



DVACETILETÍ SEISMOLOGICKÉHO MONITORINGU V DOLE JERONÝM TWENTY YEARS OF SEISMOLOGICAL MONITORING IN THE JERONYM MINE

Kaláb Zdeněk¹, Rösnerová Markéta², Kaláb Tomáš³

Abstrakt

K otevření středověkého Dolu Jeroným pro veřejnost došlo v roce 2013. Jednou z aktivit doplňujících informace o stabilitě podzemních prostor dolu a stavu hornin je geomechanický monitoring, jehož nedílnou součástí je sledování seismického zatížení lokality. Článek shrnuje nejvýznamnější poznatky získané seismologickým monitoringem za uplynulé dvacetileté období. Zásadní část seismického zatížení tvoří přirozená zemětřesení vznikající v nedaleké zdrojové oblasti v západních Čechách a německém Vogtlandu. Nejvýznamnější projev v kategorii vibrací vyvolaných lidskou činností mají vibrace vyvolané trhacími pracemi v okolních lomech, velmi početný je projev průjezdu nákladní dopravy po komunikaci vedoucí nad důlním dílem. Nově sledovanou kategorií jsou lokální jevy, část těchto záznamů byla vyvolána opady horninových bloků v důlních prostorách.

Abstract

The medieval Jeroným Mine was opened to the public in 2013. One of the activities supplementing the information on the stability of the underground spaces and the condition of rocks is geomechanical monitoring; an integral part of which is monitoring the seismic load of the site. The paper summarizes the most important findings obtained by seismological monitoring over the past twenty years. A major part of this load is natural earthquakes occurring in the nearby source area in Western Bohemia and German Vogtland. The most significant manifestation in the category of man-made vibrations has vibrations caused by blasting works in the surrounding quarries; the manifestation of the passage of heavy traffic on the road situated above the mining part is very numerous. Local events are the newly monitored category; some of these records were caused by the fall of a rock block from the ceiling in the mine.

Klíčová slova

Kontinuální seismologický monitoring, zemětřesení, vibrace vyvolané lidskou činností, opady hornin, Důl Jeroným

Keywords

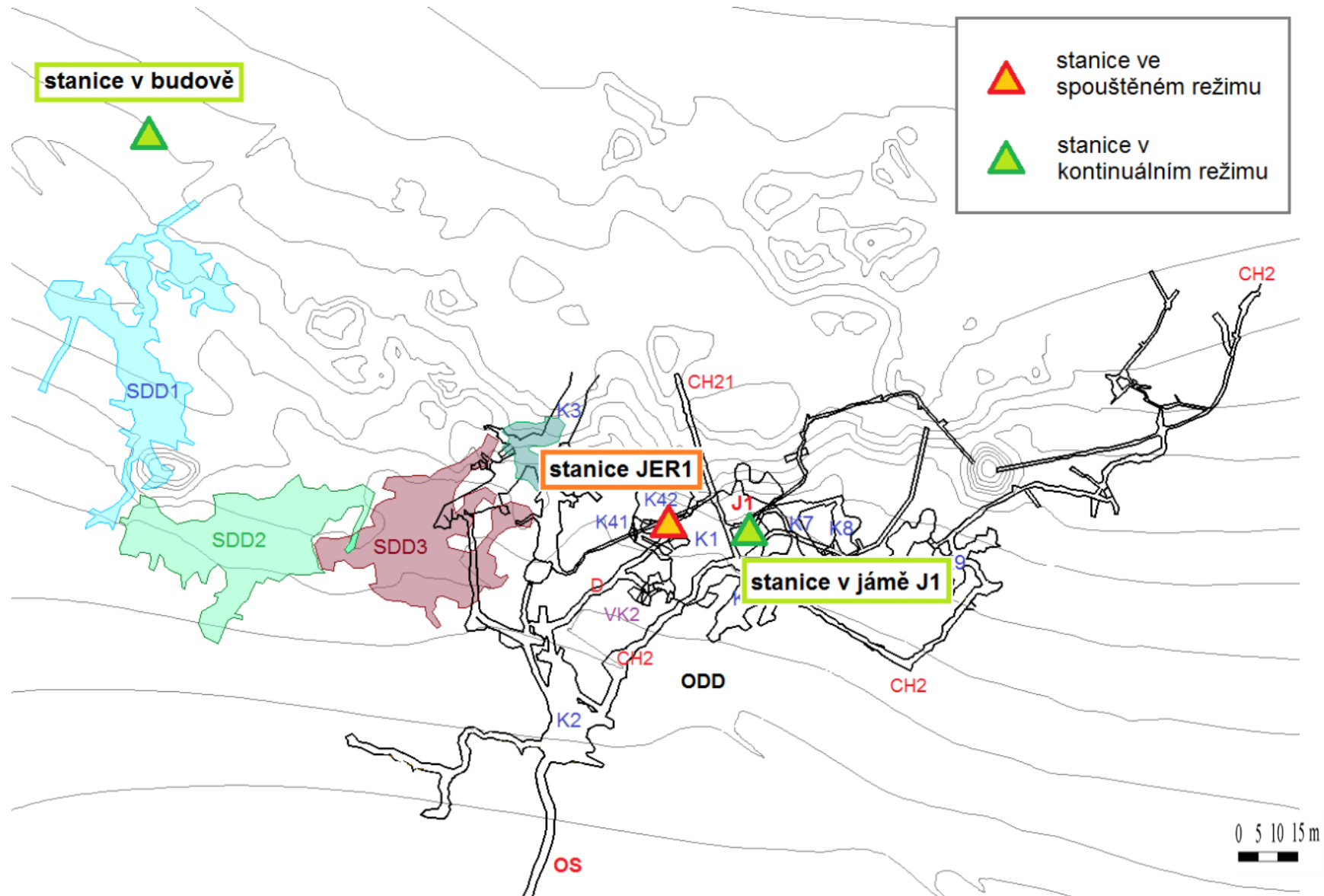
Permanent seismological monitoring, earthquake, man-made vibration, rock fall, Jeroným Mine

1. Úvod

Tradice podpovrchové těžby surovin v České republice je jednou z nejstarších v Evropě. V ČR je přes 800 rudních ložisek a přibližně stejný počet známých výskytů rudných nerostů. Historický vývoj většiny českých těžebních revírů je podobný vývoji ostatních středoevropských a západoevropských revírů (podle Bufka et al., 2005). Ve středověku a novověku se v českých zemích (Čechy, Morava, Slezsko) těžily převážně stříbrné rudy (Jihlava, Kutná Hora, Jáchymov, Rudolfov, Příbram, Ratibořské Hory), dále cín (Krupka, Cínovec, Horní Slavkov) a těžilo se zlato (Jílové u Prahy, Nový Knín, Kašperské Hory, Zlaté Hory). Nemovitá kulturní památka Důl Jeroným je unikátním svědkem hornické kultury a dovednosti našich předchůdců. Cínový důl Jeroným u zaniklé obce Čistá (u Sokolova) eviduje báňský úřad již v roce 1548. Historii dolu nalezneme v řadě publikací, např. Beran et al., 1996, Kaláb et al., 2006 a Žůrek et al., 2008. Zajišťovací stavební práce v dole, které byly zahájeny v roce 1996, vedly k otevření památky pro veřejnost v roce 2013. Jednou z aktivit doplňujících informace o stavu podzemních prostor dolu je geomechanický monitoring v části nazvané Opuštěná důlní díla (ODD). Monitoring byl zpočátku realizován pouze kvartálním vizuálním sledováním, od roku 2006 také pomocí distribuovaného monitorovacího systému implementovanému do počítače seismické stanice. V systému bylo testováno cca 10 různých typů senzorů na 25 sledovaných místech. Popis distribuovaného monitorovacího systému a získané výsledky jsou publikovány v odborných časopisech (např. Kaláb et al., 2008; Knejzlík, Rambouský, 2008; Telesca et al., 2011; Kaláb et al., 2015; Kaláb, Lednická, 2016; Lednická, Kaláb, 2016a).

První experimentální seismologická měření jsme v Dole Jeroným realizovali v roce 2001, přičemž úkolem bylo získat informaci o velikosti amplitud rychlosti kmitání vyvolaných průjezdem nákladních vozů po komunikace vedoucí přímo nad podzemními prostory. Výsledek tohoto měření a blízkost zdrojové oblasti přirozených zemětřesení v západních Čechách a německém Vogtlandu vyústily ve vybudování seismického stanoviště. Stanice je označena JER1, je použit spouštěný monitoring pomocí seismické aparatury PCM3-EPC3, jejíž senzory SM-3 jsou umístěny na seismickém pilíři v komoře K1 v části ODD. Ke stanovení projevů přirozené seismické aktivity ze západočeské oblasti byl následně zřízen kontinuální monitoring aparaturou BRS32 se senzorem Le3D-lite, která je umístěna u paty fárovací jámy J1 v komoře K1 v části ODD, a kontinuální monitoring aparaturou BRS32 se senzorem Le3D-lite, která je umístěna v budově u vstupu do části SDD. Rozmístění těchto seismických stanic na lokalitě Dolu Jeroným a známý rozsah podzemních děl je představen v mapce na obr. 1.

Článek shrnuje nejvýznamnější poznatky získané seismologickým monitoringem za uplynulé dvacetileté období. Tento článek volně navazuje na informace, které byly publikovány v roce 2015 (Kaláb et al., 2015), v článku jsou použity originály obrázků 3-6, proto není možné udělat jejich plné formátování/úpravy.



Obr. 1 Rozmístění části Stará důlní díla (SDDx) a Opuštěná důlní díla (ODD) s pojmenováním komor (K1-4) a chodeb (CH) na lokalitě Dolu Jeroným. Také jsou zakreslena stanoviště seismických stanic (viz text)

2. Seismologický monitoring v Dole Jeroným

Přestože první seismologická měření byla provedena v roce 2001 za účelem posouzení projevu lidskou činností vyvolaných vibrací v důlním díle, zásadní vibrace jsou detekovány z nedaleké zdrojové oblasti v západních Čechách a německém Vogtlandu. Oblast přirozených zemětřesení se nachází ve vzdálenosti přibližně 25 km západním směrem vůči dolu Jeroným. Mladé tektonické pohyby doprovázené vulkanickou činností ovlivnily geologickou stavbu tohoto regionu již během terciéru. I v současné době jsou v západních Čechách detekována slabá zemětřesení, nejsilnější z nich jsou pocíťována lidmi, kteří zde žijí, nebo mohou poškodit budovy. První známé zemětřesení je dokumentováno z roku 1198. Zemětřesení se zde zpravidla shlukují do tzv. rojů. Seismické roje v západočeské oblasti jsou pozorovány od 16. století, první zpráva o zemětřeseném roji pochází z roku 1552. Spolehlivější údaje o seismicitě západních Čech jsou k dispozici za posledních 200 let (Kolektiv autorů, 2000).



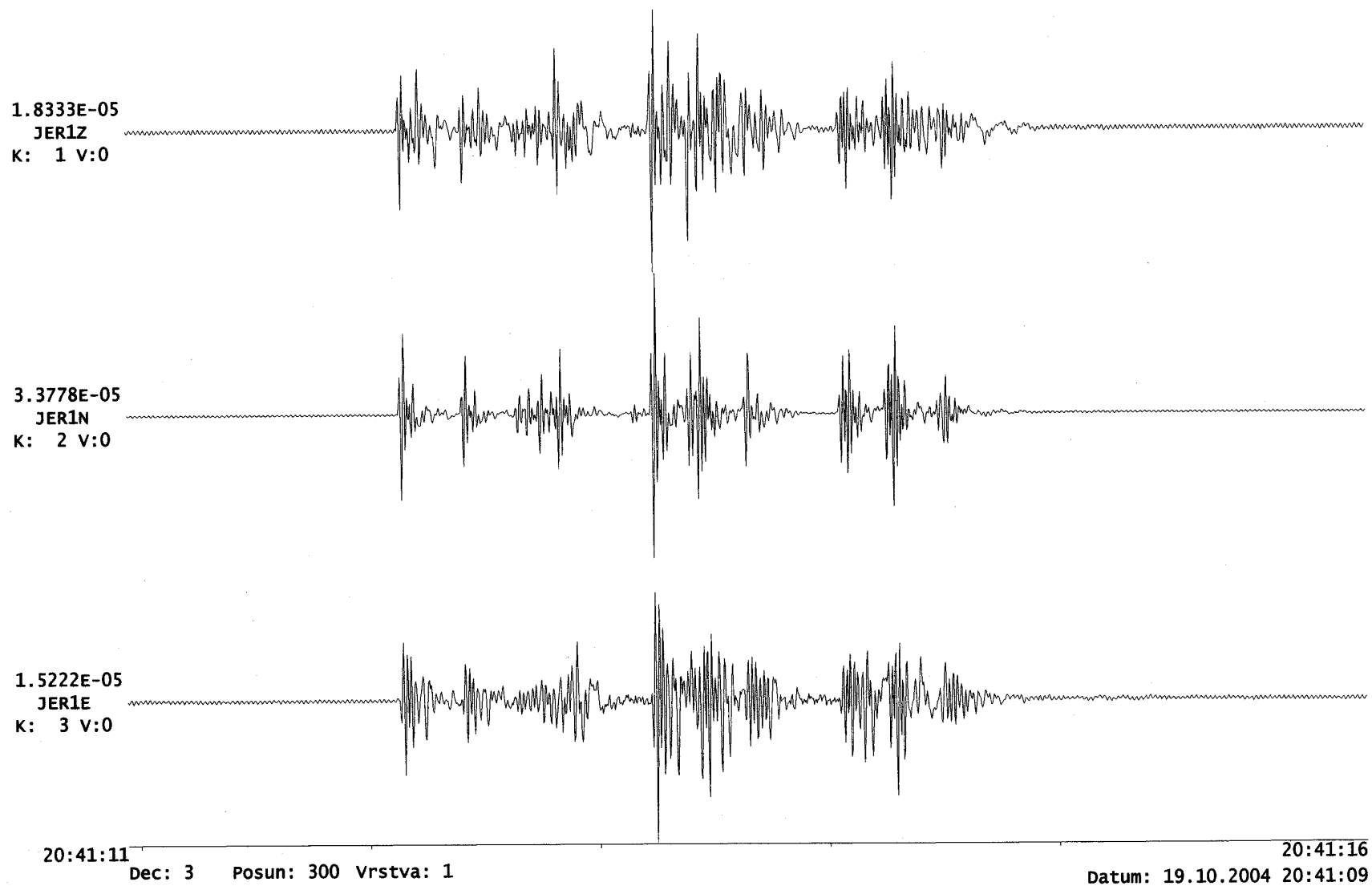
Obr. 2 Seismometry SM3 a registrační aparatura PCM3-EPC se záložní baterií ve vodotěsné skříni (foto: Lednická)

První krátkodobé měření v Dole Jeroným bylo provedeno 10. a 11. 7. 2001 aparaturami PCM3-PC se senzory Lennartz Le3D (3 stanoviště na různých hloubkových úrovních). Seismický neklid v důlním díle dosahoval hodnot $5 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ na horizontálních složkách a $2 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ na složkách vertikálních. Nízké hodnoty seismického neklidu (běžná hodnota řádu 10^{-7} m.s^{-1}) nás utvrdily v názoru, že lze použít seismickou aparaturu se spouštěným režimem záznamu. Pro trvalé měření byla vyvinuta aparatura PCM3-EPC na bázi jednodeskového počítače (Knejzlík, Kaláb, 2002). Vibrace jsou snímány upravenými seismometry SM3 v geografickém uspořádání (Z, N-S, E-W), které jsou umístěny v důlním díle v hloubce cca 35 m pod povrchem (Obr. 2). Registrační aparatura je doplněna modemem pro GSM připojení (Siemens TC35 Terminal) a záložním akumulátorem 12 V, který je automaticky dobíjen ze sítě 220 V. Časová základna je synchronizována signály vysílače DCF 77,5 kHz. Dohled nad funkcí, nastavování parametrů registrace a přenos zaznamenaných dat jsou prováděny prostřednictvím vzdáleného přístupu (software pcAnywhere 5.0) do registračního počítače.

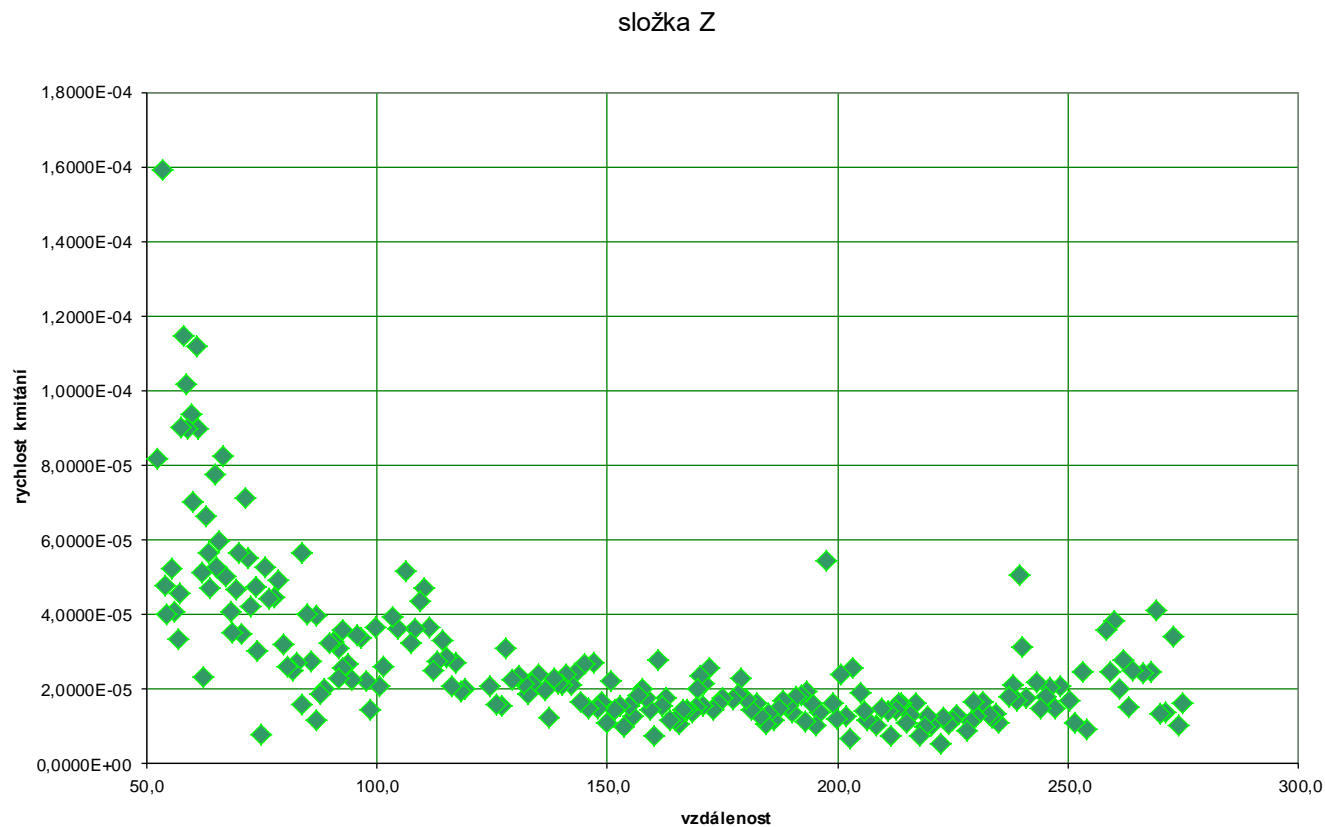
3. Monitoring trhacích prací realizovaných při rekonstrukci dědičné štoly

Rekonstrukční práce v dole a stavby povrchových objektů při přípravě zpřístupnění historických důlních děl pro veřejnost zvyšují seismické zatížení dochovaných památek. Proto je nutné provádět veškeré zásahy co nejšetrněji. Hlavním cílem při zahájení trvalého seismologického monitoringu bylo právě posouzení seismického zatížení díla pracemi spojenými s úpravou historické památky. Byly to především trhací práce (roky 2004 – 2006), které byly součástí technologického postupu při ražbě inovované dědičné štoly; příklad záznamu trhací práce realizované při rekonstrukci dědičné štoly je na obr. 3 (celkem 9 časových stupňů s různými náložemi v jednotlivých časech). Vlnové obrazy trhacích prací prováděných při obnově dědičné štoly jsou jednoznačně rozeznatelné od ostatních registrovaných vibrací a seismických jevů. Vzhledem k malé vzdálenosti mezi místem odstřelu trhavin a seismometry (50 – 300 m) jsou na záznamech dobře patrné jednotlivé časové stupně. Aby byl vliv seismických účinků snížen na minimum, časové prodlevy mezi jednotlivými stupni byly voleny tak, aby projevy z předchozího stupně byly utlumeny.

Aktuální maximální měřené hodnoty byly pravidelně konfrontovány se smluvní hodnotou; při jejím překročení byl projekt trhacích prací upravován. Maximální hodnoty svislé složky rychlosti kmitání vyvolané trhacími pracemi v závislosti na vzdálenosti jsou vyneseny v grafu na obr. 4. Data (230 hodnot) lze charakterizovat mocninnou závislostí s koeficientem spolehlivosti $R^2=0,51$ (Kaláb, Lednická, 2006). Nepřetržitý monitoring seismického zatížení důlního díla Jeroným a dobrá komunikace s realizátory rekonstrukce štoly způsobily, že dílo nebylo po dobu výstavby vystaveno většímu seismickému zatížení ve srovnání s dosavadním zatížením (dříve byla po komunikaci nad důlním dílem povolena i těžká doprava, což mělo za následek vyvolávání i významnějších vibrací). Po ukončení obnovy dědičné štoly Jeroným došlo k významnému snížení „běžného“ seismického neklidu v důlním díle. Proto byla upravena úroveň spouštění záznamů seismických jevů.



Obr. 3 Záznam TP provedené při rekonstrukci dědičné štoly (amplitudy rychlosti kmitání v $m.s^{-1}$)

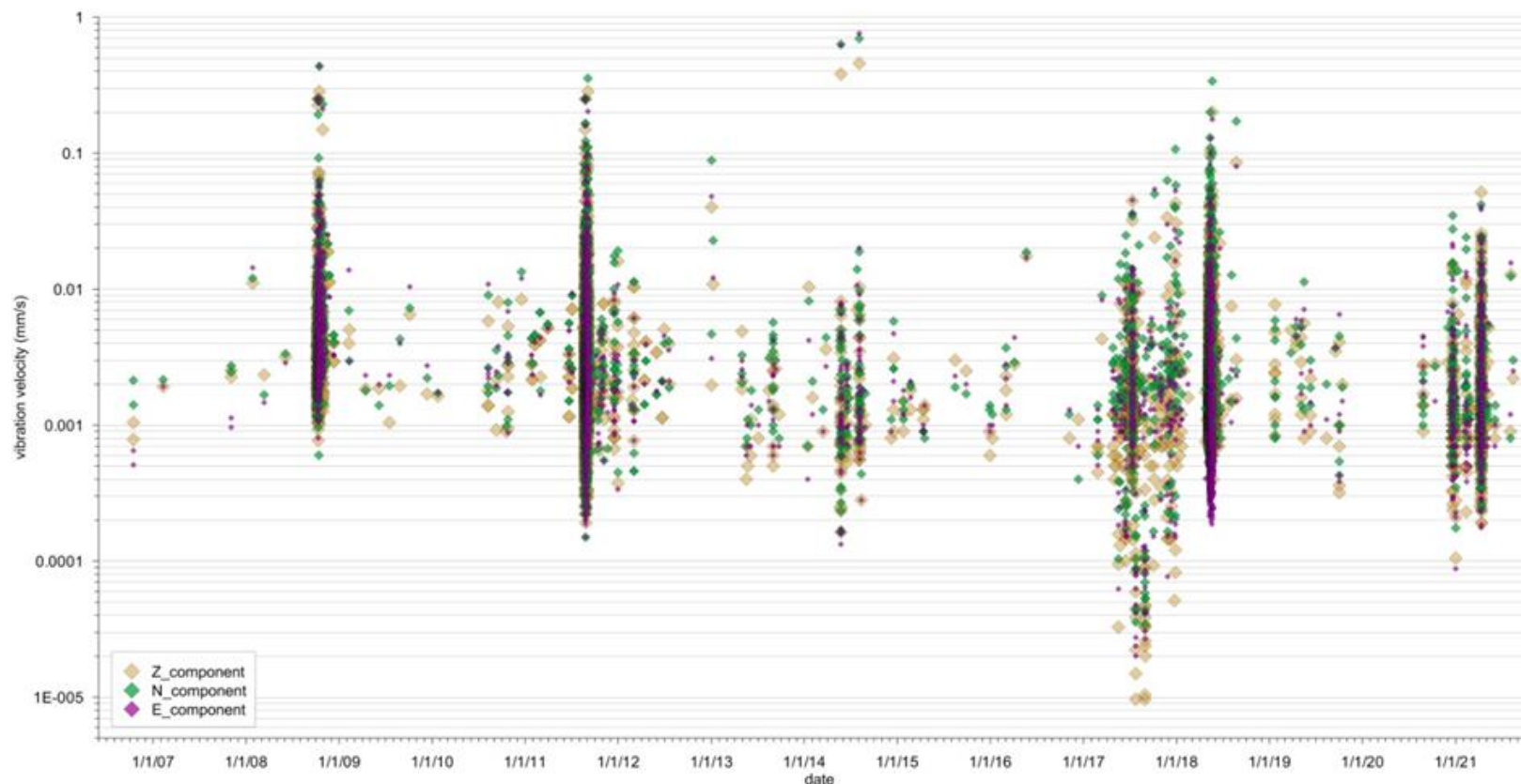


Obr. 4 Maximální hodnoty svislé složky rychlosti kmitání v $m.s^{-1}$ v závislosti na vzdálenosti v m (Kaláb, Lednická, 2006)

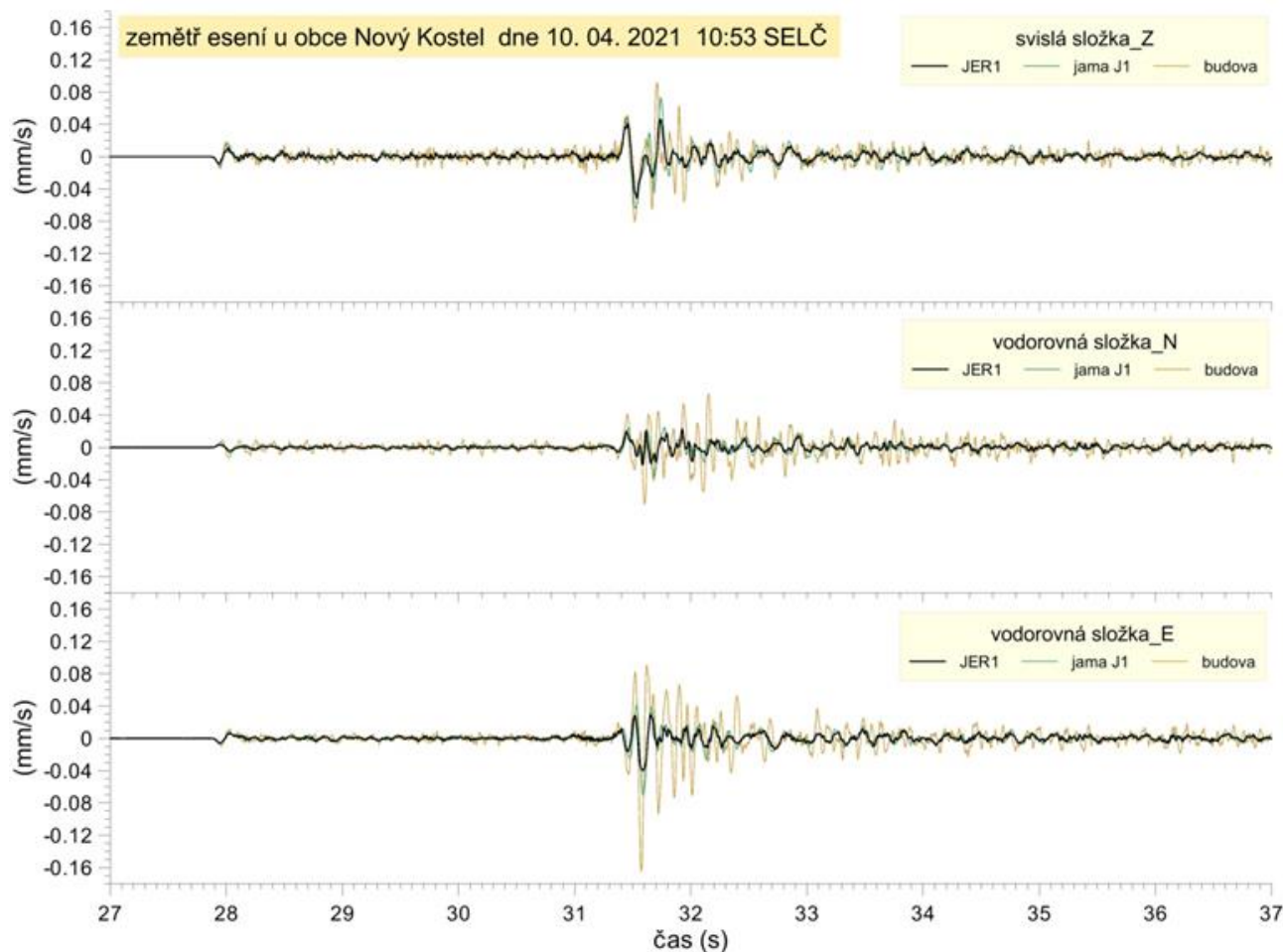
4. Monitoring blízkých zemětřesení

Jak již bylo uvedeno, zásadní vibrace jsou v Dole Jeroným detekovány z nedaleké zdrojové oblasti v západních Čechách a německém Vogtlandu (např. Kaláb, 2003; Kaláb, 2011; Kaláb, Lednická, 2011; Lednická, Kaláb 2013; Lyubushin et al., 2014). Výzkum zemětřesných rojů z této oblasti umožňuje seismická monitorovací síť WEBNET, kterou provozuje Geofyzikální ústav AVČR Praha (např. <https://www.ig.cas.cz/vyzkum-a-vyuka/observatore/lokalni-seismicka-sit-webnet/zemetresne-roje-v-zapadnich-cechach-po-roce-2000/>). Naměřené složkové hodnoty rychlosti kmitání zaznamenané na stanici JER1 v období 1/2007 – 11/2021 jsou přehledně vyneseny na obr. 5. Z grafu je zřejmé, že seismická aktivita v této oblasti má rojový charakter (seismická energie se uvolňuje nikoliv ve formě jednoho silného zemětřesení a případných dotřesů, ale sérií velkého množství - až několika tisíc - slabších jevů v průběhu několika dnů až měsíců).

V rámci výzkumného programu je aktuálně seismické zatížení lokality Dolu Jeroným sledováno třemi nezávislými systémy. Jde o seismickou stanicí JER1 (spouštěný záznam po překročení nastavené hodnoty rychlosti kmitání), která je umístěna na seismickém pilíři v prostoru u komory K1 v hloubce cca 35 m, stanici „jamaJ1“ (kontinuální záznam), která je umístěna v hloubce cca 25 m ve výklenku u fárové jámy a stanici „budova“ (kontinuální záznam) umístěné v recepci dolu. Cílem tohoto výzkumu je stanovit charakter záznamu těchto blízkých zemětřesení v závislosti na umístění stanice a hloubce stanice pod povrchem (Lednická, Kaláb, 2016b; Kaláb, Lyubushin, 2020). Příklad vlnového obrazu intenzivního zemětřesení z oblasti Nový Kostel (lokální magnitudo 3,1) je na obr. 6.



Obr. 5 Naměřené hodnoty rychlosti kmitání ($\text{v mm}\cdot\text{s}^{-1}$) západočeských zemětřesení zaznamenané na stanici JER1 v období 1/2007–11/2021



Obr. 6 Vlnový obraz zemětřesení z oblasti Nový Kostel z 10.4.2021, na vodorovné ose relativní čas, na svislých osách složková rychlost kmitání, komentář v textu

Jde o velmi krátké záznamy, jejichž přesný zdroj se často nedá ze záznamu vysledovat. Část těchto záznamů pravděpodobně vyvolaly opady horninových bloků v nepřístupných částech dolu.

V roce 2017 šlo o lokální jev, který byl zaregistrován jak na stanici v důlním díle, tak na stanici v budově. Nicméně z kvality záznamu nešlo blíže určit nic konkrétnějšího pro případnou analýzu zdroje těchto vibrací. V úvahu přicházela možnost, že jde o opad horniny v blíže neurčené části důlního díla. Další podobný jev lokálního charakteru byl zaregistrován v roce 2019. U tohoto jevu se

5. Vibrace vyvolané lidskou činností

V kapitole 3 jsou shrnuty poznatky získané z měření a interpretace trhací prací realizovaných při rekonstrukci dědičné štoly. V důlních prostorách se od té doby již trhací práce nepoužívaly. Vibrace vyvolané lidskou činností se pro účely posuzování seismického zatížení důlního díla rozdělují do následujících kategorií (podrobněji Kaláb et al., 2015):

- Vibrace vyvolané při odstřelu trhavin v nedalekých lomech (Krásno, Vítkov a jiné)
- Vibrace vyvolané automobilovou dopravou na cestě nad důlním dílem
- Vibrace vyvolané stavebními a průzkumnými pracemi
- Důlně indukované jevy z oblasti Lubinu
- Lokální jevy

Nejvýznamnější projev v kategorii vibrací vyvolaných lidskou činností mají vibrace vyvolané trhacími pracemi v okolních lomech, velmi početný je projev průjezdu nákladní dopravy nad důlním dílem. Procentuální četnost zastoupení jednotlivých kategorií v jednotlivých letech je velmi obdobná. Dříve „nesledovanou kategorií“ jsou lokální jevy.

podářilo objasnit jeho zdroj, neboť šlo o opad horninového bloku ze stropu v komoře K1, která je přístupná a je pravidelně sledována. Tento opad byl zaznamenán jak na stanici JER1, tak na stanici v jámě J1 a podrobně byl popsán v článku Kalába a Loskota (2020).

V roce 2021 byl 21. října opět zaznamenán vibrační projev odpovídající svým charakterem lokálnímu zdroji. Nicméně od předchozích dvou jevů se lišil maximální amplitudou, která je oproti předchozím téměř desetinásobná. Navíc má poměrně jasné nasazení na jednotlivých složkách, což umožňuje udělat polarizační analýzu a podívat se na směr příchodu p-vlny na stanici (pohyb částic ve směru šíření). Podíváme-li se na směr příchodu paprsku na stanici JER1, potom je to ze směru severovýchodního, záporný směr nasazení na složce Z odpovídá příchodu vlny z nadloží komory K1 či komory K42 (viz obr. 1). Tímto směrem jsou patrné závaly a neznámé pokračování komor.

Lokální opady hornin v takto porušeném masivu jsou nedílnou součástí probíhajících zvětrávacích procesů. Vzhledem k jejich ojedinělému výskytu (v navštěvovaných částech důlního díla je lze vyzorovat, v nepřístupných částech jsme odkázáni pouze na registraci jejich vibračního projevu) v současné době nelze provést podrobnější analýzu příčin a okolních podmínek jejich vzniku.

7. Závěr

Jedním z důvodů ochrany v Dole Jeroným jsou i unikátní památky na pracovní postupy želízkem a mlátkem do skalního masívu nebo použití metody sázení ohněm. Proto je vhodné uvažovat přísná kritéria pro vnější vlivy. Zmíněné památky jsou podrobeny především časovému faktoru (zvětrávací procesy), mohou tedy být velmi náchylné k poškození vibracemi. Při stanovení seismického zatížení lokality musíme vzít do úvahy všechny možné typy, tj. přirozenou lokální a vzdálenou seismicitu a seismicitu technickou (např. Kaláb, 2003). Nejbližší ohnisková oblast přirozených zemětřesení ke sledované oblasti lokality Dolu Jeroným v Čisté se nachází ve vzdálenosti přibližně 25 km západním směrem (Kraslicko). Podle mapy seismického ohrožení České republiky (příloha národního aplikačního dokumentu připravovaného Eurokódu 8) lze v zemětřesné západočeské oblasti očekávat zemětřesení s makroseismickou intenzitou 6° až $6,5^\circ$. Ve studované oblasti jsou dále detekována intenzivní evropská zemětřesení, která s ohledem na blízkost kraslické zdrojové oblasti, zřejmě významně nepřispívají k seismickému zatížení studované oblasti.

Pro historická důlní díla připouštíme třídu významu objektu I a třídu odolnosti objektu C. Pro dynamickou odezvu způsobenou technickou seismicitou, s výjimkou odezvy od trhacích prací, udává norma pro takto definovaný objekt mezní hodnotu rychlosti kmitání $1,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ (pro mezní stavy 1. skupiny). Odezvu od trhacích prací posoudíme následovně: Nepřipustíme-li žádná viditelná poškození (tj. stupeň poškození 0) a je-li důlní dílo v pevných horninách (norma uvádí výpočtovou únosnost nad $0,15 \text{ MPa}$), pak pro objekty třídy odolnosti C jsou stanoveny maximální přípustné rychlosti kmitání: $10 - 20 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ pro frekvenční rozsah otřesu do 10 Hz, $20 - 30 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ pro frekvenční rozsah otřesu 10 – 50 Hz a $30 - 50 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ pro frekvenční rozsah otřesu nad 50 Hz. Zařadíme-li historické důlní dílo mezi objekty ve zvláštní památkové péči (odolnostní třída A), pak tabulkové hodnoty maximální přípustné rychlosti kmitání se sníží až na $3 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Dlouhodobý seismologický monitoring umožňuje komplexní posouzení vlivu vibrací na středověkou památku – Důl Jeroným. Na základě prováděného monitoringu seismickými stanicemi v důlním díle a dočasnou seismickou stanicí na povrchu můžeme prohlásit, že

seismické zatížení lokality je definováno především seismickou aktivitou v oblasti západních Čech a Vogtlandu. Přehled seismické aktivity na obr. 5 ukazuje, že během sledovaného období nedošlo v důlním díle k překročení složkové amplitudy rychlosti kmitání $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Žádný záznam ať už přirozené seismicity či antropogenní seismicity nedosáhl hodnot, které by mohly způsobit narušení stability v důlních prostorách. Nelze však vyloučit, že nejintenzivnější vibrace mohly způsobit lokální opad porušené či zvětrané horniny.

Poděkování

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

Literatura

- BUFKA, A., PŘIBIL, M., VELEBIL, D., VANĚK, V. *Historical Subsurface Mining Works in the Czech Republic as Technical Monuments*. Tagungsband zum 8. Internationalen Bergbau-Workshop 2005, Most, <http://www.velebil.net/en/czech-mines/>
- BERAN, P., JANGL, L., MAJER, J., SUČEK, P., OTFRIED, W. *1000 let hornictví cínu ve Slavkovském lese*, 1. vyd. Okresní muzeum Sokolov, 1996, 195 s.
- KALÁB, Z. Posouzení seismického zatížení středověkého Dolu Jeroným v České republice. *Acta Montanistica Slovaca*, 2003, Vol. 8, No. 1, s. 36-41.
- KALÁB, Z.: Vibration Effects in the Medieval Jeroným Mine. *Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*, 2011, Vol.XI, No.2, paper #24, 8 s. DOI: 10.2478/v10160-011-0024-9
- KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. Interpretace seismických záznamů trhacích prací prováděných ve štole Jeroným v Čisté. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava)*, Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, s. 155-160.
- KALÁB Z., LEDNICKÁ M. Seismic Loading of Medieval Jeroným Mine During West Bohemia Swarm in 2008. *In Idziak, A.F., Dubiel, R. – editors: Geophysics in Mining and Environmental Protection. Ser. Geoplanet: Earth and Planetary Science*, 2011, Vol. 2, s. 21-30. © Springer-Verlag Berlin. DOI: 10.1007/978-3-642-19097-1
- KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. Long-Term Geomechanical Observation in the Jeroným Mine. *Acta Geophysica*, Vol. 64, No. 5, Oct. 2016, s. 1513-1524. DOI 10.1515/ACGEO-2016-0054
- KALÁB Z., LOSKOT J. Zvětrávací proces v historickém důlním díle: Příklad z Dolu Jeroným. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, 1, 2020, s. 32-39. DOI 10.26345/EGRSE-032-20-104
- KALÁB, Z., LYUBUSHIN, A., A. Power Spectra of Quarry Blasting Works Measured In Different Depths. *Acta Montanistica Slovaca*, 2020, Vol. 25 (3), s. 302-309. DOI: 10.46544/AMS.V25I3.4
- KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M., KNEJZLÍK, J., KALÁB, T.: Deset let geotechnických studií v Dole Jeroným. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, 1, 2015, s. 1-9.
- 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), s. 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), s. 137-146.
- KNEJZLÍK, J., KALÁB, Z. Seismic Recording Apparatus PCM3-EPC. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, 2002, M-24(340), s. 187-194.
- KNEJZLÍK, J., RAMBOUSKÝ, Z. Current Solution for Distributed Control and Measurement System in the Jeroným Mine – Modular System. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. Vol. 5, No. 2(150), 2008, s. 205-212.
- KOLEKTIV AUTORŮ: Monotematická čísla. *Studia geophysica et geodaetica*, Vol. 44/2 a 44/4, AS CR, Prague, 2000.
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z. Vibration Effect of Earthquakes in Abandoned Medieval Mine. *Acta Geod Geophys.* 2013, Vol. 48, Issue 3, s. 221-234.
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z. Determination of Granite Rock Massif Weathering and Cracking of Surface Layers in the Oldest Parts of Medieval Mine Depending on Used Mining Method. *Arch. Min. Sci.*, Vol. 61 (2016a), no. 2, s. 381-395. DOI 10.1515/amsc-2016-0028
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z.: Vibration effect of near earthquakes at different depths in a shallow medieval mine. *Acta Geophysica*, 2016b, Vol. 64, No. 6, s. 2244-2263. DOI: 10.1515/acgeo-2016-0085
- 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
- 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), Elsevier, s. 3551-3557. DOI 10.1016/j.physa.2011.04.026
- ŽIVOR, R., ZELENKA, J.: *Hornické památky České republiky*. Academia, 2019.
- 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.

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

³ Ing. Tomáš Kaláb – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, tomas.kalab@ugn.cas.cz