra geologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Svobody 26, 771 46 Olomouc;

e-mail: zimak@prfnw.upol.cz

<sup>2</sup> Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno;

e-mail: stelcl@sci.muni.cz

(14-42 Rýmařov, 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, 24-22 Olomouc, 25-11 Hlubočky, 25-12 Hranice, 25-13 Přerov, 25-14 Valašské Meziříčí)

**Key words:** *Moravian-Silesian Culm, Lower Carboniferous sediments, gamma-ray spectrometry*

## Abstract

*The Upper Devonian - Lower Carboniferous siliciclastic flysch formations called the Moravian-Silesian Culm are widespread on the northeastern margin of the Bohemian Massif. The Moravian-Silesian Culm belongs to the Rhenohercynian belt of the Central European Variscides, it forms an accretion wedge developed as a result of a collision of two blocks of continental crust - the inner parts of the Bohemian Massif and the Bruno-Vistulicum. The Culm sequences in the Nížký Jeseník Mts. and Odra Hills are formed by various types of psammites (mainly graywackes), conglomerates and clay shales to siltstones, epizonally metamorphosed in the westernmost part (in the Andělská Hora Fm.). In the source zone of clastic sediments of Andělská Hora Fm. epizonally metamorphic rocks and anchimetamorphic sediments dominated. Contents of K, U, and Th in sediments of Andělská Hora Fm. were correspondingly low. Radioactivity of sediments of Moravice Fm. is much higher and even increases moderately in Horní Benešov Fm. Maximum average values are in Hradec-Kyjovice Fm. Relatively high radioactivity of these three formations suggests a significant and gradually increasing contribution of acid magmatic rocks in the source zone of clastic material. This is especially evident in the north (in the zone of Žulová Pluton outcrop).*

Studium přirozené radioaktivity hornin Českého masivu pomocí gamaspektrometrie (letecké, terénní i laboratorní) již dříve prokázalo, že moravskoslezská oblast se svou nízkou radioaktivitou krystalinika odlišuje od ostatních oblastí Českého masivu a že regionálně zvýšené pole radioaktivity v rámci moravskoslezské oblasti představuje moravskoslezské paleozoikum, reprezentované flyšoidním souvrstvím devonu a spodního karbonu na území Dražanské vrchoviny, Nížkého Jeseníku a Oderských vrchů (viz např. Ibrmajer – Suk et al. 1989, Manová – Matolín 1995). Jak uvádí již Manová – Matolín (1995), je hodnota dávkového příkonu gama-záření hornin moravskoslezského kulmu ( $Da = 60 - 90 \text{ nGy.h}^{-1}$ ) zcela srovnatelná s hodnotami zjištěnými pro granitoidy žulovského plutonu (tzv. „Hauptgranitu“ odpovídá  $Da = 75 - 110 \text{ nGy.h}^{-1}$ ), přičemž tento pluton představuje podle citovaných autorů nejradioaktivnější geologickou jednotku v oblasti slezika.

Již Ibrmajer - Suk et al. (1989) dokládají, že v prostoru moravskoslezského kulmu vykazují vyšší přirozenou radioaktivitu pelitické horniny ve srovnání se slepenci a drobami, a to díky zvýšeným obsahům všech tří gamaspektrometricky sledovaných prvků (K, U, Th), zejména však draslíku (růst přirozené radioaktivity v řadě psefity - psamity - aleurity a pelity lze ve flyšoidních souvrstvích považovat za jev obvyklý, výjimky mohou existovat). Výše

uvedený vztah mezi přirozenou radioaktivitou kulmských siliciklastik a jejich strukturou potvrzují Zimák – Štelcl (2003) na základě terénních gamaspektrometrických měření provedených na 78 lokalitách v andělskohorském, hornobenešovském, moravickém a hradecko-kyjovickém souvrství (v následujícím textu jsou tato souvrství označována zkratkami AHF, HBF, MF a HKF).

V letech 2000 - 2003 bylo autory této zprávy na 265 lokalitách v oblasti moravskoslezského kulmu (včetně polského území) provedeno 1830 terénních gamaspektrometrických stanovení obsahů draslíku, uranu a thoria v siliciklastických kulmských sedimentech (pomocí terénního gamaspektrometru GS-256 se scintilačním NaI(Tl) detektorem). Výsledky měření jsou sumarizovány v tab. 1, 2 a 3, v nichž je uvedena i hmotnostní aktivita ekvivalentu  $^{226}\text{Ra}$  (dále jen hmotnostní aktivita nebo  $a_m$ ). Ta byla vypočtena pomocí vztahu

$$a_m = 12,35U + (1,43x4,06Th) + (0,077x313K),$$

do nějž jsou obsahy U a Th dosazovány v ppm, obsahy K v hm. %.

Siliciklastické sedimenty moravskoslezského kulmu jsou v této zprávě rozděleny na základě strukturálních kritérií pouze do dvou skupin: 1) psefity (slepence) a psamity (převážně droby), 2) aleurity (siltové břidlice a siltovce) a

horniny	N	n	K (%)		U (ppm)		Th (ppm)		Th / U		a <sub>m</sub> (Bq.kg <sup>-1</sup> )	
			rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø
<b>andělskohorské souvrství (56 lokalit, 353 měření)</b>												
psamity a psefity	20	105	0,3-3,8	2,3	0,5-7,8	3,7	1,9-17,7	11,9	1,0-22,4	3,6	39-270	169
pelity a aleurity	43	248	0,4-5,2	3,3	0,8-8,2	4,0	6,2-32,6	14,5	1,7-14,5	4,0	97-382	211
<b>hornobenešovské souvrství (60 lokalit, 298 měření)</b>												
psamity a psefity	55	260	1,5-6,6	3,2	1,9-12,5	5,2	6,8-34,0	16,7	1,7-7,9	3,4	115-454	239
pelity a aleurity	9	38	2,3-5,5	3,6	2,1-10,8	5,8	9,8-28,6	17,5	2,0-5,0	3,1	144-376	260
<b>moravické souvrství (105 lokalit, 824 měření)</b>												
psamity a psefity	52	417	1,8-6,5	3,3	0,7-22,8	5,4	7,1-41,0	17,4	1,5-13,6	3,6	110-655	248
pelity a aleurity	69	407	2,4-5,6	3,9	2,0-18,5	6,5	9,9-42,7	19,8	0,9-7,2	3,3	150-578	288
<b>hradecko-kyjovické souvrství (44 lokalit, 355 měření)</b>												
psamity a psefity	41	255	2,0-6,2	3,5	1,8-11,4	5,7	7,7-29,9	18,0	1,8-6,9	3,3	122-450	259
pelity a aleurity	26	100	2,6-8,1	4,2	2,4-10,7	6,7	12,8-	19,6	1,7-7,5	3,1	212-464	296

Tab. 1 – Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U, Th) v horninách andělskohorského, hornobenešovského, moravického a hradecko-kyjovického souvrství, hodnoty Th/U a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a<sub>m</sub>); N = počet lokalit, n = počet gamaspektrometrických měření.

Tab. 1 – Natural radioactive elements (K, U, Th) contents, Th/U value and calculated mass activity (a<sub>m</sub>) in rocks of the Andělská Hora Fm., Horní Benešov Fm., Moravice Fm. and Hradec-Kyjovice Fm.; N = number of localities, n = number of gamma-spectrometrical measurements.

pelity (jílové břidlice, v AHF fylitické břidlice) - důvody pro toto dělení sedimentů uvádí již Zimák - Štelcl (2003), všechny horniny druhé skupiny jsou v této zprávě označovány jako „aleuropelity“.

Z údajů v tab. 1 (a též 2 a 3) je zřejmé, že průměrné obsahy sledovaných prvků v sedimentech všech čtyř kulmských souvrství rostou s klesající zrnitostí (nejvyšší průměrné obsahy K, U a Th vykazují jílové břidlice). Bez ohledu na zrnitostní složení se průměrná hodnota poměru Th/U pohybuje u hornin obou skupin ve všech čtyřech souvrstvích v úzkém rozpětí 2,9 až 3,8 (tab. 1). Data v tab. 1 jasně dokládají, že přirozená radioaktivita kulmských sedimentů jedné a téže skupiny roste ve směru od podloží k nadloží (tedy v pořadí AHF - MF - HBF - HKF). V případě K, U a a<sub>m</sub> je tento trend zcela evidentní; v případě Th v horninách skupiny pelitů a aleuritů je jeho průměrný obsah v MF nepatrně vyšší než v HKF (to souvisí s anomálně vysokými obsahy Th v sedimentech při bázi MF v jeho severní části - viz níže).

V tab. 2 jsou uvedeny výsledky gamaspektrometrických měření realizovaných na stratotypových (holostratotypových nebo lektostratotypových) lokalitách (stručnou charakteristiku kulmských sedimentů a také polohu těchto lokalit uvádí Zapletal et al. 1989, v případě vikštejnských vrstev byla měření provedena na výchozech mezi Podhradím a zříceninou hradu Vikštejna).

Z porovnání údajů v tab. 2 je zřejmé, že ke zvyšování obsahů K, U a Th v „profilu“ kulmskými souvrstvími od vrstev andělskohorských ke kyjovickým sice dochází, avšak některá data do tohoto trendu „nezapadají“. V případě draslíku je to zcela evidentně způsobeno značnou variabilitou v modálním složení sedimentů shodné strukturální skupiny, a to v rámci jedné a téže vrstvy: např. psamity mohou být zastoupeny převážně litickými droby, přecházejícími do arkóz nebo naopak do pískovců s relativně nízkým podílem K-živce, ve skupině „aleuropelitů“ je určující podíl světlé slídy. Nutno poznamenat, že „aleuropelity“ ze stratotypové lokality dalovských vrstev (opuštěný lom cca 800 m JV od obce

Dalova) svými relativně nízkými obsahy K, U a Th neodpovídají představě o sedimentech nejvyšší části HBF; jen na základě výsledků gamaspektrometrických měření by bylo možno uvažovat o příslušnosti „aleuropelitů“ z této lokality k AHF.

Bábek et al. (2003) na základě gamaspektrometrických měření drob na 7 lokalitách v profilu bohdanovickými, brumovickými a vikštejnskými vrstvami dochází k závěru, že v drobách bohdanovických vrstev jsou obsahy K, U a Th nejnižší, k prudkému nárůstu obsahů K, U a především Th dochází dle výše citovaných autorů na bázi brumovických vrstev, směrem do nadloží v intervalu brumovických a vikštejnských vrstev pak obsahy těchto prvků v drobách generálně klesají. Dle našich poznatků mají sedimenty bohdanovických vrstev (droby i „aleuropelity“) relativně vysokou přirozenou radioaktivitu díky zvýšeným obsahům všech tří sledovaných prvků (zejména však Th), ve cvilínských vrstvách jsou obsahy K, U a Th výrazně nižší, v brumovických vrstvách se zvyšují a ve vikštejnských vrstvách dosahují obdobných hodnot jako ve vrstvách bohdanovických (viz tab. 2).

Podle četných údajů v literatuře (např. Kumpera 1988, Kumpera – Martinec 1995) se sedimenty moravsko-slezského kulmu formovaly v akrečním klínu během kolize dvou bloků kontinentální kůry, a to vnitřní části Českého masivu a brunovistulika. Klastický materiál byl do flyšové pánve přinášán říčními toky od západu, výnosové kužely byly trakčními i gravitačními proudy roznášeny uvnitř zóny maximální subsidence hlavně od JJZ k SSV, tj. ve směru osy pánve (viz např. Zapletal 1971, Dvořák 1994, Hartley – Otava 2001).

Látkové složení kulmských sedimentů včetně obsahu přirozených radioaktivních prvků výraznou měrou závisí na petrografických poměrech ve snosové oblasti. Ve zdrojové oblasti klastik AHF dominovaly epizonálně metamorfované horniny (kvarcity, metalydity, fylity, metavulkanity) a anchimetamorfované sedimenty (viz např. Dvořák 1994). Tomu odpovídají gamaspektrometricky stanovené nízké obsahy K, U a Th v sedimentech AHF

vrstvy	hornina	n	K (%)		U (ppm)		Th (ppm)		Th / U		a <sub>m</sub> (Bq.kg <sup>-1</sup> )	
			rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø	rozpětí	Ø
andělskohorské	„aleuropelity“	23	2,2-4,1	3,3	3,1-5,7	4,5	11,0-18,3	15,2	1,9-5,0	3,5	184-255	224
andělskohorské	psamity	14	1,7-2,8	2,3	1,7-4,3	3,3	8,5-12,7	10,7	2,4-5,9	3,4	120-179	157
laryšovské	psamity	19	2,8-4,2	3,3	2,6-5,6	4,0	12,0-25,3	16,6	2,5-7,2	4,3	173-300	226
brantické	psamity	13	2,5-4,3	3,3	3,5-7,5	5,9	12,9-20,8	16,4	2,0-4,9	2,9	204-317	247
dalovské	„aleuropelity“	10	2,3-3,6	2,8	2,1-5,7	4,3	9,8-14,3	11,9	2,2-5,0	2,9	144-240	191
bělské	psefity	20	2,3-4,4	3,3	2,7-11,0	5,3	11,6-25,1	17,2	2,2-5,1	3,5	177-370	245
bělské	psamity	28	1,9-4,8	3,2	2,8-7,6	5,3	9,6-25,1	17,3	1,5-8,0	3,4	159-330	243
bělské	„aleuropelity“	29	2,4-5,1	3,6	2,0-7,8	5,1	9,9-26,0	17,5	2,5-5,2	3,5	150-327	252
bohdanovické	„aleuropelity“	34	2,6-4,5	3,8	3,5-10,8	6,6	14,4-33,8	20,6	1,6-5,5	3,3	215-416	294
cvilínské	psamity	14	2,5-4,8	3,6	2,0-5,4	3,6	11,2-20,3	15,6	2,6-8,8	4,8	166-284	222
cvilínské	„aleuropelity“	9	2,4-4,4	3,6	2,9-6,1	4,3	12,3-18,9	15,2	2,7-5,1	3,7	167-287	227
brumovické	psefity	8	2,5-4,2	3,5	4,4-7,1	5,4	12,9-22,3	17,2	2,6-3,8	3,2	201-306	252
brumovické	psamity	10	2,6-4,6	3,4	2,5-6,6	4,6	12,7-22,4	17,0	2,4-7,6	4,1	178-315	237
brumovické	„aleuropelity“	11	3,5-4,9	4,3	3,2-7,4	5,4	15,9-20,9	18,6	2,4-5,2	3,7	220-318	280
vikštejské	psamity	11	3,2-4,4	3,6	3,4-7,6	5,5	14,0-25,0	17,4	2,0-4,5	3,3	209-299	255
vikštejské	„aleuropelity“	16	3,3-4,9	4,1	4,0-9,5	6,8	15,9-23,8	20,1	2,4-4,7	3,1	228-359	300
hradecké	psefity	11	2,0-2,8	2,4	3,9-6,9	4,8	10,2-19,8	13,5	1,8-4,2	2,9	175-240	195
hradecké	psamity	16	2,5-4,0	3,3	3,7-6,3	5,0	13,1-22,7	18,2	2,9-5,1	3,7	183-293	247
hradecké	„aleuropelity“	9	3,2-5,2	3,8	4,0-8,1	6,7	13,2-22,5	18,2	1,9-4,2	2,8	237-344	280
kyjovické	psamity	6	2,1-2,7	2,4	4,1-8,2	6,0	15,8-21,2	17,6	2,3-4,0	3,1	198-275	234
kyjovické	„aleuropelity“	11	3,5-4,4	4,0	5,2-8,1	6,9	16,9-26,2	20,1	2,4-4,0	2,9	271-325	297

Tab. 2 – Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U, Th) v jednotlivých vrstvách moravskoslezského kulmu na základě měření na stratotypových lokalitách, hodnoty Th/U a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a<sub>m</sub>); n = počet gamaspektrometrických měření.

Table 2 – Natural radioactive elements (K, U, Th) contents, Th/U value and calculated mass activity (a<sub>m</sub>) in individual members of the Moravian-Silesian Culm based on gamma-spectrometrical measurement carried out at stratotype localities; n = number of gamma-spectrometrical measurements.

(tab. 1). Ze zvýšení radioaktivity sedimentů HBF, MF a HKF (tab. 1) lze usuzovat na významný podíl kyselých magmatitů ve zdrojové oblasti klastického materiálu (to je zcela v souladu s údaji o modálním složení psefitů a psamitů - viz např. Maštera 1975, Dvořák 1994, Tomášková – Přichystal 1995). Distribuce obsahů K, U a Th v sedimentech stejného strukturálního typu v rámci HBF a také MF jasně ukazuje, že v období jejich vzniku byl z nejsevernějšího úseku zdrojové oblasti (zhruba z prostoru, v němž v současnosti vystupuje žulový pluton) přinášén klastický materiál s výrazně vyšší přirozenou radioaktivitou než z úseků ležících jižněji. To dokládají údaje v tab. 3, v níž

jsou všechna čtyři souvrství moravskoslezského kulmu na území Nizkého Jeseníku a Oderských vrchů rozdělena na severní a jižní část, přičemž AHF, HBF a MF dělí tok Moravice (od Malé Morávky po Podhradí), HKF rozděluje linie Podhradí-Bílovec. Nejvyšší obsahy U (až 23 ppm) a Th (až 43 ppm) v kulmských sedimentech byly zjištěny v severní části moravického souvrství, a to v drobách a siltovcích (siltových břidlicích) na lokalitách Arnultovice (lůmek 600m SV od okraje obce) a Pitárně (opuštěný lom u Mušlovského potoka); vypočtená hmotnostní aktivita kulmských sedimentů zde dosahuje až 578 Bq.kg<sup>-1</sup> (uvedené hodnoty se týkají jednotlivých měřených bodů). Droby a

severní část moravskoslezského kulmu								
horniny	psefity a psamity				aleurity a pelity			
souvrství	AHF	HBF	MF	HKF	AHF	HBF	MF	HKF
K (%)	2,1	3,5	3,6	3,5	3,2	4,3	4,0	4,0
U (ppm)	3,5	5,3	6,3	5,9	3,7	6,0	6,5	6,6
Th (ppm)	11,0	17,6	18,5	18,4	13,9	18,7	19,9	19,5
a <sub>m</sub> (Bq.kg <sup>-1</sup> )	157	251	272	263	203	287	292	290

  

jižní část moravskoslezského kulmu								
horniny	psefity a psamity				aleurity a pelity			
souvrství	AHF	HBF	MF	HKF	AHF	HBF	MF	HKF
K (%)	2,6	2,8	3,2	3,6	3,4	3,3	3,8	4,4
U (ppm)	4,1	5,0	5,1	5,4	4,3	5,7	6,5	6,8
Th (ppm)	13,3	14,9	17,1	17,2	15,4	16,9	19,7	19,8
a <sub>m</sub> (Bq.kg <sup>-1</sup> )	190	216	241	252	224	248	287	307

Tab. 3 – Průměrné obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U, Th) a vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a<sub>m</sub>) v horninách andělskohorského (AHF), hornobenešovského (HBF), moravického (MF) a hradecko-kyjovického souvrství (HKF) v severní a jižní části moravskoslezského kulmu.

Tab. 3 – Average contents of natural radioactive elements (K, U, Th) and calculated mass activity (a<sub>m</sub>) in rocks of the Andělská Hora Fm. (AHF), Horní Benešov Fm. (HBF), Moravice Fm. (MF) and Hradec-Kyjovice Fm. (HKF) in the northern part and the southern one of the Moravian-Silesian Culm.

gravelity v severním úseku HKF (v širším okolí Hradce nad Moravicí) mají relativně velmi vysoké obsahy draslíku (obvykle 4 až 6 hm. % K), což je v souladu s již makroskopicky patrným vysokým podílem K-živcových klastů v obou horninových typech. Nejvyšší obsah draslíku

ve skupině „aleuropelitů“ v rámci celého moravsko-slezského kulmu byl zjištěn v jílové břidlici v HKF na lokalitě Emauzy (lom cca 1 km ZJZ od Emauz, 8,1 hm. % K v jednom z měřených bodů).

#### Literatura:

- Bábek, O. – Přichystal, A. – Lehotský, T. (2003): Modální složení a gamaspektrometrie psamitů moravického souvrství: důsledky pro provenienční studie sedimentů kulmské facie. – Geol. Výzk. Mor. Slez. v R. 2002, 36–39. Brno.
- Dvořák, J. (1994): Variský flyšový vývoj v Nížkém Jeseníku na Moravě a ve Slezsku. ČGÚ Praha.
- Hartley, A.J. – Otava, J. (2001): Sediment provenance and dispersal in a deep marine foreland basin: the Lower Carboniferous Culm Basin, Czech Republic. – Journ. Geol. Soc., 158, 137–150. London.
- Ibrmajer, J. – Suk, M. et al. (1989): Geofyzikální obraz ČSSR. ÚÚG – Academia Praha.
- Kumpera, O. (1988): Brunovistulikum ve variském vývoji. – Acta Univ. Carol., Geol., 401–410. Praha.
- 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. Praha.
- Manová, M. – Matolín, M. (1995): Radiometrická mapa České republiky 1 : 500 000. ČGÚ Praha.
- Maštera, L. (1975): Petrografie slepenců moravických vrstev a hradeckých drob v Nížkém Jeseníku. – Výzk. práce Ústř. úst. geol., 8ú, 25–36. Praha.
- Tomášková, A. – Přichystal, A. (1995): Valouny vulkanitů z kulmských slepenců: pravděpodobná geotektonická pozice a možné zdrojové oblasti vulkanitů. – Geol. Výzk. Mor. Slez. v R. 1994, 75–77. Brno.
- Zapletal, J. (1971): Litostratigraficko-faciální vývoj kulmské sedimentace v centrální části Nížkého Jeseníku. – Acta Univ. Palacki. Olomuc, Fac. rer. nat., 38, 143–197. Praha.
- Zapletal, J. – Dvořák, J. – Kumpera, O. (1989): Stratigrafická klasifikace kulmu Nížkého Jeseníku. – Věst. Ústř. Úst. geol. 64, 243–250. Praha.
- Zimák, J. – Štelcl, J. (2003): Terénní gamaspektrometrické měření přirozené radioaktivity hornin v oblasti moravskoslezského kulmu v Nížkém Jeseníku. – Zpr. geol. Výzk. v R. 2002, 203–204. Praha.