

MĚŘENÍ A ANALÝZA VIBRACÍ V DOLE JERONÝM

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF VIBRATIONS IN JERONÝM MINE

Zdeněk Kaláb¹, Markéta Lednická¹, Jaromír Knejzlík¹

Abstrakt

Tento příspěvek popisuje měření a analýzu vibrací v podzemních prostorách Dolu Jeroným během posledních tří let. Hlavními zdroji vibrací v tomto důlním díle jsou přirozená zemětřesení z oblasti západních Čech a technická seizmicita způsobená odstřely v blízkých lomech a provozem na komunikaci nad důlním dílem. V říjnu roku 2008 vzrostlo významně seizmické zatížení během intenzivního seizmického roje, který vznikl v oblasti okolo Nového Kostela. Na seizmické stanici JER1 v důlním díle bylo během tohoto seizmického roje zaznamenáno celkem 451 zemětřesení, a to v období od 6. října do 10. prosince. V roce 2010 byla patrná zvýšená seizmická aktivita v blízkém okolí Dolu Jeroným. V příspěvku je dále shrnuta analýza experimentálních měření účinků dopravy v důlním díle, převážně v historických prostorách situovaných v malých hloubkách pod komunikací.

Abstract

This contribution describes measurement and analysis of vibrations in underground spaces of Jeroným Mine during last three years. Earthquakes from West Bohemia and technical seismicity, especially quarry blasts from near quarries and vibrations generated by traffic, are main sources of vibrations in this mine. From October 2008, significant seismic loading occurred because of a very intensive seismic swarm that started in area of Nový Kostel. In sum 451 earthquakes from this area were recorded on seismic station named JER1 within 6 Oct. –10 Dec. 2008. Seismic activity in the vicinity of Jeroným Mine increased also in the year 2010. This paper also summarizes results of experimental measurement of vibrations generated by traffic. This measurement was performed especially in the historical parts of mine situated in the small depth under the road.

Klíčová slova

Důl Jeroným v Čisté, seismologický monitoring, seizmický roj, technická seizmicita

1 Úvod

Nedílnou součástí úvah o zpřístupnění středověkého Dolu Jeroným v oblasti Čistá (viz úvodní článek v tomto časopise), který je národní kulturní památkou, je návrh geotechnického a seismologického monitoringu. Základním účelem monitoringu je nejen získání informace o současném stavu horninového masívu, ale také kontrola a dohled nad stavebními pracemi v průběhu všech etap budování

a úprav přístupných důlních děl a technického zázemí. Úvodní studie k posouzení možného seizmického zatížení dané lokality, včetně úvah o předpokládaných projevech technické seismicity, byla publikována v roce 2003 (Kaláb, 2003).

Seizmická registrační aparatura, vývojový typ PCM3-EPC3 (Knejzlík a Kaláb, 2002), byla uvedena do provozu v červnu v roce 2004. Stanice pracuje jako soliterní, je použit spouštěný režim záznamů dat a data jsou dekódována do formátu ESTF/2. Na stanici je instalována trojice seismometrů SM3 v geografickém uspořádání, vzorkovací frekvence je nastavena na 250 Hz, frekvenční pásmo seizmického kanálu je 0,5 – 60 Hz a registrována je rychlost kmitání v dynamickém rozsahu 90 dB. Při konstrukci aparatury a vývoji programů byl kladen důraz na minimalizaci spotřeby napájecího proudu (z důvodu zajištění co nejdelšího provozu ze záložní baterie) a na zabezpečovací funkce, které umožní automatické obnovení provozu po přerušení napájení nebo výpadek řídicího programu. Pro komunikaci s počítačem, z něhož je registrační aparatura dálkově spravována prostřednictvím GSM sítě, slouží program pcAnywhere 5.0. Senzory jsou umístěny v důlním díle stejně jako registrační aparatura, která je proti vlhkosti kryta ve dvou vodotěsných skříních (např. Kaláb a Knejzlík, 2004, Knejzlík, 2006, Kaláb et al., 2008). Stanice byla označena JER1. Naměřené záznamy jsou vyhodnocovány pouze ve smyslu české technické normy ČSN 73 0040, tj. odečet maximálních složkových amplitud rychlosti kmitání a frekvenční obsah záznamu. Data nejsou používána pro stanovení lokací ohnisek a magnituda jevů, obojí je přebíráno z informací Geofyzikálního ústavu, v.v.i. Praha (www.ig.cas.cz).

Seizmické záznamy ze stanice JER1 jsou rozdělovány do následujících typů:

- Technická seismicity:
 - vibrace vyvolané při odstřelu trhavin – při rekonstrukci v důlním díle, součást těžební technologie v nedalekých lomech Krásno a Vítkov;
 - vibrace vyvolané automobilovou dopravou na cestě nad důlním dílem;
- Přírozená seismicity:
 - zemětřesení z oblasti západních Čech;
 - části vzdálených zemětřesení (spouštěcí kritérium a frekvenční rozsah seizmického kanálu neumožňuje registrovat celý vlnový obraz).

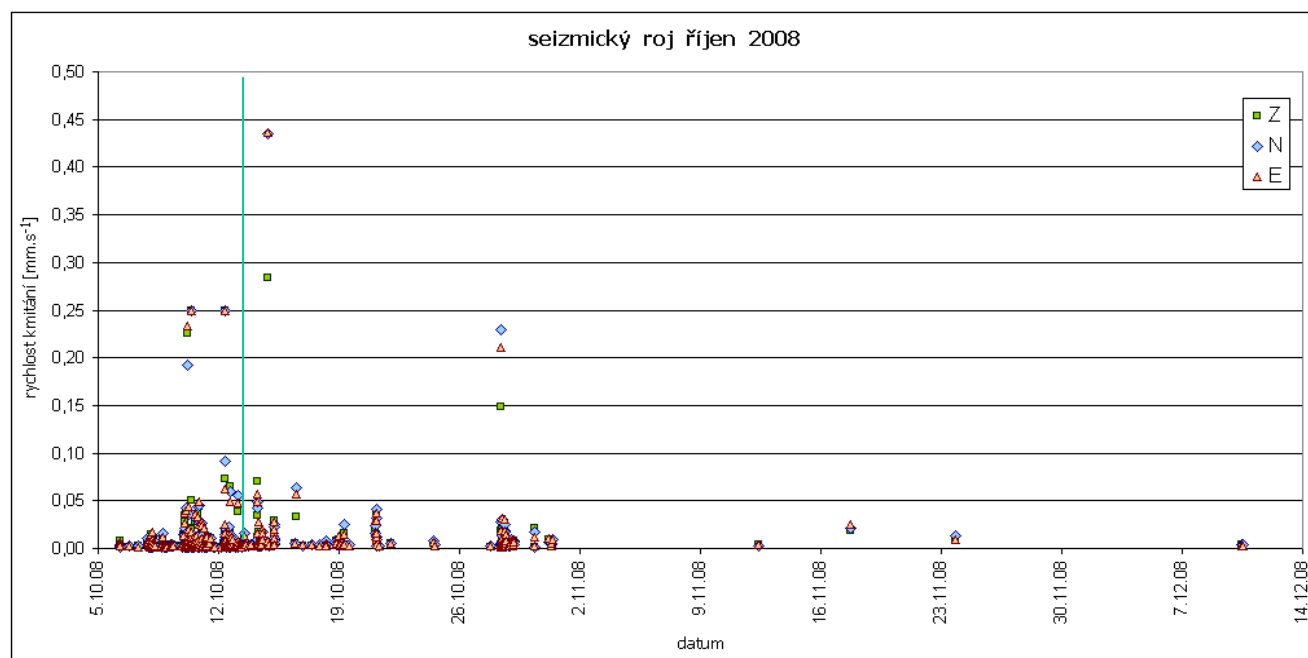
V tomto článku je popsáno seizmického zatížení podzemních prostor od roku 2008 do konce roku 2010.

2 Seizmická aktivita v západních Čechách v roce 2008

V roce 2008 bylo celkem realizováno stanicí JER1 ve spouštěném režimu 722 záznamů. Do 6. 10. 2008 můžeme seizmické zatížení posuzovat jako nízké. Situace se zcela změnila po vzniku seizmického roje s epicentry v blízkosti obce Nový Kostel, ohniska zemětřesení byla lokalizována v hloubce 7 – 12 km. Po vzniku zemětřesného roje významně vzrostl počet zaznamenaných seizmických jevů i seizmické zatížení důlního díla. Protože amplituda kmitání intenzivního zemětřesení z 10. 10. 2008 (magnitudo 3,7) přesáhla aktuální maximální rozsah seizmické aparatury (tj. $0,25 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$), byl rozsah aparatury následně zvýšen na $0,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejsilnější zemětřesení o lokálním magnitudu 3,8 vzniklo 12. 10. v 9:44 SEČ a bylo pocítno obyvateli i ve velké vzdálenosti od epicentra, např. na západě Prahy. Další

silnější zemětřesení o lokálním magnitudu 3,7 vzniklo 14. 10. v 21:01 SEČ a zemětřesení o lokálním magnitudu 3,6 bylo zaznamenáno 28. 10. v 9:30 SEČ. Kromě toho mohlo být v epicentrální oblasti pocíteno dalších několik desítek otřesů o lokálním magnitudu větším než 2,0. Zvýšená seizmická aktivita skončila 10. 12. 2008; (podle www.ig.cas.cz - aktuálně o seizmické aktivitě v západních Čechách).

Seizmicky neaktivnější oblast se nachází ve vzdálenosti přibližně 25 km severozápadním směrem od sledované oblasti lokality Dolu Jeroným v Čisté. Mladé tektonické pohyby doprovázené vulkanickou činností ovlivnily geologickou stavbu tohoto regionu již během terciéru. I v současné době jsou v západních Čechách a ve Vogtlandu (SRN) detekována slabší 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. Seizmické roje v západočeské oblasti jsou pozorovány od 16. století, první zpráva o zemětřeseném roji



Obr. 1 Časový sled všech zemětřesení ze seizmického roje u Nového Kostela v roce 2008 zaznamenaných na stanici JER1, na svislé ose jsou maximální složkové rychlosti kmitání; svislá zelená čára zobrazuje čas zvýšení rozsahu aparatury

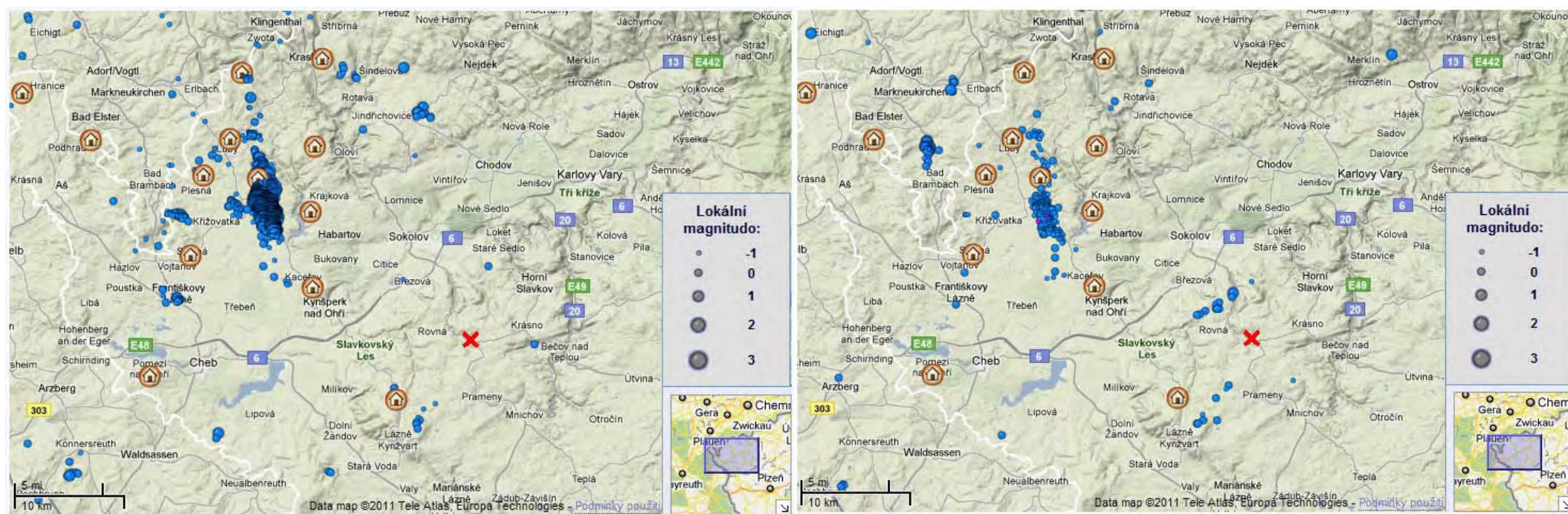
Na stanici JER1 bylo v období 6. 10. až 10. 12. 2008 celkem zaznamenáno 451 zemětřesení z oblasti západních Čech. Graficky je vývoj registrace znázorněn na obr. 1, maximální rychlosti kmitání jednotlivých složek všech zaregistrovaných zemětřesení jsou zobrazeny v časové řadě. Do 12. 10. nejsou v obrázku vyneseny hodnoty amplitud nad 0,25 mm.s⁻¹ (nelze interpretovat, vyneseno s hodnotou 0,25 mm.s⁻¹). Nejintenzivnější projev od zemětřesení z popisovaného roje byl zaznamenán 14. 10. v 21:00 SEČ, při kterém složková hodnota rychlosti kmitání dosáhla 0,435 mm.s⁻¹ (max. zrychlení 43,7 mm.s⁻²). Při kvartálním měření na podzim 2008 a na jaře 2009 nebylo

pochází již z roku 1552. Informace o seizmickém dění v této oblasti lze nalézt v různé odborné literatuře, např. Tým autorů (2000), Horálek et al. (2009) a Fischer et. al. (2010). Doposud nejintenzivnější instrumentálně zaznamenané západočeské zemětřesené roje se vyskytly v roce 1908, kdy nejsilnější otřes dosáhl magnituda 5,0 (stupeň 5 RichtEROVY škály), a na přelomu let 1985/86 s nejsilnějším otřesem o magnitudu 4,6. Oba tyto roje, které způsobily škody i na budovách a vyvolaly paniku mezi obyvatelstvem, byly asi třicetkrát energeticky silnější než roj v roce 2008 (podle www.ig.cas.cz).

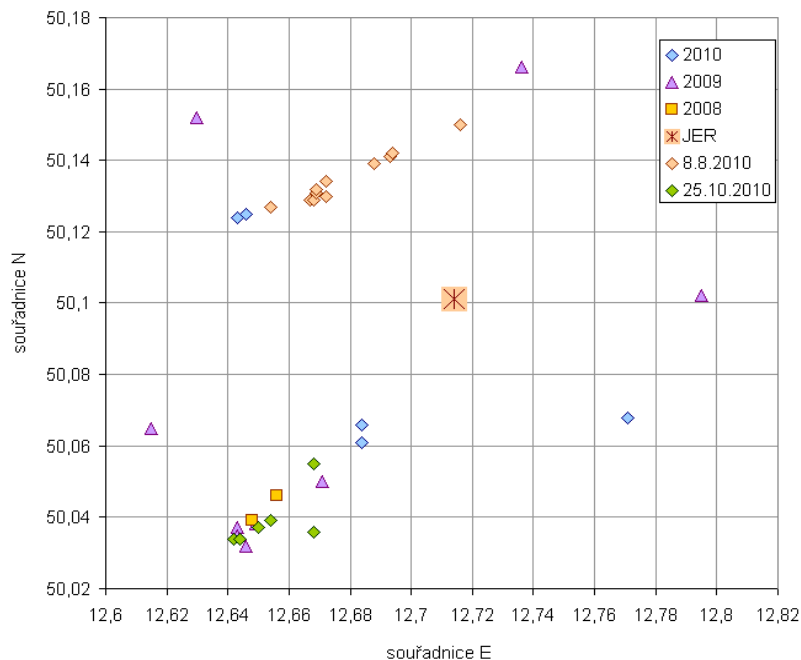
při zběžné vizuální prohlídce dostupných důlních prostor zjištěno poškození následkem vibrací vyvolaných během výše popsaného seizmického roje (tj. větší opady, rozevření puklin, praskání pilířů, ...).

3 Seizmická aktivita v západních Čechách v období 2009 – 2010

Po významném seizmickém roji, který proběhl v roce 2008, došlo v oblasti okolo Nového Kostela k utlumení seizmické aktivity. V důsledku toho došlo také ke snížení počtu zaznamenaných přirozených zemětřesení z této oblasti na seizmické stanici JER1 v důlním díle. Během roku 2009 a 2010 to bylo celkem cca 30 zemětřesení. Pokud se však budeme věnovat blízkému okolí Dolu Jeroným, tzn. oblasti v okruhu do deseti km, došlo zde v průběhu roku 2010 naopak k významnému zvýšení seizmické aktivity oproti předešlým rokům. Na obr. 2 jsou pro srovnání zobrazena epicentra zemětřesení za období 2008–2009 (obrázek vlevo) a období 2010 (vpravo).



Obr. 2 Epicentra zemětřesení v oblasti západních Čech (podle www.ig.cas.cz), vlevo pro období 2008 – 2009, vpravo pro období 2010. Pozice Dolu Jeroným je vyznačena červeným křížkem



Obr. 3 Epicentra zemětřesení v blízkém okolí Dolu Jeroným v období 2008 – 2010

JER1 hodnoty $0,008 \text{ mm.s}^{-1}$ (max. zrychlení $1,47 \text{ mm.s}^{-2}$) pro složku N. Epicentra jednotlivých ohnisek zemětřesení jsou rozmístěna v délce 3 km opět podél linie ukloněné přibližně ve směru JZ-SV, hloubky ohnisek se pohybují zpravidla v rozmezí 9 – 10 km (podle www.ig.cas.cz). Příklad záznamu zemětřesení z 27. 8. 2009 je uveden na obr. 4. I když se jedná o slabou seizmickou aktivitu, je třeba věnovat těmto zemětřesením pozornost vzhledem k blízkosti epicentrálních oblastí k zmiňovanému dolu.

Dlouhodobý seizmologický monitoring se provádí v části dolu zvané Opuštěná důlní díla (ODD). V druhé části dolu zvané Stará důlní díla (SDD) bylo provedeno pouze několik krátkodobých experimentálních měření za účelem sledování technické seizmicity (senzory byly pouze položeny na rostlou skálu). Část SDD je situována v malé hloubce pod komunikací spojující obec Krásno se Sokolovem (viz obr. 5). Nákladní vozidla projíždějící nad dolem způsobují zvýšené vibrace v historických prostorách. Během prováděných měření bylo zaznamenáno také několik přirozených zemětřesení, jedno dokonce z oblasti Nového Kostela ze dne 27. 8. 2009 o velikosti lokálního magnitudu 1,4. V části SDD byla během tohoto zemětřesení zaznamenána maximální amplituda rychlosti kmitání na vodorovné složce $0,006 \text{ mm.s}^{-1}$ (max. zrychlení $0,672 \text{ mm.s}^{-2}$), v části ODD byla na vodorovné složce zaznamenána maximální amplituda rychlosti kmitání $0,0045 \text{ mm.s}^{-1}$ (max. zrychlení $0,71 \text{ mm.s}^{-2}$). I když jde o nízké hodnoty, lze říci, že pro slabá zemětřesení z oblasti západních Čech jsou seizmické účinky v těchto dvou částech dolu srovnatelné.

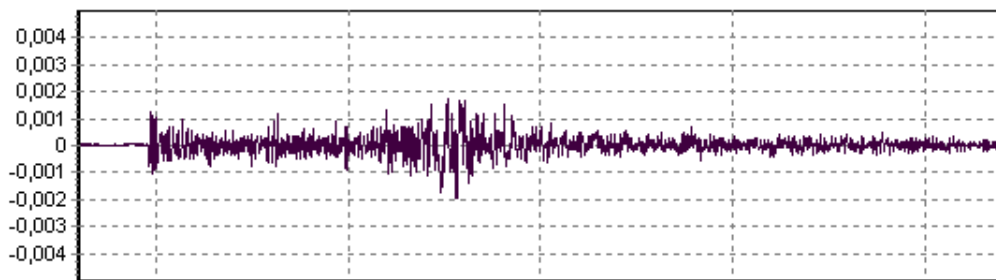
Na obrázku vlevo jsou kromě jiných patrná zemětřesení z oblasti Nového Kostela, která vznikla během seizmického roje, řada zemětřesení má lokální magnitudo větší jak 3,0. V bližší oblasti okolo Dolu Jeroným jsou ojedinělá zemětřesení (podle www.ig.cas.cz), jejichž lokální magnitudo nepřekročilo hodnotu 0,6. Na obrázku vpravo už je vidět pokles zemětřesné aktivity v oblasti Nového Kostela, zemětřesení nepřesahují lokální magnitudo 1,0 (až na pár zemětřesení na území Vogtlandu). V okolí Dolu Jeroným se vyskytují v roce 2010 dvě oblasti s významnější seizmickou aktivitou rojového charakteru. Jedna epicentrální oblast se nachází severozápadně od dolu ve vzdálenosti cca 5 km (detail situace na obr. 3). V této oblasti došlo dne 8. 8. 2010 k uvolnění seizmické energie, a to v sekvenci několika po sobě jdoucích jevů. Nejsilnější zemětřesení dosáhlo lokálního magnitudu 1,0 a vzniklo ve 22:17 SEČ. Na stanici JER1 dosáhla maximální rychlost kmitání na složce E hodnoty $0,011 \text{ mm.s}^{-1}$ (max. zrychlení $2,14 \text{ mm.s}^{-2}$). Epicentra jednotlivých ohnisek zemětřesení jsou detekována podél linie ukloněné ve směru JZ-SV v délce 5 km, hloubka ohnisek je variabilní, pohybuje se zpravidla v rozmezí 9 – 12 km (podle www.ig.cas.cz). Druhá epicentrální oblast se nachází jihozápadním směrem od dolu ve vzdálenosti do 10 km. V této oblasti došlo k seizmickým projevům dne 25. 10. 2010, nejsilnější zemětřesení dosáhlo lokálního magnitudu 0,9 a vzniklo v 9:21 SEČ. Maximální rychlost kmitání dosáhla na stanici

Ústav geoniky AVČR Ostrava, stanice JERC, jev: 27.8.2009 17:50:29

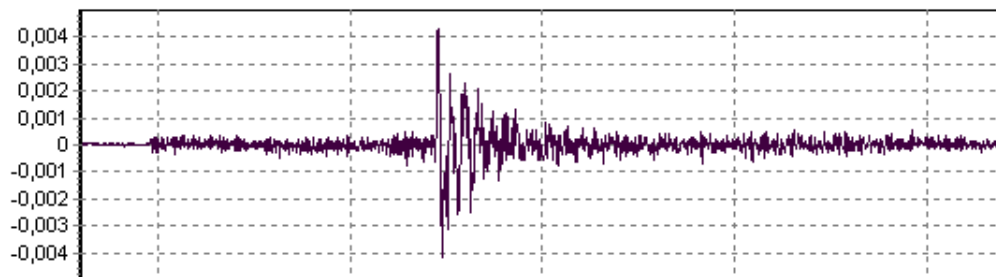
Aparatura: PCM3-EPC2; Snímače: SM3; Rozsah registrace: 0.25 mm/s

z_max=0,002; ns_max=0,005; ew_max=0,004; [mm/s]

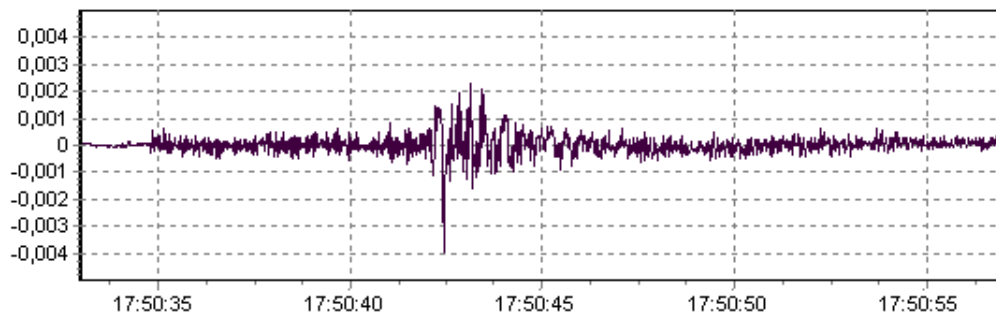
Svislá složka - Z



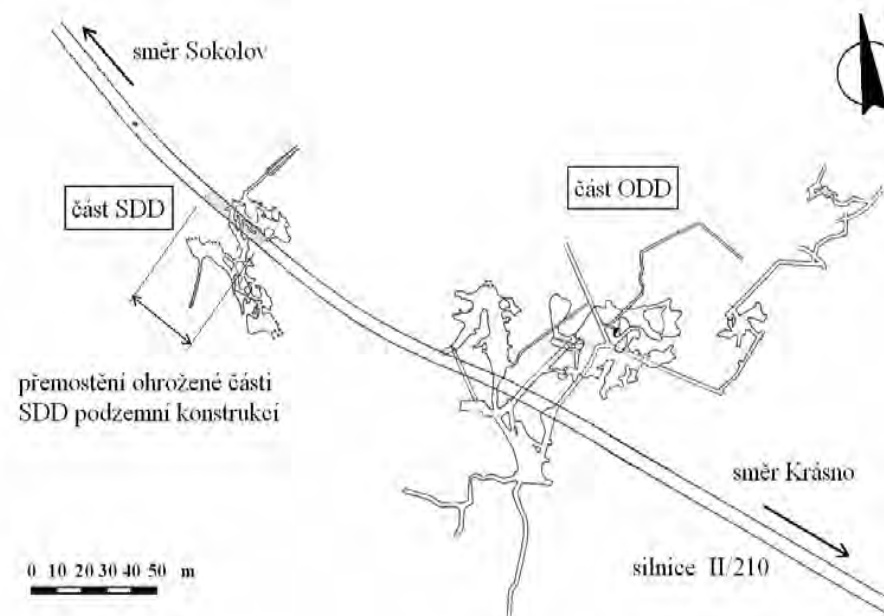
Vodorovná složka - NS (sever - jih)



Vodorovná složka - EW (východ - západ)



Obr. 4 Záznam vlnového obrazu přirozeného zemětřesení z oblasti Nového Kostela ze dne 27. 8. 2009 pořizovaný na seizmické stanici v části ODD (shora složky Z, N, E)



Obr. 5 Situace části SDD a části ODD Dolu Jeroným vyznačenou silnicí Krásno – Sokolov a přemostěním ohroženého úseku komunikace (podle Iványi 2001)

Maximální hodnoty rychlosti kmitání byly naměřeny při průjezdu nákladního auta dne 27. 8. 2009 v 15:18 SEČ. Maximum bylo dosaženo na vertikální složce na stanici SDD01, a to $4,85 \cdot 10^{-2} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Frekvenční analýza digitálních záznamů ukázala, že převládající frekvenční rozsah vyvolaných vibrací je v rozmezí 10 – 30 Hz, často dominují frekvence v rozmezí 10 – 15 Hz.

V časové oblasti byla prováděna pouze vizuální typová analýza. Ta identifikovala více či méně významnou skupinu harmonického kmitání (především na horizontálních složkách). Její trvání je po dobu cca 2 – 3 s. Na záznamech se objevuje v době, kdy auto projíždí úsekem za mostem při jízdě od Sokolova ke Krásnu, tedy po vibracích vyvolaných průjezdem auta okolo místa, kde je situován senzor. Z pohledu důlních prostor jde o místo mezi SDD a ODD. Je zajímavé, že při jízdě aut v opačném směru, tj. od Krásna, je na záznamech nejprve tato skupina harmonického kmitání a teprve po ní následuje projev auta jedoucího okolo senzorů. Tato skupina harmonického kmitání byla na záznamech identifikovatelná jak při průjezdu těžkých vozidel, tak při průjezdu osobních aut a projevovala se jak na povrchu na silnici, tak v důlním díle na obou měřicích stanovištích. Během dalšího měření, které bylo zaměřeno na podrobnější analýzu této skupiny harmonického kmitání, proto nebylo potřeba situovat seizmické stanice do důlního díla.

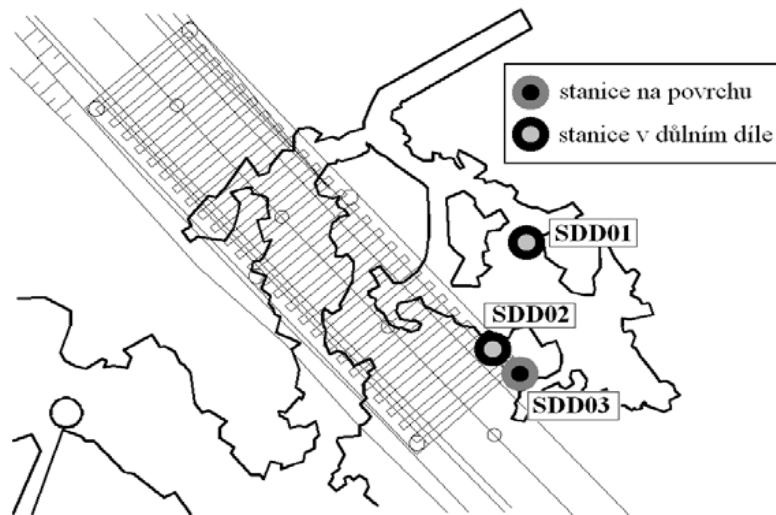
Další měření projevů vibrací na silnici nad SDD bylo realizováno v prosinci 2009. Pro jednotlivá uspořádání byly současně použity až 4 senzory rozmístěné podél silnice nad mostem a v jeho blízkosti. Cílem tohoto měření bylo získat informace o případném rezonančním projevu podzemního mostu. Celkem bylo na kontinuálních třísložkových digitálních záznamech identifikováno přes 100 průjezdů vozidel různého typu. Kombinace rozmístění senzorů během měření jsou naznačeny na obr. 8. Stejně jako tomu bylo u prvního měření v srpnu, na záznamech se opět objevovala skupina harmonického kmitání (obr. 9). Toto harmonické kmitání mělo největší projev v místě před zabudovaným mostem na straně Krásna, a směrem ke středu mostu projev slábnul. Z toho lze usoudit, že objevující se harmonická skupina není projevem vlastního kmitání zabudovaného mostu, ale nejspíše jiné struktury.

Frekvenční analýza záznamů průjezdů vozidel ukázala, že vyvolané vibrace jsou v intervalu 15 – 60 Hz. Výše diskutovaná skupina harmonického kmitání se nachází ve spektrech na píkách s kmitočtem 15 – 20 Hz.

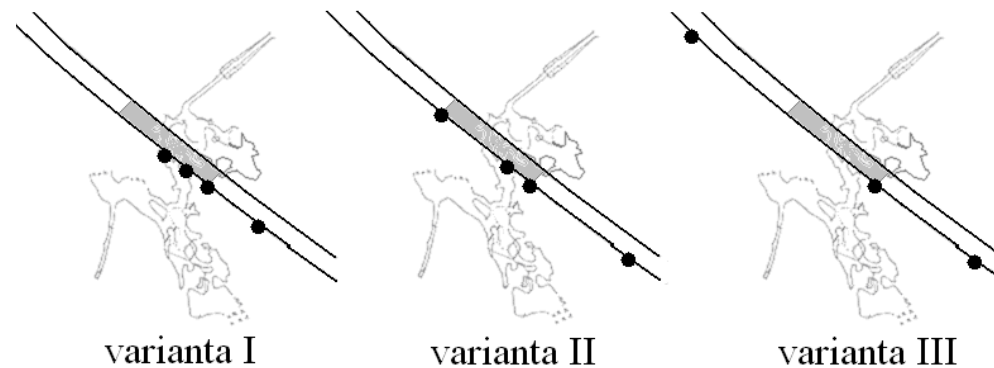
K vysvětlení vzniku skupiny harmonických vln se v době prováděných měření nabízely následující vysvětlení (seřazeno podle snižování pravděpodobnosti možné příčiny):

- v podzemí před zabudovaným mostem na straně Krásna existuje pod silnicí nebo v její těsné blízkosti neznámé mělce situované důlní dílo, které je rozkmitáno průjezdem vozidla;
- vibrace jsou projevem rezonančního kmitání svislé betonové šachtice (hloubka 20 m), která slouží jako druhý vstup do SDD;
- vibrace jsou vyvolávány rozkmitáním vzrostlého stromu na okraji silnice, jehož kmen je v důsledku svahových posunů krajnice nakloněn na cca 35°.

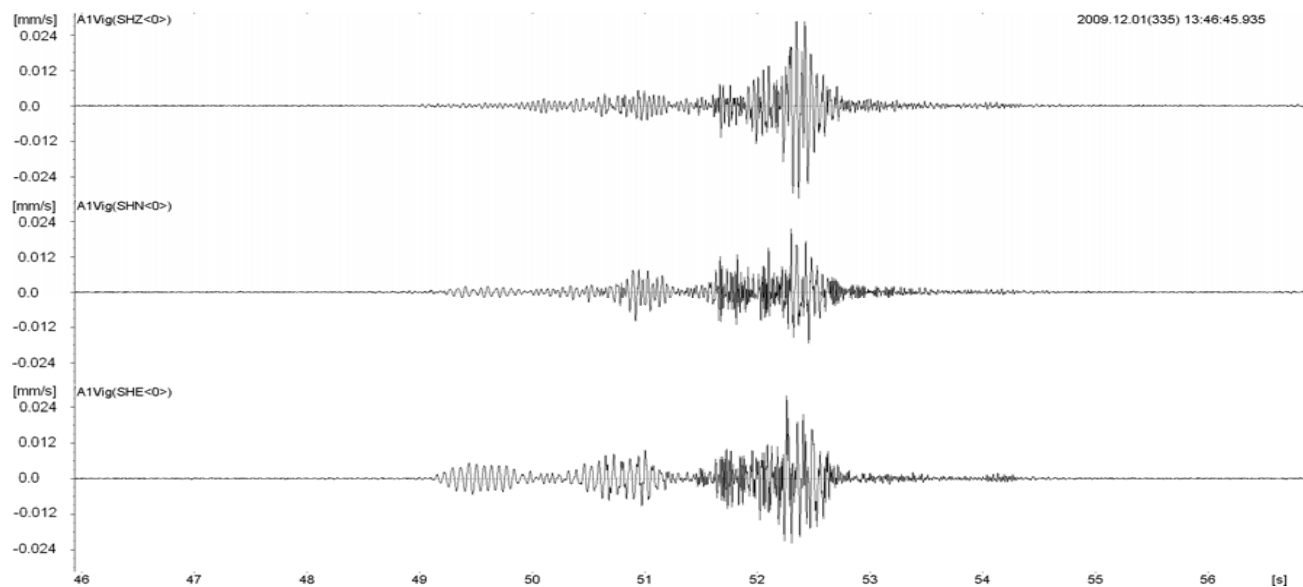
Během let 2009/2010 proběhla v okolí Dolu Jeroným řada průzkumných prací za účelem dohledání dalších neznámých prostor. Mezi částí ODD a SDD se podařilo pomocí geofyzikálního průzkumu identifikovat oblasti možného výskytu dutin (viz článek v tomto časopise, Beneš et al). Poté byly výsledky průzkumu potvrzeny při realizaci vrtů pro tomografii, neboť dva realizované vrty zastihly v hloubkách 20 až 25 m neznámé dutiny.



Obr. 7 Schéma experimentálního měření v srpnu 2009. Na silnici je naznačena pozice podzemního mostu, lokalizace senzorů v důlním díle (SDD01 a SDD02) a lokalizace senzoru na povrchu (SDD03)



Obr. 8 Situace rozmístění senzorů na povrchu během měření v prosinci 2009 (tmavší část silnice představuje podzemní most)



Obr. 9 Záznam vlnového obrazu seizmického jevu vyvolaného průjezdem auta směrem od Krásna nad podzemním mostem nad částí SDD

5 Závěr

Nejvýznamnější seizmické zatížení Dolu Jeroným v popisovaném období bylo zaznamenáno během seizmického roje na konci roku 2008. Ve spouštěném režimu záznamů bylo pořízeno na seizmické stanici v důlním díle 451 jevů, maximální složková hodnota rychlosti kmitání dosáhla $0,435 \text{ mm.s}^{-1}$ (max. zrychlení $43,7 \text{ mm.s}^{-2}$). Při prohlídce důlních prostor nebylo v přístupných částech nalezeno porušení horninového masivu. V letech 2009–2010 byla detekována pouze slabá přirozená zemětřesení, několik ohnisek však vzniklo v bezprostřední blízkosti dolu. Vzhledem k charakteru „konstrukce“, tj. volný prostor v masivu, pro který není známá jeho struktura (není dochovaná dokumentace) a pro který není možno detailně stanovit fyzikální parametry (např. zvětrání na stěnách), je možno vliv vibrací stanovit pouze z vizuálních pozorování škod po větším zatížení.

Technická seizmicita představuje podstatnou část seizmického zatížení Dolu Jeroným. Největší zaznamenaná složková amplituda rychlosti kmitání po odstřelu trhavin při rekonstrukci dědičné štoly Jeroným v letech 2004–2006 dosáhla hodnoty $0,17 \text{ mm.s}^{-1}$ (max. zrychlení $50,11 \text{ mm.s}^{-2}$). Provedeme-li srovnání této maximální složkové amplitudy rychlosti kmitání s amplitudou nejintenzivnějšího zemětřesení (jev ze 14. 10. v 21:00), tj. hodnota $0,43 \text{ mm.s}^{-1}$, byla během seizmického roje naměřena hodnota rychlosti kmitání cca třikrát větší, zatímco maximální zrychlení byla srovnatelná (vlivem rozdílné převládající frekvence). Maximální hodnoty rychlosti kmitání z nejbližších lomů (Krásno, Vítkov) se zpravidla vyskytují v rozmezí řádů $10^{-3} - 10^{-2} \text{ mm.s}^{-1}$. Je však třeba mít na paměti, že seizmické zatížení není úplně srovnatelné, neboť vyvolané vibrace mají rozdílný charakter, a to především dobou trvání a frekvenčním rozsahem projevu. V roce 2009 a 2010 byla provedena řada experimentálních měření vibrací vyvolaných automobilovou dopravou na cestě nad důlním dílem.

Poděkování

Príspevek byl zpracován za částečné finanční podpory GAČR, projekt č. 105/09/0089 „Prognóza časoprostorových změn stability důlních prostor technické památky Důl Jeroným v Čisté“.

Literatura

- FISCHER, T., HORÁLEK, J., MICHÁLEK, J., BOUŠKOVÁ, A. The 2008-West Bohemia Earthquake Swarm in the Light of the WEBNET Network. *J. seismol.*, 2010, 14, 665–682.
- HORÁLEK, J., FISCHER, T., BOUŠKOVÁ, A., MICHÁLEK, J., HRUBCOVÁ, P. The West Bohemian 2008-earthquake swarm: When, where, what size and data. *Stud. geophys. et geod.*, 2009, 53, No. 3, p. 351–358. ISSN 0039–3169.
- IVÁNYI, K. Kulturní památka Důl Jeroným v Čisté. Stav zajišťovacích prací. In *Hornická Příbram ve vědě a technice*. Příbram: Diamo st. podnik, 2001.
- KALÁB, Z. Posouzení seizmického zatížení středověkého Dolu Jeroným v České republice. *Acta Montanistica Slovaca*, roč. 8, č. 1, Košice (Slovakia): Technical univerzity Kosice, p. 36–41, ISSN 1335–1788.
- KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J. Experimentální měření seizmických účinků trhacích prací v historickém dole Jeroným. *Sborník vědeckých prací VŠB-TUO, řada stovební*, 2004, roč. 4, č. 2, s. 159–166. ISSN 1213–1962.

- KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., LEDNICKÁ, M. Seismic Station with Geomechanical Network in Medieval Mine. In *31st General Assembly, European Seismological Commission. Programme, Abstracts and Short Papers [CD-ROM]*. Athens: Institute of Geodynamics, National Observatory of Athens, 2008. p. 167–174.
- KALÁB, Z., KNEJZLÍK, J., LEDNICKÁ, M. 2010. Seismic Loading of Underground Bridge above Medieval Mine. In *Transport and City Tunnels, 14-16 June 2010, Proceedings of the 11th international conference Underground Constructions Prague*. Praha: Czech Tunelling Association ITA/AITES, 2010. p. 619–625. ISBN 978–80–254–7054–1.
- KNEJZLÍK, J. Distribuovaný systém pro monitorování v Dole Jeroným v Čisté. *Sborník vědeckých prací VŠB-TUO, řada stavební*, 2006, roč. 6, č. 2, s. 181–187. ISSN 1213–1962.
- KNEJZLÍK, J., KALÁB, Z. Seismic Recording Apparatus PCM3-EPC. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, 2002, M-24(340), p. 187–194.
- TÝM AUTORŮ *Studia geophysica et geodaetica, Special issue*, 2000, vol. 44/2 and 44/4, Prague: AS CR.

Summary

The first idea to build a seismological monitoring occurred together with the planning of the reconstruction of the Jeroným adit in 2004. Continuous seismological monitoring was necessary because blasting operations were performed as a part of reconstruction procedure. Three seismometers SM3 in geographical orientation are anchored on a concrete pillar in underground chamber. Seismic recording apparatus PCM3-EPC3 with special modification for environment with high air humidity and drip water has been installed directly in the mine working. Using telemetry (GSM modem) seismological records are transferred to the Institute of Geonics. It is also possible to control the data acquisition system. Seismic station was named JER1. Seismic recording is based on trigger regime, sampling frequency of digital signal is 250 Hz per channel, and low significant bit has a value of $7.6 \times 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$. Records obtained on this seismic station can be divided into following types: technical seismicity (blasting operations – during reconstruction of the adit and in adjacent quarries, traffic – on road above the Jeroným Mine) and natural seismicity (micro earthquakes from West Bohemia and parts of distant intensive earthquakes).

Seismic loading of underground spaces of Jeroným mine in 2008 was very low until 6 October 2008. From this date, significant seismic loading occurred because of a very intensive seismic swarm that started in West Bohemia (Nový Kostel area near Kraslice). The source area was about 25 km far from the mine. Induced vibrations did not evoke visible damages in underground spaces. In sum 451 earthquakes from Nový Kostel area were recorded in seismic station named JER1 within 6 Oct. –10 Dec., 2008. The most intensive shock occurred on 14 Oct (21:00); maximum value of space component velocity reached 0.518 mm.s^{-1} . Due to weak seismic activity in West Bohemia in 2009-2010, seismic loading of underground spaces was low however, some epicentres were localized in immediate vicinity of the mine. Majority of records represents vibrations generated by heavy traffic and quarry blasts.

Experimental seismological measurements performed at Jeroným Mine are also described in this contribution. Two main aims were pursued in frame of analysis of realized measurements. First aim was evaluation of seismic loading of historical mine by traffic on road above underground spaces; second aim represents evaluation of possible resonant vibration of underground bridge above the part named OMW (Old Mine Workings). Experimental measurement at the surface above part OMW and in underground spaces did not detected resonant vibration of plate of underground bridge above OMW that was built during road reconstruction. This bridge fulfils the purpose, i.e.

security of shallow located underground spaces. Group of harmonic vibrations has been found during analysis of obtained records however, origin of this group is not reliably explained yet.

Vibrations generated by traffic do not exceed 10 % of maximum values if we made comparison of seismic effect of traffic with maximum measured values in permanent seismic station. The maximum effect was detected as very intensive earthquake from so called Kraslice swarm 2008.

Figures:

Fig. 1 Time sequence of all earthquakes from Nový Kostel swarm in 2008 that were recorded at the station JER1; vertical axis represents maximum component velocity amplitudes

Fig. 2 The earthquake epicentres in the West Bohemia area (according www.ig.cas.cz). The left figure there is period 2008-2009, the right figure presents the year 2010. Location of Jeroným Mine is signed by Red Cross

Fig. 3 Earthquake epicentres in the vicinity of Jeroným Mine in period 2008-2010

Fig. 4 Record of wave patterns of earthquake from Nový Kostel area originated 27 August 2009. On the left figure – record from seismic station JER1 located in the AMW (top-down vertical Z, horizontal N and E components, local time), on the right figure – record from the OMW obtained during experimental measurement (top-down vertical Z, horizontal N and E components, UT); vertical axis is velocity amplitudes in count – $1\text{Mcnt} = 2.975 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$

Fig. 5 Sketch of location of the OMW and the AMW of Jeroným Mine; road from Krásno to Sokolov and endangered stage are marked (according Iványi, 2001)

Fig. 6 Transversal and longitudinal section of underground construction above part OMW (according Iványi, 2001)

Fig. 7 Sketch of the first experimental measurement in August 2009. Underground bridge is marked on road; locations of seismic stations in underground spaces (SDD01, SDD02) and station on the surface (SDD03) are pointed out

Fig. 8 Configurations of sensors at the surface above the OMW during measurement in December 2009 (dark part of road represents underground bridge)

Fig. 9 Record of wave pattern of vibration generated by passage of car from Krásno to Sokolov above part OMW

¹ Authors

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

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

Ing. Jaromír Knejzlík, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, knejzlik@ugn.cas.cz