

ÚVODNÍ MĚŘENÍ OBJEMOVÉ AKTIVITY RADONU V DOLE JERONÝM

INITIAL RECORDING OF THE RADON ACTIVITY CONCENTRATION IN JERONÝM MINE

Aleš Froňka¹, Jan Hradecký², Zdeněk Kaláb³, Markéta Lednická⁴

Abstrakt

V roce 2013 se plánuje rozšíření distribuovaného měřicího systému v Dole Jeroným o kontinuální měření objemové aktivity radonu (OAR). V současné době obsahuje systém osm druhů geomechanických měření. Proto byla provedena rešerše přirozené radioaktivity v širším okolí dolu a následně též krátkodobá experimentální měření. První měření bylo realizováno v roce 2009, druhé pak v roce 2012. Měření bylo provedeno jak v horním, tak i na štolovém patře. Součástí měření OAR je měření teploty a vlhkosti v místech odběru důlního vzduchu. Výsledné hodnoty se pohybují v rozmezí od 2,6 kBq×m⁻³ pod zátyní jámy J1 do 39,8 kBq×m⁻³ v chodbě CH2 ve východní části štolového patra. Podrobný výsledek druhého měření je shrnut do tabulky i do přehledného grafu.

Abstract

Expansion of the distributed registering system in the Jeroným Mine is planned in 2013; it will be continuous recording of radon activity concentration. Eight types of geomechanical records are included into the system at present. Therefore, the literature retrieval of natural radioactivity in the wider surroundings was performed and subsequently, short-time records were realized. The first record was made in 2009; the second one in 2012. Observations were realized both in the upper level of the mine and drainage level. Temperature and moisture records in the underground spaces were the supplement of the radon activity concentration recording. Resulting values are in range from 2.6 kBq×m⁻³, in bottom of tower, up to 39.8 kBq×m⁻³ on the gallery named CH2 in the drainage level. Detailed results were presented in the table and also in the graph.

Klíčová slova

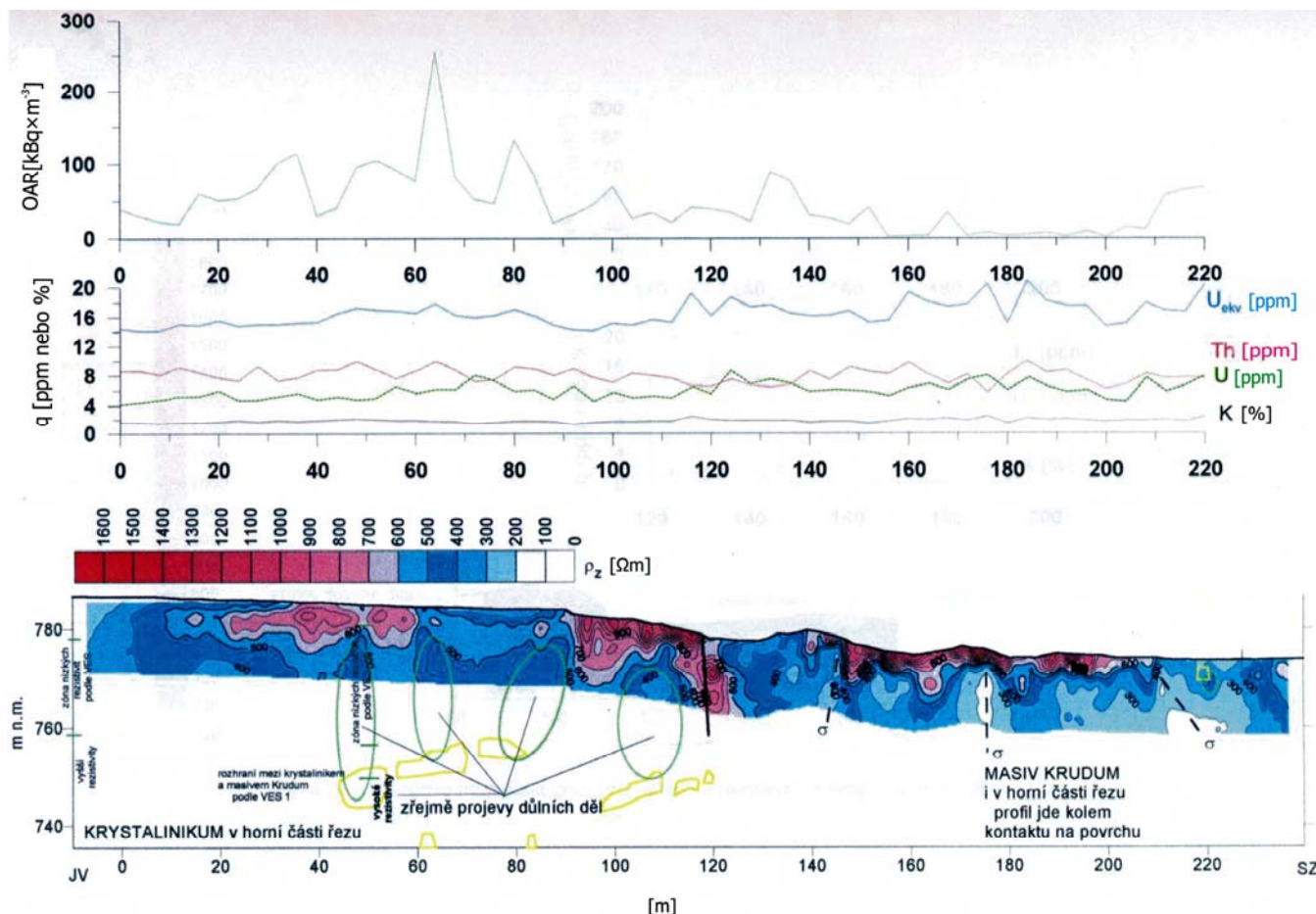
koncentrace aktivity radonu, krátkodobé měření, kontinuální měření, důl Jeroným

Keywords

radon activity concentration, short-time recording, continual recording, Jeroným Mine

1 Úvod

Důl Jeroným je významnou památkou na středověké rudní hornictví. Jeho popis byl publikován v řadě článků, např. Beran et al. (1995), Kaláb et al. (2006), Žůrek et al. (2008), Kaláb et al. (2011a) a Tomíček (2011). V jedné ze dvou dnes oddělených částí podzemních



Obr. 1 Výsledky odporových a radiometrických měření na profilu A (převzato ze zprávy Žúrka a kolektivu, 2001)

rozšířen o další typ měření, a to kontinuální měření objemové aktivity radonu v dole. Proto bylo realizováno iniciační měření, aby senzor mohl být zkonstruován pro důlní podmínky v Dole Jeroným.

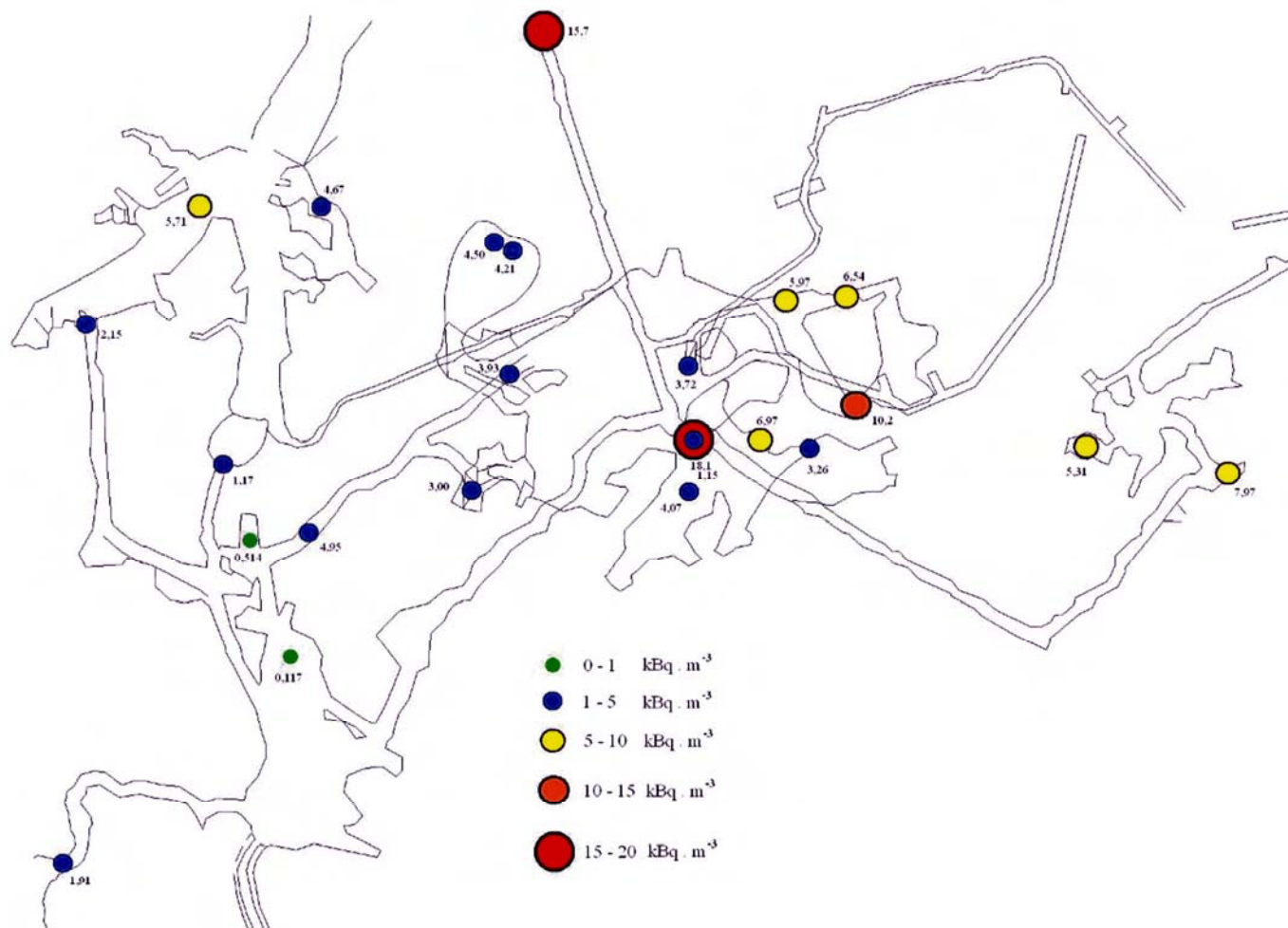
2 Geologie a přirozená radioaktivita širšího okolí dolu

Sledovaná oblast se nachází v blízkosti kontaktu významných geologických jednotek (krušnohorského a tepelsko-barrandienského megabloku). Geologická a tektonická mapa oblasti dokládá také významnou zlomovou tektoniku a v blízkosti i zónu oháreckého riftu. Tyto geologické skutečnosti se samozřejmě plně projevují také ve fyzikálních polích – tíhovém, magnetickém, radiometrickém a poli teplotního

prostor, nazývané Opuštěná důlní díla (ODD), je od roku 2006 postupně budován distribuovaný měřicí systém (DMS). Ten je řízen vestavěným počítačem seismické aparatury. Seismická registrační aparatura, vývojový typ PCM3-EPC3 (Knejzlík a Kaláb, 2002), byla v Dole Jeroným uvedena do provozu v červnu v roce 2004. Pro komunikaci s počítačem, z něhož je registrační aparatura dálkově spravována, slouží program pcAnywhere 5.0. DMS je realizován jako modulární, aby byla možnost realizovat systém co nejoptimálněji a operativně reagovat na potřeby. Vzorkovací interval je libovolně nastavitelný, v uvedené aplikaci je používán jednohodinový interval pro snímání dat z jednotlivých čidel. Datum, čas a naměřené hodnoty jsou zapisovány do textových souborů, které se telemetricky (GSM sít') přenáší ke zpracování do centra v Ostravě spolu se seismickými záznamy (např. Kaláb et al., 2008, Knejzlík et al., 2011, Lednická et al., 2011).

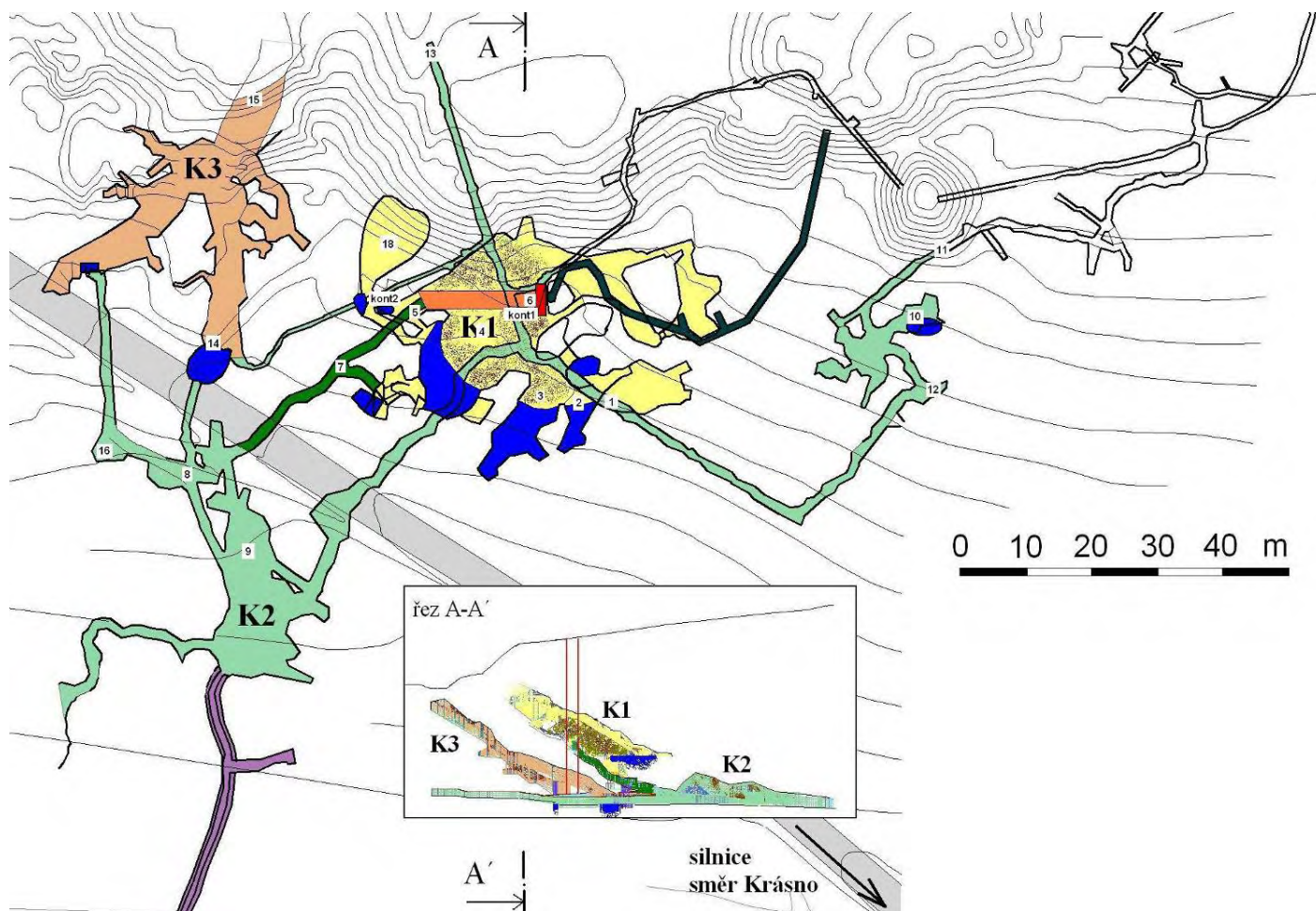
V současné době obsahuje DMS osm druhů geomechanických měření s téměř třiceti čidly. V letošním roce (2013) bude DMS

toku (Kaláb, a Müller, 2007). Komplikovaný charakter regionálních polí s sebou nese při geofyzikálním průzkumu nutnost vzít tuto skutečnost v úvahu – například výběr vhodného souboru metod pro detailní průzkum, dostatečně dlouhé profily k navázání lokálních anomálií na regionální pole nebo stanovení dostatečného rozsahu měřicích aparatur.



Obr. 2 Schéma důlních prostor Dolu Jeroným (část ODD) s vyznačením míst měření OAR v roce 2009 a odečtené hodnoty

Oblast Slavkovského lesa náleží z geologického hlediska k Českému masívu, v podrobnějším členění k tepelskému krystaliniku. Hlavní jednotkou jsou variské magmatity, nejčastěji granitového složení, a amfibolity. Nejbližší okolí a též vlastní Důl Jeroným reprezentují alterované kyselé žuly s dominantní mladovariskou cíno-wolframovou mineralizací se silnými pneumatolickými vlivy

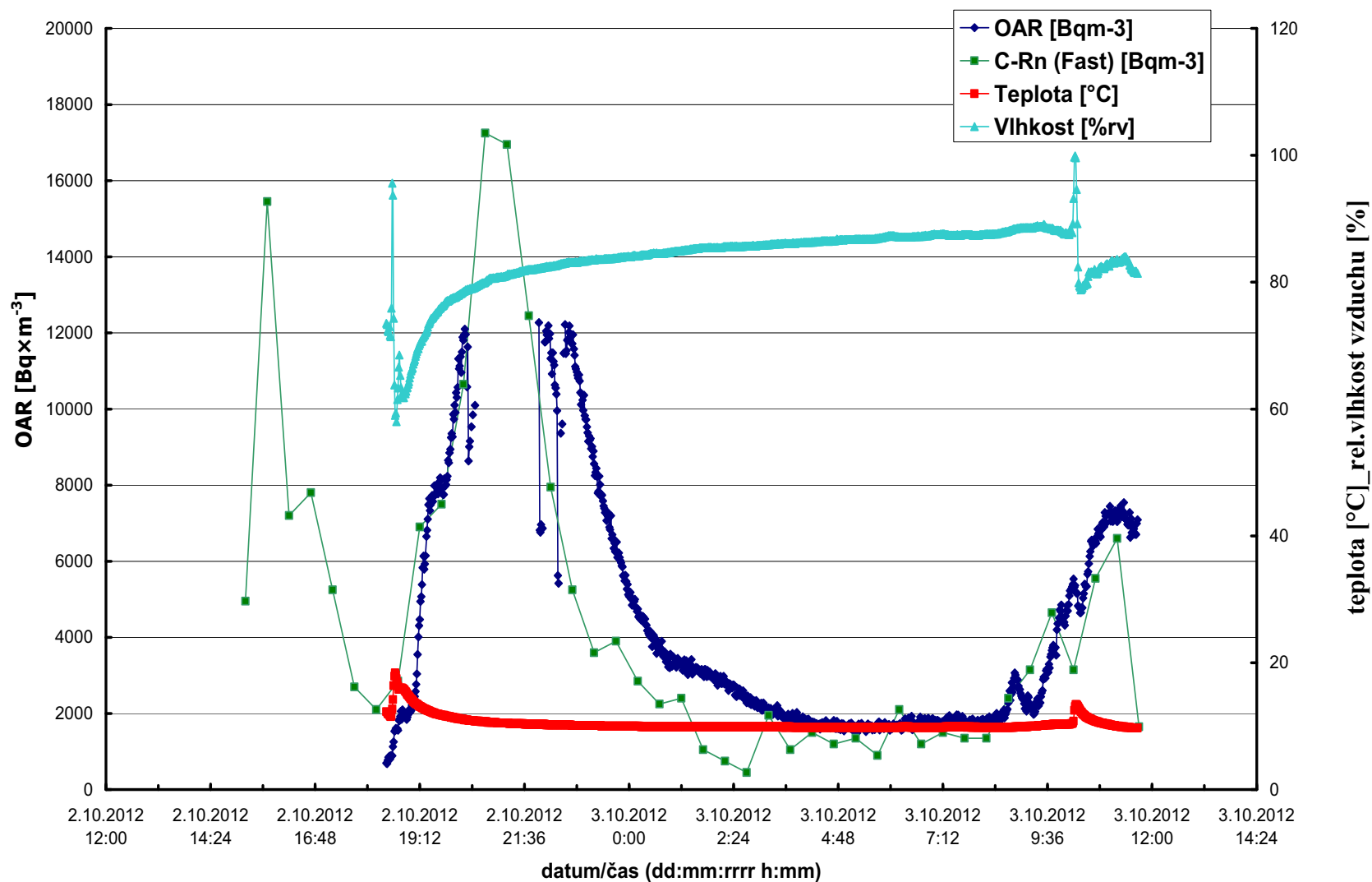


Obr. 3 Schéma důlních prostor Dolu Jeroným (část ODD) s vyznačením míst měření OAR v roce 2012

s průměrným věkem 265 M.A. Z metalogenetického hlediska je Důl Jeroným součástí prastarého revíru cíno-wolframových rud, který se rozprostírá v širším okolí Horního Slavkova. Ložisko Dolu Jeroným se nachází v jižní části žulového plutonu Krudum, tvořeného převážně autometamorfovanými žulami. Nejintenzivnější alterace jsou v prostoru Sn-W ložisek; jde hlavně o impregnace kasiteritu a wolframitu s malou příměsí molybdenitu v několika deskovitých polohách, přibližně paralelních s kontaktem žuly s pláštěm, o mocnosti 1 – 20 m.

Kromě toho jsou zde křemenné žíly s kasiteritem a wolframitem, méně s Li-slídami, molybdenitem, berylem, apatitem, topazem, arsenopyritem a dalšími ojedinělými nebo i pochybnými nerosty (podle Bernard, 1981).

Proměnlivé pole přirozené radioaktivity hornin odráží jejich litologii a vývoj, velký význam má také při výzkumu strukturně tektonické stavby masívu. Krušnohorské krystalinikum s proterozoickými břidlicemi vykazuje střední hodnoty radioaktivity ve víceméně



Obr. 4 Graf naměřených hodnot v roce 2012, detaily viz text

monotónním vývoji s dávkovým příkonem záření gama $50 \text{ nGy} \times \text{h}^{-1} - 75 \text{ nGy} \times \text{h}^{-1}$. Oblast mariánsko-lázeňského metabazického komplexu se jeví v mapě jako rozsáhlá zóna nízkých hodnot dávkového příkonu gama záření. Mezi oběmi výše uvedenými komplexy leží zóna vyšších hodnot ($100 \text{ nGy} \times \text{h}^{-1} - 140 \text{ nGy} \times \text{h}^{-1}$) protažená ve směru jihozápad-severovýchod (podle Manové a Matolína, 1995).

3 Geofyzikální měření

Součástí průzkumů v okolí Dolu Jeroným byla také geofyzikální měření v roce 2001, jmenovitě především odporová měření na 4 profilech nad poddolovaným územím. Cílem těchto měření bylo vymezit nízkoodporové zóny, které by mohly být oslabenými zónami (rozrušené skalní horniny s obsahem vody), a zóny s vyšším měrným elektrickým odporem, které by mohly být projevem důlních děl nebo projevem závalu bez zvýšeného obsahu vody. Z interpretace multielektrodeového měření byly vymezeny 4 typy oblastí s odlišným elektrickým odporem než okolí, interpretace je však nejednoznačná a bylo by nutné použít doplňkové měření s jiným fyzikálním principem, k čemuž nedošlo (podle Žůrek et al., 2001).

Radiometrické měření bylo provedeno metodou gama spektrometrie a stanovením radonu v půdním vzduchu na vybraných částech profilů s měrným elektrickým odporem. Spektrometrem byly měřeny následující parametry: obsah ^{40}K [%], ^{238}U [ppm], ^{232}Th [ppm] a U_{ekv} [ppm]. Měření těchto veličin bylo bez výrazných anomálií, nebyla pozorována vazba mezi naměřenými veličinami a sledovanou fyzikálně mechanickou charakteristikou horninového masívu. Pouze křivka U_{ekv} umožňuje vydělit horniny krystalinika a masívu Krudum. Z naměřených křivek lze definovat určitý vztah mezi porušeností horninového masívu a velikostí objemové aktivity radonu (OAR). Nižší hodnoty zřejmě charakterizují rozvolněný masív, kde dochází k intenzivnějšímu proudění a tedy k výměně půdního vzduchu s ovzduším bez plynulého vyrovnání absence Rn uvolňovaného v těchto rozvolněných horninách. Vyšší hodnoty Rn mohou být způsobeny podobným efektem, ale s výraznou dotací Rn obsaženém v půdním vzduchu, který se dostává k povrchu z větších hloubek a rozvolněnou zónou může být např. úzká tektonická porucha. Naměřená maxima přesahovala hodnotu $250 \text{ kBq} \times \text{m}^{-3}$. Průměrná hodnota byla na jednom sledovaném místě $15,2 \text{ kBq} \times \text{m}^{-3}$, na druhém pak $42,5 \text{ kBq} \times \text{m}^{-3}$. Velikosti těchto hodnot opět umožňují rozlišení krystalinika a masívu Krudum. Podrobnější hodnocení naměřených dat lze nalézt opět ve zprávě Žůrka a kolektivu (/2001). Příklad výsledků měření na cca 220 m dlouhém profilu je na obr. 1.

4 Měření OAR důlního vzduchu

V říjnu 2009 bylo provedeno orientační měření OAR v ovzduší v důlním díle pomocí aparatury LUK-4. Objemová aktivita radonu v důlním vzduchu se pohybovala v mezích do $20 \text{ kBq} \times \text{m}^{-3}$. Na obr. 2 je vidět rozmístění měřicích bodů v důlním díle. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny na slepém ražení štolý na štolovém patře, pak na křížení čtyř chodeb taktéž na štolovém patře.

Další měření bylo provedeno v roce 2012 s cílem získat parametry pro realizaci kontinuálního monitorování OAR v důlním díle. Jednorázové odběry vzorků vzduchu pro stanovení OAR byly zjišťovány systémem RM-2. Vzorky vzduchu objemu 150 ml byly odebírány přes filtr stříkačkou Janette a zaváděny do ionizačních komor objemu 250 ml. Vzduch do komor byl dopuštěn na povrchu. Vzorky byly

měřeny readerem ERM3 po dosažení sekulární radioaktivní rovnováhy mezi radonem a jeho krátkodobými produkty přeměny. Výsledné hodnoty se pohybují v rozmezí od 2,6 kBq×m⁻³ pod zátyní jámy J1 do 39,8 kBq×m⁻³ v chodbě CH2 ve východní části 2. (štolového) patra. Rozdíly jsou zřejmě způsobeny odlišnými ventilačními poměry v jednotlivých prostorách dolu a rozdílem v emanačním koeficientu radonu pro suť a pro kompaktní horniny, ale nelze vyloučit ani vliv geologických poměrů

Tab. 1 Tabulka naměřených hodnot v roce 2012

Důl Jeroným, 2. a 3. 10. 2012					
<i>Místo</i>	<i>Datum, čas</i>	<i>OAR [kBq×m⁻³]</i>	<i>D [μGy×h⁻¹]</i>	<i>Voda</i>	
				<i>OAR [Bq×l⁻¹]</i>	<i>Poznámka</i>
1, 1. patro	2.10.2012 16:40	11,7	0,57		
2, 1. patro	2.10.2012 16:42	4,4	0,55		
3, 1. patro	2.10.2012 16:44	9,4	0,53		
4, K1, 1. patro	2.10.2012 16:55	7,2	0,50		
5, spojovací chodba 1/2. patro	2.10.2012 16:59	10,4	0,60		
6, K1 pod zátyní J1	2.10.2012 17:12	2,6	0,47		
7, spojovací chodba 1/2. patro	2.10.2012 17:24	8,2	0,62		
8, 2. patro	2.10.2012 17:28	12,4	0,46		
9, K2, 2. patro	2.10.2012 17:31	20,5	0,62		
10, CH2, 2. patro	3.10.2012 10:02	39,8	0,55	85	skap
11, CH2, 2. patro	3.10.2012 10:08	38,6	0,45	168	skap/povrch
12, CH2, 2. patro	3.10.2012 10:20	34,4	0,47		
13, čelba CH21	3.10.2012 10:28	11,2	0,53		
14, K3	3.10.2012 10:40	9,4	0,46	17	Podzemní
15, K3	3.10.2012 10:47	19,2			
16, KK, 2. patro	3.10.2012 11:00	7,8	0,56		
18, K42, 1. patro	3.10.2012 11:35	9,3	0,53		

Pro krátkodobé měření OAR v ovzduší dolu kontinuálními monitory byly použity monitory Radonic 01 a Sarad Doseman 01, umístěné v komoře K1 u jámy (obr. 3, pozice *kont1*). Průběh OAR nabývá rozpětí od 2000 Bq×m⁻³ do 17 kBq×m⁻³ a naznačuje, že směr a rychlost proudění vzduchu v díle závisí na rozdílu teplot na povrchu a v podzemí. Večerní nárůst OAR tak lze přičíst zastavení proudění

vzduchu po vyrovnání teplot na povrchu a v podzemí a následný pokles situaci, kdy se po dalším ochlazení na povrchu obrátil směr proudění, a fárovací jáma se stala z výdušné vtažnou. K dalšímu obrácení směru proudění patrně došlo ráno kolem 9:00, kdy začala OAR opět růst. Kontinuální monitory byly 3. 10. 2012 v 9:50 přemístěny na pozici *kont2* (viz obr. 3). Pro získání informací o velikosti OAR v důlních vodách byly odebrány tři vzorky důlních vod různého původu. Nejvyšší hodnota ($168 \text{ Bq} \times \text{l}^{-1}$) byla zjištěna ve vodě patrně prosakující z povrchu a nejnižší hodnota ($17 \text{ Bq} \times \text{l}^{-1}$) ve vodě pravděpodobně podzemního původu. Ve vzorku kapající vody bylo změřeno $85 \text{ Bq} \times \text{l}^{-1}$. Úplný přehled naměřených hodnot v podzemí v roce 2012 lze nalézt v tab. 1. Průběh OAR, teploty a relativní vzdušné vlhkosti je na obr. 4.

5 Závěr

Byly představeny výsledky staršího a nového měření objemové aktivity radonu a dávkových příkonů záření gama ve vnitřním ovzduší důlního díla Jeroným. Na jaro 2013 je plánováno zahájení kontinuálního měření objemové aktivity radonu s cílem doplnit geomechanický monitoring, tj. připojení senzoru do distribuovaného měřicího systému. Data budou opět odečítána v hodinových intervalech. Kromě toho se uvažuje o krátkodobých měřeních. Jejich cílem bude změřit rychlost a určit směr proudění vzduchu ve vybraných prostorách (především ústí chodeb do komor) v různou denní dobu a pořídit 24 hodinový kontinuální záznam rychlosti proudění v jámě J1 (vzhledem ke známému profilu nám umožní zhruba stanovit průtok a tím si udělat orientační představu o součiniteli ventilace) a v odvodňovací štole. Současně budou provedeny další jednorázové odběry pro stanovení OAR a krátkodobá kontinuální měření průběhu OAR v ovzduší na vybraných místech. Na povrchu se zvažuje profilové měření OAR v půdním vzduchu a plynopropustnosti na pinkách a místech, kde se důl blíží k úrovni terénu, popř. provést geofyzikální měření systémem ARES.

Poděkování

Príspevek byl zpracován za finanční podpory GAČR, projekt č. 105/09/0089 „Prognóza časoprostorových změn stability důlních prostor technické památky Důl Jeroným v Čisté“ a TAČR Alfa č. TA02020865 „Modulární stanice pro kontinuální měření přírodní radioaktivity“.

Literatura

- BERAN, P., JANGL, L., MAJER, J., SUČEK, P., OTFRIED, W. *1000 let hornictví cínu ve Slavkovském lese*, 1. vyd. Okresní muzeum Sokolov, 1995, 195 s.
- BERNARD, J. H. et al. *Mineralogie Československa*. 1. vyd. Academia Praha, 1981.
- KALÁB, Z., MÜLLER, K. Geofyzikální charakteristika širšího okolí Dolu Jeroným. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební*, 2007, roč. VII, č.2/2007, ISSN 1213–1962, ISBN 978 -80-248-1616-6, p. 213-223.
- KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., KOŘÍNEK, R., ŽŮREK, P. Cultural Monument Jeroným Mine, Czech Republic – Contribution to the Geomechanical Stability Assessment. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, 2006, M-29(395), p. 137-146, ISSN 0138-015X, ISBN-83-88765-67-1.
- KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., KOŘÍNEK, R., KUKUTSCH, R., LEDNICKÁ, M., ŽŮREK, P. Contribution to Experimental Geomechanical and Seismological Measurements in the Jeroným Mine. *Acta Geodyn. et Geomater.* 2008, Vol. 5, No. 2(150), p. 213-223, ISSN 1214-9705.

- KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M., ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, R., HRUBEŠOVÁ, E., KNEJZLÍK, J., DANĚK, T., KUKUTSCH, R., MICHALČÍK, P., RAMBOUSKÝ, Z. Národní kulturní památka Důl Jeroným: Shrnutí poznatků do roku 2008. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, 2011, Vol. XVIII. 1, p. 1-13. CD-ROM ISSN 1803-1447.
- KNEJZLÍK, J., KALÁB, Z. Seismic Recording Apparatus PCM3-EPC. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, 2002, M-24(340), p. 187-194, ISSN 0138015X.
- KNEJZLÍK, J., KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M., STAŠ, L. Investigation of the Medieval Jeroným Mine Stability: Present Results from a Distributed Measurement Network. In *Idziak, A.F., Dubiel, R. – editors: Geophysics in Mining and Environmental Protection. Ser. Geoplanet: Earth and Planetary Science*, 2011, Vol. 2, p. 59-70. © Springer-Verlag Berlin. ISSN 2190-5193, DOI 10.1007/978-3-642-19097-1, <http://www.springerlink.com/content/978-3-642-19097-1#section=917403&page=9&locus=81>.
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J. Kontinuální geomechanický monitoring v Dole Jeroným. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, 2011, Vol. XVIII. 1, s. 62-72. CD-ROM ISSN 1803-1447.
- MANOVÁ, M., MATOLÍN, M. *Radiometrická mapa České republiky*. 1. vyd. Český geologický ústav, Praha, 1995, ISBN 80-7075-180-0.
- TOMÍČEK, R. Posouzení Dolu Jeroným z historicko-památkového hlediska. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, 2011, Vol. XVIII. 1, p. 14-22. CD-ROM ISSN 1803-1447.
- ŽŮREK, P., V., DVOŘÁČEK, J., KOŘÍNEK, R., HOFRICHTEROVÁ, L., SLIVKA, V., POLÁČEK, A., MICHALČÍK, P., ŠTĚPÁNOVÁ, H., DANĚK, T., DOLEŽAL, M., KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., IVANYI, K. *Geomechanická stabilita kulturní památky Důl Jeroným – Čistá, okr. Sokolov. Opuštěná důlní díla*. Závěrečná zpráva HS 51 0795, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2001, 35 s, MS.
- ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, R., KALÁB, Z., HRUBEŠOVÁ, E., KNEJZLÍK, J., DANĚK, T., KUKUTSCH, R., MICHALÍK, P., LEDNICKÁ, M., RAMBOUSKÝ, Z. *Historický Důl Jeroným v Čisté*. Monografie, VŠB – Technická univerzita Ostrava a Ústav geoniky AVČR, v.v.i. Ostrava, 2008, 82 s., ISBN 978-80-248-1757-6.

Autoři

¹ Mgr. Aleš Froňka – Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., Bartoškova 1450/28, 140 00, Praha 4 – Nusle, ales.fronka@suro.cz

² Jan Hradecký – Státní ústav radiační ochrany, v. v. i., Bartoškova 1450/28, 140 00, Praha 4 – Nusle

³ prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, kalab@ugn.cas.cz

⁴ Ing. Markéta Lednická, Ph.D. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, lednicka@ugn.cas.cz