

PŘIROZENÁ RADIOAKTIVITA KRYSALINIKA, PALEOZOICKÝCH SEDIMENTÁRNÍCH HORNIN A VYBRANÝCH KENOZOICKÝCH SEDIMENTŮ NA MAPOVÉM LISTU 24-22 OLOMOUC

Natural radioactivity of crystalline rocks, Palaeozoic sedimentary rocks and selected Cenozoic sediments on the map sheet 24-22 Olomouc

Jiří Zimák

Katedra geologie PŘF UP, tř. 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc; e-mail: jiri.zimak@upol.cz

(24-22 Olomouc)

Key words: Brunovistulicum, Palaeozoic flysch formations, Tertiary marine sediments, fluvial sediments, loess, gamma-spectrometry

Abstract

The paper deals with natural radioactivity of crystalline rocks, Palaeozoic sedimentary rocks and selected Cenozoic sediments on the map sheet 24-22 Olomouc. Studied rocks belong to following geological units: the Brunovistulicum (Proterozoic granitoids and dioritoids, often mylonitized), the Moravo-Silesian Palaeozoic (mainly carbonate rocks of the Macocha and Líšeň Fms. and flysch sediments of the Andělská Hora, Protivanov, Horní Benešov, Rozstání, Moravice and Myslejovice Fms.), the Carpathian Foredeep (Miocene marine sands and clays) and the Upper Morava Basin (Pliocene–Pleistocene lacustrine and fluvial sediments and loesses). Contents of potassium, uranium and thorium were measured using a laboratory gamma-ray spectrometer in 612 rock samples. Data are tabled and discussed. From calculated values of mass activity of ^{226}Ra equivalent (a_m) it is evident that natural radioactivity of the studied rocks is predominantly low. Slightly increased a_m values were found in silty shales, clay shales and siltstones of the Rozstání Fm. (189 Bq.kg⁻¹ on average, 308 Bq.kg⁻¹ in the sample with the highest natural radioactivity).

Úvod

Jedním ze základních fyzikálních parametrů přírodního prostředí je jeho přirozená radioaktivita. Tento článek hodnotí radioaktivitu krystalinika, paleozoických sedimentárních hornin a vybraných kenozoických sedimentů na mapovém listu 24-22 Olomouc. Vychází z obsahů hlavních přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) stanovených laboratorní gamaspektrometrií v reprezentativních souborech hornin.

Geologické jednotky a jejich horninová náplň

Nejstaršími horninami vystupujícími na mapovém listu 24-22 Olomouc jsou kataklázou silně postižené granodiority a diority s žilným doprovodem (pegmatity), řazené k brunovistuliku (např. Břízová et al. 2000). Na brunovistuliku je uloženo moravskoslezské paleozoikum. Jeho zde nejstarším doloženým členem jsou devonská bazální klastika (křemenné pískovce až slepence), stratigraficky výše jsou karbonátové horniny macošského a líšeňského souvrství. Devonská karbonátová sedimentace směrem do nadloží přechází do ukládání siliciklastik (devon až spodní karbon), která mají charakter flyše, tvořeného střídáním psefitů (převažují gravelity), psamitů (droby, arkóзовé pískovce, křemenné pískovce) a hornin strukturně odpovídajících aleuritům a pelitům (siltovce, siltové břidlice, jílové břidlice, časté jsou laminity). Flyšové sedimenty na sledovaném mapovém listu náleží k šesti různým souvrstvím: andělskohorskému, protivanovskému, hornobenešovskému, rozstáňskému, moravickému a myslejovickému (Růžička et al. 1995).

Krystalinikum a moravskoslezské paleozoikum je na většině plochy listu překryto kenozoickými sedimenty.

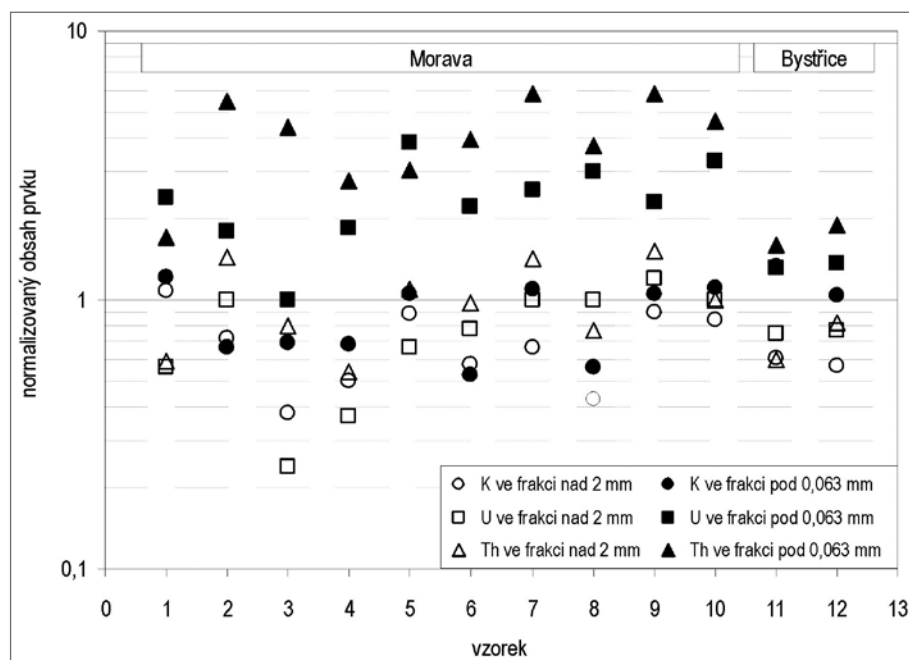
Jde o miocenní sedimenty karpatské předhlubně (vápnité jíly a písky), pliocenní lakustrinní a fluvialní sedimenty (písky, jíly, silty a šterky – tzv. „pestrý pliocén“) a kvarterní uloženiny (hlavně fluvialní a fluvioimnické písky, šterky a jíly a také spraše) – viz Růžička et al. (1995).

Vzorky a metody

Na mapovém listu 24-22 Olomouc bylo na 286 lokalitách odebráno 612 vzorků reprezentujících všechny horninové typy brunovistulika a moravskoslezského paleozoika a vybrané typy kenozoických sedimentů. Determinace hornin byla prováděna jen makroskopicky, což působilo komplikace pouze v případě brunovistulických plutonitů. Nutno však poznamenat, že ani studium těchto hornin ve výbrusech nemusí vést k jednoznačnému stanovení jejich původní povahy (jsou-li mylonitizovány).

V horninových vzorcích byly na PŘF UP v Olomouci za použití spektrometru SG – 1000 LAB s NaI(Tl) detektorem o objemu 0,35 dm³ (průměr 76 mm, délka 76 mm) stanoveny obsahy K (přímo na základě koncentrace ⁴⁰K), U a Th (na základě dceřiných produktů, a proto jsou jejich obsahy při uvádění výsledků analýz označovány jako eU a eTh). Meze detekce: K = 0,5 hm. %, U a Th = 1,5 ppm. Při výpočtu hodnot a_m a D (viz níže) a při statistickém zpracování dat byly obsahy K pod mezí detekce nahrazeny hodnotou 0,33 hm. %, obdobně v případě U a Th hodnotou 1 ppm. Před měřením byly horninové vzorky rozdrčeny a uzavřeny do krabiček o objemu 250 ml, v nichž byly následně měřeny. Hmotnost takto připravených vzorků se pohybovala kolem 400 gramů.

Přirozená radioaktivita hornin je hodnocena na základě hmotnostní aktivity ekvivalentu ²²⁶Ra (a_m) a též



Obr. 1: Obsahy přirozených radioaktivních prvků v zrnitostních frakcích nad 2 mm a pod 0,063 mm kvarterních fluvialních sedimentů, normalizované na obsahy těchto prvků v zrnitostní frakci 0,063 až 2 mm.

Fig. 1: Contents of the natural radioactive elements in grain fractions over 2 mm and below 0.063 mm of the Quaternary fluvial sediments, normalized on contents of the elements in a grain fraction 0.063 to 2 mm.

Tab. 1: Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U, Th) v proterozoických a paleozoických horninách, vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity ekvivalentu ²²⁶Ra (a_m); n = počet vzorků, x = průměr.

Tab. 1: Contents of the natural radioactive elements (K, U, Th) in Proterozoic and Palaeozoic rocks, calculated mass activity of ²²⁶Ra equivalent (a_m); n = number of samples, x = average.

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
<i>brunovistulikum</i>																	
granitoid	4	2,2	3,7	2,8	2,9	< 1,5	2,9	1,8	1,9	5,6	10,7	8,5	8,3	126	155	141	141
dioritoid	7	2,2	3,7	2,8	2,9	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	3,2	15,3	6,2	7,3	84	190	118	124
pegmatit	2	3,5	4,9	4,2	4,2	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	1,9	< 1,5	< 1,5	103	141	122	122
<i>bazální klastika devonu</i>																	
pískovec, slepenec	5	< 0,5	2,7	< 0,5	0,8	< 1,5	4,2	< 1,5	1,6	< 1,5	11,0	< 1,5	3,2	26	181	26	58
<i>macošské souvrství (MS) a líšeňské souvrství (LS)</i>																	
vápenec – MS	63	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 1,5	2,6	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	26	46	26	28
vápenec – LS	2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	26	26	26	26
siliciklastika – LS	2	< 0,5	0,6	< 0,5	< 0,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	2,4	2,8	2,6	2,6	40	43	42	42
<i>andělskohorské souvrství</i>																	
psamity	21	1,0	2,5	1,9	1,8	1,6	4,9	2,6	2,8	7,0	17,3	10,3	10,9	104	192	141	142
aleurity a pelity	14	1,4	3,0	2,5	2,3	1,7	7,2	2,6	2,9	8,7	15,8	12,0	11,8	115	218	154	158
<i>protivanovské souvrství</i>																	
psamity	8	1,1	2,2	1,4	1,6	< 1,5	3,4	1,6	1,8	8,7	12,3	10,0	10,1	97	156	113	118
aleurity a pelity	7	2,1	2,5	2,3	2,3	< 1,5	3,1	1,7	2,0	8,6	11,7	11,2	10,9	113	157	145	142
<i>hornobenešovské souvrství</i>																	
psamity	33	0,9	2,6	1,6	1,7	< 1,5	3,6	2,5	2,4	7,2	15,6	10,4	10,4	88	175	129	132
aleurity a pelity	5	2,0	2,6	2,4	2,3	2,2	4,2	3,3	3,2	10,3	14,2	12,6	12,2	150	192	162	167
<i>rozstáňské souvrství</i>																	
psefity	11	0,8	2,8	1,8	1,9	< 1,5	5,6	2,0	2,3	3,6	14,4	9,1	9,8	53	218	120	130
psamity	59	0,8	2,8	2,0	1,9	< 1,5	7,2	1,8	2,0	4,2	22,2	10,5	10,6	56	272	129	132
aleurity a pelity	20	2,0	3,4	2,9	2,8	1,6	7,4	2,8	3,5	10,2	24,4	12,5	13,5	142	308	176	189
<i>moravické souvrství</i>																	
psefity	12	1,6	2,3	1,9	1,9	< 1,5	3,3	2,1	2,1	5,9	10,9	8,2	8,3	95	177	119	120
psamity	19	1,1	3,0	1,8	1,8	< 1,5	2,2	< 1,5	< 1,5	6,8	14,1	9,9	10,2	85	177	121	120
aleurity a pelity	12	1,9	3,6	2,5	2,6	1,5	2,6	2,0	2,0	8,7	15,1	11,0	11,3	115	194	149	153
<i>myslejovické souvrství</i>																	
psefity	17	1,0	2,3	1,5	1,6	< 1,5	2,4	1,5	1,6	5,8	8,7	7,3	7,3	80	118	101	100
psamity	55	1,0	3,3	1,9	1,9	< 1,5	3,1	1,8	1,9	6,8	13,0	9,6	9,6	85	169	124	125
aleurity a pelity	84	1,3	3,1	2,5	2,4	< 1,5	3,5	2,3	2,3	8,3	14,5	11,4	11,4	92	197	153	153

Tab. 2: Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U, Th) v kenozoických sedimentech, vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity ekvivalentu ²²⁶Ra (a_m); n = počet vzorků, x = průměr.

Tab. 2: Contents of the natural radioactive elements (K, U, Th) in Cenozoic sediments, calculated mass activity of ²²⁶Ra equivalent (a_m); n = number of samples, x = average.

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
<i>karpatská předhlubeň – miocenní marinní sedimenty</i>																	
písek	2	1,2	1,7	1,5	1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	1,8	5,3	3,6	3,6	64	72	68	68
jíl	6	1,9	2,2	2,2	2,1	< 1,5	2,2	1,8	1,8	6,6	11,8	9,6	9,3	99	149	129	125
<i>Hornomoravský úval – pliocenní fluvialní a lakustrinní sedimenty</i>																	
štěrk	3	< 0,5	1,1	< 0,5	0,6	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	3,4	4,0	3,6	3,7	41	62	41	48
písek	13	< 0,5	1,7	0,8	0,9	< 1,5	2,7	< 1,5	< 1,5	1,6	10,7	2,9	4,5	30	124	46	63
silt a jíl	30	< 0,5	2,1	1,7	1,6	< 1,5	3,1	1,8	1,8	5,6	12,2	8,7	8,6	67	143	112	110
<i>Hornomoravský úval – kvarterní fluvialní sedimenty a spraš</i>																	
štěrk	37	1,3	2,1	1,6	1,6	< 1,5	3,0	1,6	1,7	2,2	11,3	5,6	6,3	56	144	87	96
písek	32	1,0	2,3	1,7	1,7	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	3,4	10,3	4,4	5,5	56	139	82	89
jíl	7	1,5	2,1	1,6	1,7	2,0	3,1	2,6	2,6	8,3	12,0	9,5	9,6	111	145	128	128
spraš	20	1,3	1,8	1,6	1,6	2,4	3,1	3,0	2,9	10,3	11,9	11,0	11,0	121	150	141	139

dávkového příkonu záření gama terestrického původu (D). Tyto parametry byly z výsledků gamaspektrometrických analýz vypočteny pomocí vztahů $a_m [Bq.kg^{-1}] = (0,077 \times 313K) + 12,35U + (1,43 \times 4,06Th)$, $D [nGy.h^{-1}] = (0,043 \times 313K) + (0,427 \times 12,35U) + (0,662 \times 4,06Th)$, do nichž je obsah K dosazován v hm. %, obsahy U a Th v ppm (UNSCEAR 1988; Matolín – Chlupáčová 1997; Ngachin et al. 2007).

V kvarterních fluvialních (příp. fluviolimnických) štěrčích a píscích byla sledována přirozená radioaktivita psefitové, psamitové a aleuritové + pelitové frakce. V souboru 12 studovaných štěrků a písků je zastoupeno 10 sedimentů řeky Moravy, odebraných na k. ú. Lhota nad Moravou (vz. 1 v obr. 1), Mezice (vz. 2 až 4), Březce (vz. 5 až 7), Černovír (vz. 8) a Lazce (vz. 9 a 10), zbývající dva vzorky reprezentují sedimenty řeky Bystřice a pochází z k. ú. Bělidla (vz. 11) a k. ú. Chválkovice (vz. 12). Tři výše uvedené frakce byly získány síťováním za sucha. Psefitová a psamitová frakce byly po ukončení síťování přímo na sítěch propláchnuty vodou (podsítný materiál byl odstraněn) a následně vysušeny. Síťovaný vzorek byl vždy získán sdružením několika vzorků písku nebo štěrku odebraných na téže lokalitě. Hmotnost síťovaných vzorků se pohybovala v rozpětí zhruba 5 až 8 kg. I přesto se ve většině případů nepodařilo získat potřebný objem zrnitostní frakce pod 0,063 mm, který by umožnil provedení gamaspektrometrické analýzy standardním způsobem. K analýze byly použity menší objemy aleuritové + pelitové frakce (v jednom případě jen asi 35 ml), přesnost stanovení K, U a Th je výrazně nižší (relativně vysoké hodnoty standardní deviace, špatná reprodukovatelnost analýz).

Výsledky

Výsledky všech laboratorních gamaspektrometrických stanovení obsahů K, U a Th v horninových vzorcích jsou shrnuty v tabulkách 1 a 2. Zjištěné obsahy K, U a Th v jednotlivých zrnitostních frakcích štěrku a písků řeky Moravy a Bystřice byly využity k vytvoření obrázku 1. Významné či zajímavé poznatky jsou komentovány v následující kapitole.

Diskuze

1. S jedinou výjimkou průměrná a_m studovaných hornin nedosahuje hodnot vypočtených pro průměrnou zemskou kůru (kolem 180 Bq.kg⁻¹). Touto výjimkou jsou aleurity a pelity rozstáňského souvrství, jejichž průměrná a_m je 189 Bq.kg⁻¹. Do téže skupiny hornin patří i vzorek s nejvyšší a_m zjištěnou na listu 24-22 Olomouc: siltovec z k. ú. Měrotín s a_m 308 Bq.kg⁻¹ (D = 146 nGy.h⁻¹).

2. U všech šesti flyšových souvrství lze konstatovat, že nejvyšší průměrné hodnoty a_m byly zaznamenány ve skupině aleuritů a pelitů, což souvisí s vyššími průměrnými obsahy K, U a Th v této skupině hornin ve srovnání s psamity, případně i psefity (viz data v tab. 1). Na růst a_m ve flyšových sedimentech moravskoslezského paleozoika v řadě psefit – psamit – aleurit + pelit již upozorňuje např. Manová – Matolín (1989), Zimák – Štelcl (2004) a Zimák (2012).

3. Velmi výrazný vztah mezi zrnitostí a a_m byl zjištěn u nezpevněných tercierních sedimentů. Miocenní jíly karpatské předhlubně vykazují přibližně dvojnásobnou a_m ve srovnání s písky (tab. 2), soubor studovaných vzorků je však velmi malý. Zcela shodný trend byl zaznamenán u reprezentativního souboru pliocenních lakustrinních a fluvialních sedimentů Hornomoravského úvalu (tab. 2).

4. U kvarterních fluvialních sedimentů Hornomoravského úvalu (tab. 2) se trend popsáný v bodě 3 neprojevuje tak výrazně, což může souviset s často špatným zrnitostním vytříděním těchto sedimentů (běžné jsou např. jílovité štěrky). Z dat v tabulce 2 je zřejmé, že mezi štěrky a písky v podstatě neexistují rozdíly mezi průměrnými obsahy sledovaných prvků, a proto i průměrné hodnoty a_m jsou víceméně shodné. Přirozená radioaktivita jílu je o něco vyšší, což je dáno v průměru vyššími obsahy U a Th. Aleuritová a pelitová frakce (tj. frakce pod 0,063 mm) štěrku a písků má obvykle vyšší obsahy U a Th než frakce hrubozrnější, a v některých případech jsou tyto rozdíly velmi výrazné. Obrázek 1 vyjadřuje obsahy K, U a Th v psefitové a aleuritové + pelitové frakci dvanácti vzorků štěrku a písků, a to po normalizaci na obsah těchto prvků v psamitové frakci daného vzorku. Obsahy K, U a Th v psefitové frakci jsou většinou nižší

než v psamitové frakci. I když údaje o obsazích K, U a Th v aleuritové + pelitové frakci některých vzorků nejsou z výše uvedených důvodů přesné, je z obrázku 1 zřejmé, že v této frakci jsou s výjimkou vzorku 2 vždy zvýšené obsahy U a Th, zatímco obsahy K jsou zhruba stejné nebo nižší (ve srovnání s obsahy těchto prvků v psamitové frakci).

5. Horniny brunovistulika a devonské sedimenty na listu vystupují na jen velmi malých plochách. Jejich relativně nízkou přirozenou radioaktivitu již dříve prokázali Přichystal et al. (2002), Zimák – Štelcl (2007) a Zimák (2011).

6. Gnojek – Šalanský (2000) hodnotí výsledky aeroradiometrie na listu 24-224 Olomouc takto: „většina území, zakrytá kvartérními (pleistocenními) usazeními, vykazuje koncentrace draslíku okolo 1,5 %, uranu

nejčastěji 3, méně často 2 ppm a thoria většinou 8 ppm s rozpětím 6 až 10 ppm“. V případě tohoto území lze konstatovat velmi dobrou shodu mezi výsledky letecké geofyziky a laboratorní gamaspektrometrie (viz data v tab. 2).

Závěr

Průměrná hmotnostní aktivita ekvivalentu ^{226}Ra vypočtená pro horniny brunovistulika, moravskoslezského paleozoika a kenozoické marinní, lakustrinní a fluvialní sedimenty a také sraše na listu 24-22 Olomouc většinou nedosahuje hodnot pro průměrnou zemskou kůru, tj. kolem 180 Bq.kg^{-1} . Uvedenou hodnotu překračují pouze siltové a jílové břidlice a siltovce rozstáňského souvrství (rozpětí 142 až 308 Bq.kg^{-1} , průměr 189 Bq.kg^{-1}).

Literatura

- Břízová, E. – Čtyroká, J. – Hanžl, P. – Hladilová, Š. – Hrubeš, M. – Novák, Z. – Švábenická, L. – Zapletal, J. (2000): Geologický vývoj a charakteristika jednotek. – In: Hrubeš, M. (ed.): Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000. List 24-224 Olomouc, 8–26. Český geologický ústav, Praha.
- Gnojek, I. – Šalanský, K. (2000): Geofyzikální poměry. – In: Hrubeš, M. (ed.): Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000. List 24-224 Olomouc, 26–30. Český geologický ústav, Praha.
- Manová, M. – Matolín, M. (1989): Radioaktivita hornin ČSSR. – In: Ibrmajer, J. – Suk, M. et al.: Geofyzikální obraz ČSSR, 196–213. ÚÚG – Academia Praha.
- Matolín, M. – Chlupáčová, M. (1997): Radioaktivní vlastnosti hornin. – In: Kobr, M. et al.: Petrofyzika, 109–126. Vydavatelství Karolinum, Praha.
- Ngachin, M. – Garavaglia, M. – Giovani, C. – Kwato Njock, M. G. – Nourreddine, A. (2007): Assessment of natural radioactivity and associated radiation hazards in some Cameroonian building materials. – Radiation Measurements, 42, 61–67.
- Přichystal, A. – Gnojek, I. – Bednaříková, S. (2002): Výsledky gama-spektrometrického studia krystalinika Hornomoravského úvalu. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2001, 75–78.
- Růžička, M. – Hrubeš, M. – Dvořák, J. (1995): Geologická mapa ČR 1 : 50 000. List 24-22 Olomouc. Český geologický ústav.
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1988): Exposures from natural sources of radiation. Report to the General Assembly. U. N., New York, USA.
- Zimák, J. (2011): Přirozená radioaktivita granitoidů a metagranitoidů brunovistulického teránu na území České republiky. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 18, 2, 201–204.
- Zimák, J. (2012): Přirozená radioaktivita kulmských sedimentů na východním okraji Českého masivu. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, 19, 1–2, 130–133.
- Zimák, J. – Štelcl, J. (2004): Přirozená radioaktivita hornin moravskoslezského kulmu v oblasti Nížkého Jeseníku a Oderských vrchů: příspěvek k poznání zdrojové oblasti klastického materiálu. – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2003, 11, 103–106.
- Zimák, J. – Štelcl, J. (2007): Přirozená radioaktivita paleozoických karbonátových hornin východního okraje Českého masivu. – Současnost a perspektiva těžby a úpravy nerudných surovin IV, 131–136. VŠB-TU Ostrava.