

ZVĚTRÁVACÍ PROCES V HISTORICKÉM DŮLNÍM DÍLE: PŘÍKLAD Z DOLU JERONÝM

WEATHERING IN A HISTORICAL MINING WORKINGS: AN EXAMPLE FROM THE JERONÝM MINE

Kaláb Zdeněk¹, Loskot Jiří²

Abstrakt

Výsledky předchozích nedestruktivních testovacích metod měření v Dole Jeroným (odraz Schmidtova kladívka, rychlost šíření ultrazvukových vln) ukázaly volnější, ale použitelnou korelaci stupně zvětrání horninového masivu v důlním díle. Článek stručně shrnuje tyto výsledky, které přispěly k posuzování stability důlního díla jako celku a nalezení kritických míst z pohledu případné ztráty stability nebo z pohledu bezpečnosti pohybu osob v důlním díle. Je podrobně popsán opad horninového bloku ze stropu ve veřejnosti nepřístupné části důlního díla. Opad je doložen fotografiemi i seismickým záznamem.

Abstract

The results of previous non-destructive testing methods of measurements at the Jeroným Mine (Schmidt hammer rebound values, ultrasonic pulse velocities) showed a weak but usable correlation of the degree of weathering of the rock mass in the mine. The article briefly summarizes these results, which contributed to the assessment of the stability of the mining work as a whole and finding critical points in terms of possible loss of stability or in terms of safety of movement of persons in the mining work. The fall of a rock block from the ceiling in the inaccessible part of the mining work is described in detail. This rock fall of is documented by photographs and seismic wave patterns.

Klíčová slova

Zvětrávací proces, nedestruktivní měření, opad horniny, Důl Jeroným

Keywords

Weathering, non-destructive measurement, rock fall of, Jeroným Mine

1. Úvod

Historický Důl Jeroným v Čisté (okr. Sokolov) je technická památka na středověké rudné hornictví. Jedná se o složitý komplex důlních děl, které dokumentují historický vývoj dobývání cínových a wolframových ložisek v oblasti Slavkovského lesa (např. Beran et al., 1995, Žurek a Kořínek, 2003, Kaláb et al., 2006, Tomíček, 2016). První aktivity pracovníků VŠB-Technické univerzity Ostrava a Ústavu geoniky AVČR, v.v.i. v Dole Jeroným, které byly zaměřeny na stanovení kritických faktorů z hlediska stability podzemních prostor, jsou datovány do roku 2000 a již od roku 2001 je realizován v důlním díle geomechanický monitoring vybraných parametrů. Distribuovaný měřicí systém s kontinuálním zápisem měřených hodnot je koncipován jako autonomní měřicí systém s telemetrickým přenosem dat. Interpretace naměřených dat je publikována v odborných časopisech, např. Kaláb et al., 2008, Knejzlík et al., 2011, Lednická et al., 2011. Prostory v důlním díle jsou využívány jako přírodní laboratoř, jsou zde prováděna experimentální měření různého charakteru, např. Telesca et al., 2011, Lyubushin et al., 2014, Kaláb a Lednická, 2016).

Obecně lze uvést, že zvětrávací procesy a jejich vliv na stabilitu důlních děl nelze kvantifikovat, vliv těchto procesů je vždy negativní z pohledu posuzování stability důlních děl (např. Canuti et al., 2004, Vahed et al., 2009). Stáří důlních prostor v Dole Jeroným je odhadováno na cca 500 let, přesnější datování není možno stanovit, neboť požár v Krásně v roce 1772 zničil veškerou písemnou dokumentaci. Zvětrávací procesy v horninovém masivu, který přiléhá k vydobytým prostorům, jsou funkcí času a budou v čase i nadále probíhat. Důkazem těchto zvětrávacích procesů jsou opady horniny ze stropů a boků důlních děl. V rámci geomechanického hodnocení jsou v důlních prostorech posuzovány jednotlivé tektonické prvky horninového masivu, zvláště predisponované plochy oslabení masívu. Na těchto plochách dochází k vyčerpání pevnosti a únosnosti horninového materiálu. V literatuře je jako příklad tohoto procesu uváděn zával dědičné štolý Jeroným nebo k povrchu směřující zaboření stropu komor K3 a K4 (Kukutsch et al., 2011).

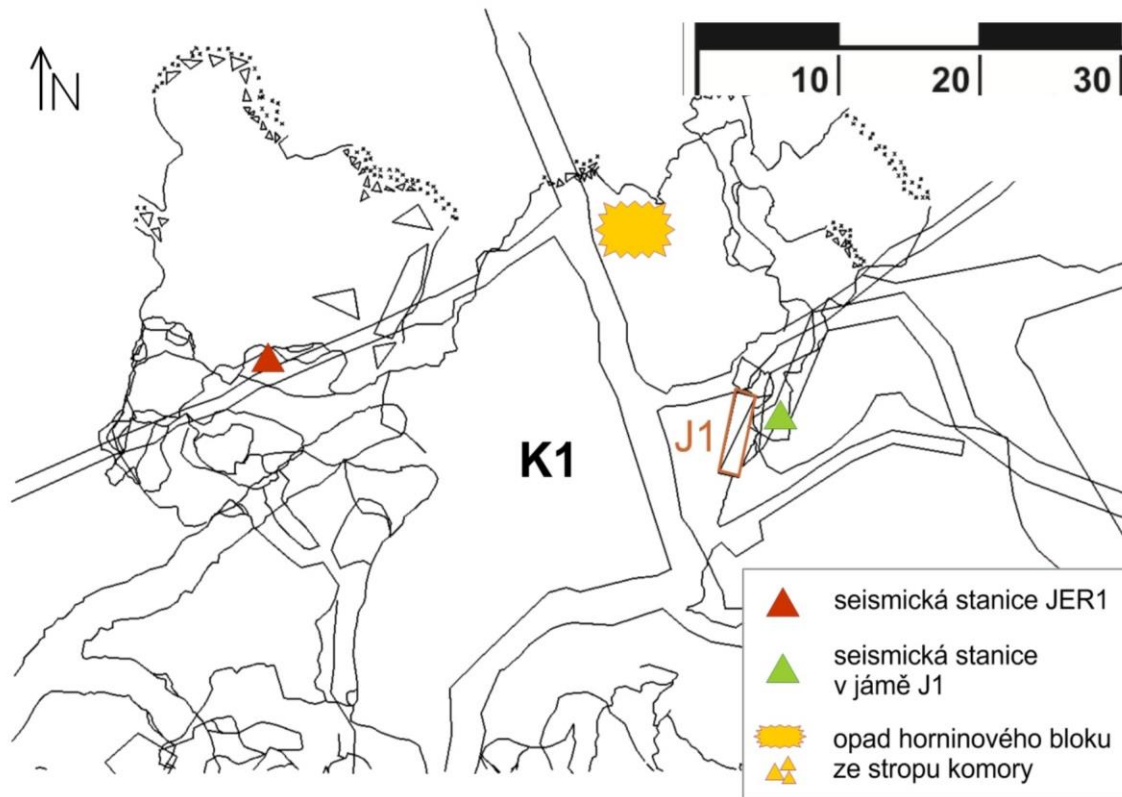
Dřívější studie (Lednická a Kaláb, 2012a, 2013b) byly zaměřeny na zkoumání vlivu použité těžební metody na praskání horninového masívu v narušené zóně a následně na procesy zvětrávání probíhající v těchto zónách, možnost aplikace vybraných nedestruktivních zkušebních metod (měření rychlosti ultrazvukového impulzu a hodnoty odrazu Schmidtova kladiva) ve specifických podmínkách podzemních prostor a studie zvětrávání horninového masívu na vybraných místech s cílem získat doplňující informace pro posouzení stability a pro následnou rekonstrukci a stabilizaci. Impulsem pro tyto studie v Dole Jeroným jsou dobře detekovatelné opady hornin ze stropů i stěn, a to v částech, které nejsou přístupné veřejnosti. Aktuálně poslední opad byl zaznamenán v roce 2019 (Kaláb et al., 2019) a komplexní studie tohoto jevu je náplní tohoto článku.

2. Experimentální měření zvětrávání v Dole Jeroným

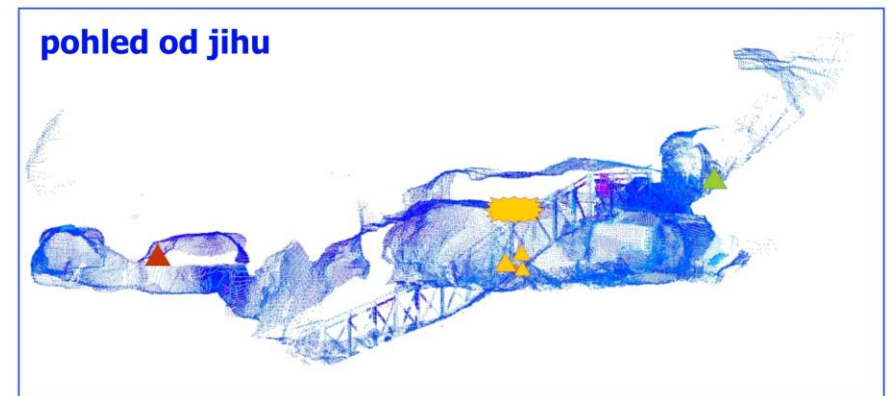
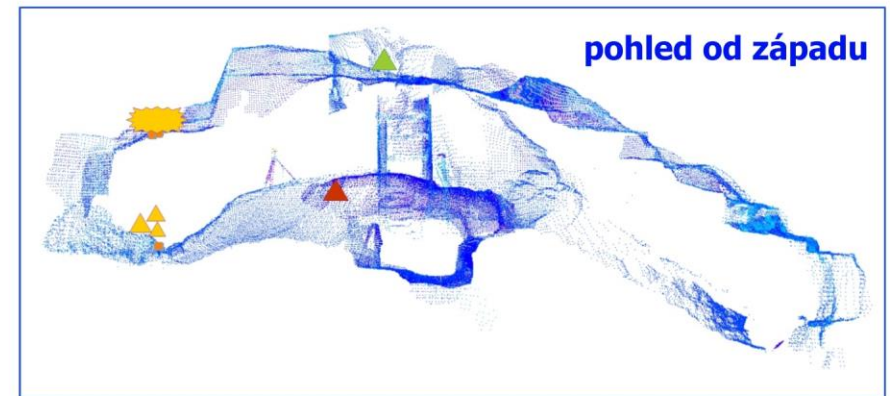
Cílem prvních měření pro stanovení stupně zvětrání v Dole Jeroným bylo stanovení velikosti odrazu Schmidtova nárazového kladívka a hledání případné závislosti této hodnoty na stupni zvětrání horniny (v daném případě zvětrávání alterovaného granitu). Naměřené hodnoty odrazu nebyly přepočítávány na tlakovou pevnost, mimo jiné proto, že přepočet udaný výrobcem platí pro betony, ne pro horniny. Z důvodu vzájemného porovnávání hodnot odrazu byly pro měření vybrány vždy svislé plochy, čímž odpadla nutnost zavádět korekce na polohu kladívka. Velikost měřených ploch se pohybovala od 15 x 15 do 30 x 30 cm. Každé měření probíhalo ve 30-ti bodech víceméně

rovnoměrně rozmístěných po dané ploše. Na každém měřeném bodě bylo provedeno jedno měření. Plochy byly vybrány na základě vizuálního posouzení tak, aby horninový masiv vykazoval v celé měřené ploše stejný stupeň zvětrání. Stupeň zvětrání byl určen vizuálně podle klasifikace, kterou uvádí Hencher and Martin (in Vahed et al., 2009). Tato klasifikace stanovuje šest stupňů zvětrání granitů a dalších vulkanických hornin: I – zdravá hornina, II – slabě zvětralá hornina, III – středně zvětralá hornina, IV – silně zvětralá hornina, V – zcela zvětralá hornina a VI – rozložená hornina. Vizuální hodnocení vychází z barevných změn na povrchu horniny, stupně rozložení živců, nasákavosti, oddělitelnosti zrn horniny apod.

Nejvyšší hodnoty odrazu okolo 50 jednotek byly naměřeny na slabě zvětralých plochách masivu, na plochách zcela zvětralých nebyla hodnota odrazu naměřena vůbec. Je tedy zřejmé, že hodnota odrazu klesá se vzrůstajícím stupněm zvětrání. Přechod mezi jednotlivými



Obr. 1a Znáznornění místa opadu ze stropu v komoře K1; ohraničení komory K1, vyznačena fárací jáma J1 vedoucí z povrchu, rozmístění seismických stanic (zelený a červený trojúhelník) a místo opadu; měřítko v metrech



Obr. 1b Znáznornění místa opadu ze stropu v komoře K1 v 3D geodetickém zaměření komory

stupni zvětrání není ostrý a naměřená data se vzájemně částečně překrývají. Toto je mj. důsledek nehomogenity masivu, jeho stavu zvětrání a též pozvolným přechodem stupňů zvětrání (podle Lednická a Kaláb, 2012a, 2012b).

Rychlost šíření ultrazvukových vln je závislá na řadě parametrů hornin, jako je objemová hmotnost, pórovitost, vlhkost, modul pružnosti apod. Během zvětrávání dochází ke změně těchto parametrů, a proto se mění také rychlost šíření ultrazvukových vln. V terénních podmínkách důlního díla nelze provádět přesná ultrazvuková měření (přímé uspořádání sond), geometrie důlních děl umožňuje pouze použití nepřímého měření na plochách stěn a stropů důlních děl. Jen ojediněle je možné použít přímé měření na pilířích do mocnosti cca 1,0 m. Cílem našeho měření nebylo stanovit přesné hodnoty rychlosti šíření, ale ověřit možnost využití tohoto měření pro rozlišení různých stupňů zvětrání povrchových vrstev horninového masivu v důlním díle.



Obr. 2 Situace stropní části v komoře K1, v níž došlo k opadu horninového bloku, s naznačením rozměru opadu v metrech (foto: Lednická)



Obr. 3 Fotografie znázorňující situaci před (vlevo) a po vzniku opadu horniny (vpravo), jsou zřetelně vidět odlučné plochy, podél nichž se horninový blok uvolnil (foto: Lednická)

Vypočtené hodnoty rychlosti šíření ultrazvukových vln získané z nepřímých měření na plochách s různým stupněm zvětrání (V – III) se pohybují v rozmezí 2500–4500 m.s⁻¹. S narůstáním stupně zvětrání se snižuje rychlost šíření a přechod mezi jednotlivými stupni zvětrání není ostrý (podle Lednická a Kaláb, 2012a, 2012b).

3. Opad horninového bloku ze stropu v komoře K1

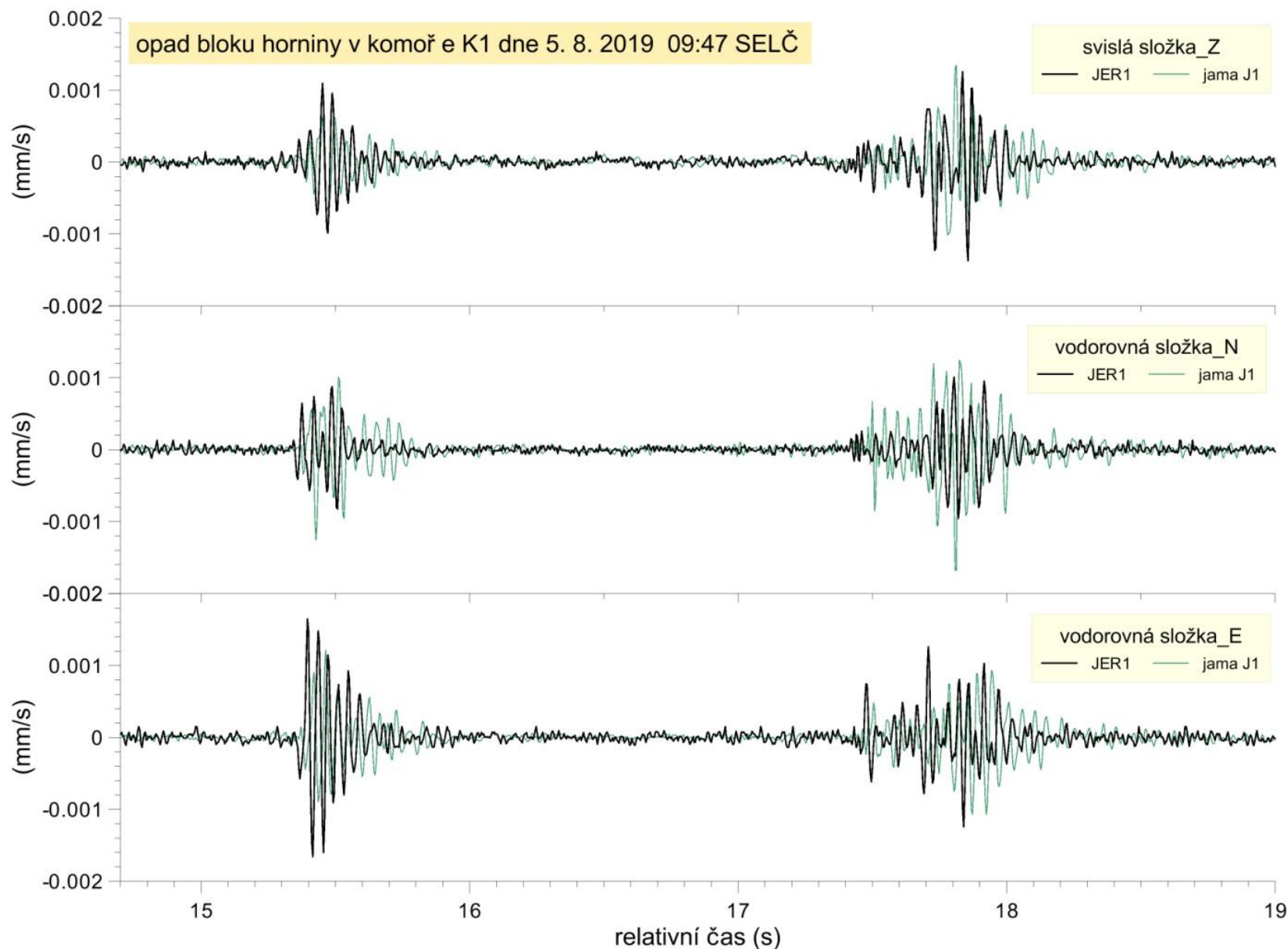
V srpnu 2019 byl zaznamenán velmi významný opad horninového bloku ze stropu v komoře. Tato komora je součástí komplexu Opuštěných důlních děl Dolu Jeroným, strop komory se nachází v hloubce cca 30 m pod povrchem. Místo opadu je znázorněno na obr. 1. Ve schematickém zobrazení důlních děl (průmět důlních prostor do vodorovné roviny)) na obrázku 1a jsou v kontuře komory K1 znázorněny fárové jámy J1 vedoucí z povrchu, rozmístění seismických stanic (zelený a červený trojúhelník) a místo opadu. Obrázek 1b ukazuje místo opadu při pohledu od západu a jihu v 3D geodetickém zaměření komory (mračno bodů z laserového skenování).

Situace stropní části v komoře K1, v níž došlo k opadu horninového bloku s označením rozměru opadu, je na obr. 2. Je vidět, že jde o uvolnění horniny podél odlučné plochy. To lze identifikovat i z obr. 3, na němž je situace před a po vzniku opadu. Na dvojicích fotografií jsou vidět odlučné plochy, podél nichž se horninový blok uvolnil. Fotografie na obr. 4 ukazují místo dopadu uvolněných bloků horniny (opět před a po opadu). Tato „pasportizace“ diskutované situace byla možná díky podrobné fotografické dokumentaci, která byla provedena při rekonstrukci distribuovaného měřicího systému v roce 2017 (fotografie pořídila Lednická). Mechanismus vlastního opadu nelze podrobně popsat. Ze seismického monitoringu (opad menších a malých bloků horniny by nebyl zaznamenán) lze odvodit, že k hlavnímu uvolnění horniny došlo 5. srpna 2019 v 9:47 SEČ, odhad hmotnosti odlomeného horninového bloku je v rozmezí 300 - 400 kg. Vibrace vyvolané dopadem bloku horniny na dno jsou zaznamenány na obou stanicích v důlním díle (obr. 5). Seismometry stanice JER1 (tři jednosložkové seismometry SM-3 s rozsahem seismického kanálu 0,5 – 60 Hz v geografickém uspořádání) jsou umístěny na betonovém pilíři, který se nachází ve vzdálenosti cca 25 m od místa dopadu horniny. Druhá stanice má seismometr Le3D-1s (třísložkový seismometr



Obr. 4 Místo dopadu uvolněných bloků horniny, vlevo situace před opadem, vpravo po opadu horniny ze stropu (foto: Lednická)

s rozsahem 1 – 80 Hz v geografickém uspořádání) je uložen na rostlé hornině poblíž fárové jámy Jeroným ve vzdálenosti cca 10 m. Ze záznamu je patrné, že postupně odpadly dva větší kusy horniny s časovým rozestupem cca 2 s.



Obr. 5 Záznamy dopadu horninových bloků na dno komory po opadu ze stropu

4. Diskuze a závěr

Nedílnou součástí historicko-montánních studií je i posuzování stability důlního díla jako celku a nalezení kritických míst, a to z pohledu případné ztráty stability nebo z pohledu bezpečnosti pohybu osob v důlním díle. Pro stanovení zvětrání horninového masivu v historických částech důlních děl jsou používány nedestruktivní metody zkoumání, aby měřením nedocházelo k poškozování památky. Při terénních měřeních v Dole Jeroným byly vyzkoušeny dvě metody, měření hodnoty odrazu Schmidtova nárazového kladívka a měření rychlosti šíření ultrazvukových vln. Výsledky provedených měření na vybraných plochách horninového masivu v důlním díle ukazují závislost rychlosti průchodu ultrazvukových vln a odrazu Schmidtova nárazového kladívka na stanoveném stupni zvětrání horniny, přičemž hodnoty rychlosti a hodnoty odrazu klesají se vzrůstajícím stupněm zvětrání. Zatímco měření Schmidtovým kladívkem podává informaci o stavu masivu pouze v povrchové vrstvě, ultrazvukové měření při daném uspořádání sond může poskytnout informaci také o stavu masivu v dané hloubce pod povrchem.

V roce 2019 došlo k většímu opadu horninového bloku ze stropu v severní části komory K1. Tato komora je součástí komplexu Opuštěných důlních děl, který není přístupný veřejnosti. Šlo o blok, jehož celková hmotnost byla odhadnuta na 300–400 kg. Vibrační projev dopadu bloku na dno komory byl zaznamenán na obou seizmických stanicích umístěných v komoře K1, což umožnilo přesné určení času vzniku opadu. Diskutovaný opad je s velkou pravděpodobností následek zvětrávacího procesu podél plochy odlučnosti, tedy je zcela nezávislý na činnosti v dole. Před vznikem opadu nebyl zaznamenán žádný významnější vibrační projev stavebních prací nebo silnějšího zemětřesení. V seizmických záznamech za celé monitorovací období lze nalézt ještě několik podobných projevů, které mohou také představovat záznam opadu většího horninového bloku (což ale v přístupných a kontrolovaných částech důlního díla nebylo shledáno). Jde tedy o vibrace, jejichž původ nelze dohledat. Přístupné části Dolu Jeroným lze po analýze všech poznatků pokládat za stabilní, pouze v některých kritických místech lze očekávat opad horniny, pro muzejní provoz bude nutné v některých kritických místech provést zajištění.

Poděkování

Príspevek je zpracován s podporou na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace RVO: 68145535.

References:

- 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.
- CANUTI, P., CASAGLI, N., FANTI, R., IOTTI, A., PECCHIONI, E., SANTO, A. P. Rock Weathering and Failure of the “Tomba della Sirena” in the Etruscan Necropolis of Sovana (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 2004, p. 323-330.
- 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.

- 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.
- KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M., KALÁB, T. *Seizmické zatížení Dolu Jeroným v Čisté v roce 2019 a sledování stability komory K1*. Výzkumná zpráva, Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava, 2019, 23 s., nepublikováno.
- 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.
- KUKUTSCH, R., ŽŮREK, P., KOŘÍNEK, R., DANĚK, T., HUDEČEK, V., MICHALČÍK, P., GRMELA, A. Monitoring geomechanické stability důlních prostor, léta 2001 – 2011. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, 2011, Vol. XVIII.1, s. 31-39.
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z.: Evaluation of Granite Weathering in the Jeroným Mine Using Non-Destructive Methods. *Acta Geodyn. Geomater.*, 2012a, Vol. 9, No. 2(166), s. 211-220.
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z. Mapování zvětrání hornin v historickém Dole Jeroným. *Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2012*, CD, 2012b, příspěvek T 04, 9 stran.
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z. Testování nedestruktivních metod měření zvětrání horninového masivu v Dole Jeroným. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, 2013a, Vol. XX.1, s. 66-77.
- 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.
- LYUBUSHIN, A.A., KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. Statistical Properties of Seismic Noise Measured in Underground Spaces During Seismic Swarm. *Acta Geod Geophys.* 2014, Vol. 49, Issue 2, s. 209-224. DOI 10.1007/s40328-014-0051-y.
- TOMÍČEK, R. Historické způsoby těžby rud – Důl Jeroným v Čisté. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, 2016, Vol. XXIII.1, s. 55-83.
- TELESCA, L., LOVALLO, M., KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. Fluctuation Analysis of the Time Dynamics of Laser Distance Data Measured in the Medieval Jeroným Mine (Czech Republic). *Physica A* (2011), doi: 10.1016/j.physa.2011.04.026, Elsevier, s. 3551-3557.
- VAHED, G., HUSAINI, O. AND BUJANG, K. H. A Study of the Weathering of the Seremban Granite. *EJGE, Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2009, Vol. 14, bundle D, p. 1-9.
- ŽŮREK, P. A KOŘÍNEK, R. Zpřístupnění středověkého Dolu Jeroným v České republice. *Acta Montanistica Slovaca*, 2003, roč. 8, č. 2-3, s. 96-100.

Autoři:

¹ prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, kalab@ugn.cas.cz

² Bc. Jiří Loskot - Muzeum Sokolov, příspěvková organizace Karlovarského kraje, loskot@muzeum-sokolov.cz