

DOPRAVA V OBCI SVĚTÍ Z HLEDISKA SEIZMICKÉHO ZATÍŽENÍ

Zdeněk Kaláb¹, Markéta Lednická¹

The traffic in the Světí village (Czech Republic) from seismic loading viewpoint

This paper summarizes results from experimental seismological measurements in the Světí village (Hradec Králové District, Czech Republic). The main goal of this research was evaluation of seismic loading of national heritage – St. Andrew church that was founded in 14th century. Seismic loading generated by traffic has probably significant influence on failures in walls and ceiling of the church. The maximum measured velocity of vibrations was generated by heavy trucks.

Abstrakt

Príspevok shrnuje výsledky experimentálneho seizmologického měření realizovaného v obci Světí v královéhradeckém kraji. Hlavním cílem tohoto výzkumu bylo hodnocení seizmického zatížení národní kulturní památky, kostela svatého Ondřeje, který pochází ze 14. století. Vibrace vyvolané dopravou mají pravděpodobně významný vliv na praskliny ve stěnách a na stropě kostela. Maximální naměřené hodnoty rychlosti kmitání byly vyvolány průjezdem těžkých nákladních vozidel.

Klíčová slova

seizmické zatížení, národní kulturní památka, seizmologické měření

1. Úvod

Osobní i nákladní doprava jsou v současnosti nedílnou součástí životního prostředí. Z hlediska seizmického zatížení představuje doprava významný zdroj technické seismicity, zvláště v zastavěných oblastech, kde komunikace procházejí v těsné blízkosti stavebních objektů (Salajka a Kanický 2004, Kaláb et al. 2005, 2006, Kaláb a Stolárik 2008). Kromě samotné existence zdroje vibrací (průjezd vozidla, vlaku, ...) existuje řada vlivů, které mohou účinky těchto vibrací zesilovat – specifické geologické prostředí nebo existence rezonanční struktury v místě šíření vibrací, špatný technický stav vozovky (praskliny, výtluky), změny tvaru vozovky (nutnost změny rychlosti v zatáčce), apod. Seizmické zatížení vyvolané dopravou po komunikacích se stává problémem také v menších obcích, přes které je odkláněna doprava z „hlavních tahů“ v případech objížděk. V takovýchto malých obcích není většinou stav vozovek takovému nárůstu dopravy přizpůsoben. Největším problémem bývá zvýšení průjezdů těžkých nákladních automobilů.

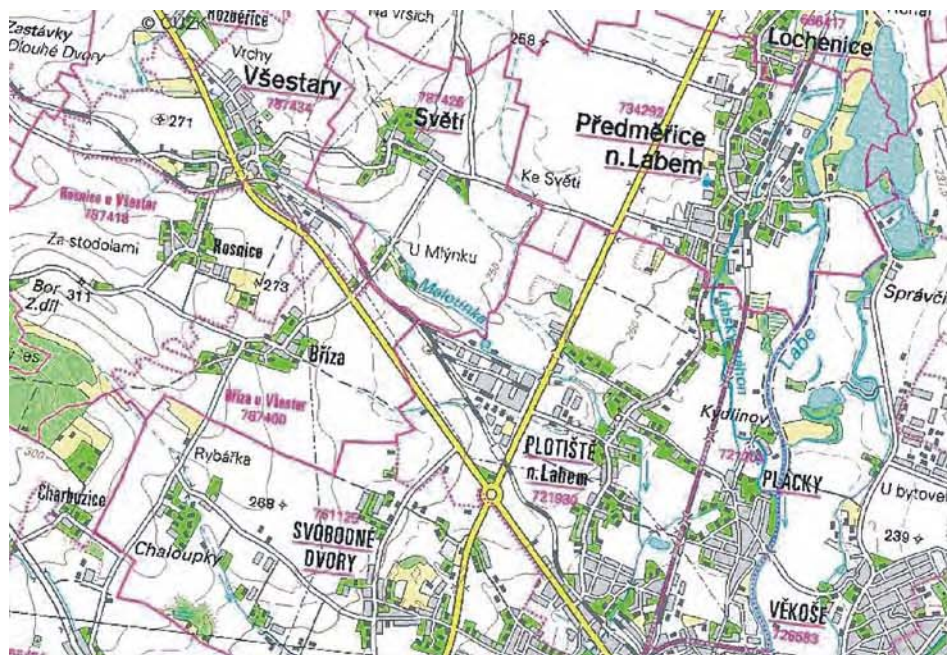
Tento článek se zabývá experimentálním seizmologickým měřením v obci Světí na Královéhradecku. Obec se nachází přibližně 7 km od města Hradec Králové severozápadním směrem. Důvodem měření je posouzení vlivu dopravy na národní kulturní památku, kostel svatého Ondřeje ze 14. století. Na komunikaci vedoucí kolem kostela je velký provoz a kvůli těžkým nákladním autům praskají na památce zdi a odpadává omítka (komentář Televize Nova).

2. Obec Světí na Královéhradecku

Obec Světí (www.sveti.cz) leží v mírné dolině 7,5 km na severozápad od Hradce Králové (Obr. 1), v nadmořské výšce 284 m. Není zcela jasné, jak obec získala své nynější jméno. V prvních písemných zmínkách je označována jako Světy, Světín, Svěci, od r. 1436 je však používán výhradně název Světí. Z vykopávek lze usuzovat, že místo bylo osídleno již v mladší době bronzové, písemné zprávy jsou však až od r. 1365, kdy obec, dvůr a kostel patřily německým rytířům v Hradci Králové.

Od r. 1991 do současnosti je Světí samostatnou obcí s vlastním obecním úřadem. Od března r. 2000 je obec Světí součástí nově vzniklého mikroregionu „Památková zóna 1866“, která připomíná Prusko-rakouskou bitvu na Chlumu u Hradce Králové z 3. července 1866.

Kostel sv. Ondřeje (Obr. 2), který je dominantou obce, je zapsán v seznamu nemovitých kulturních památek od 3. 5. 1958 (ÚSKP 26138/6 – 724). V letech 1995–97 byla kompletně rekonstruována střecha a vnější omítka. V roce 2008 byla rekonstruována elektrická síť v kostele s vnitřním osvětlením. Nyní se připravuje rekonstrukce interiéru. Obec dle informací starosty pana Josefa Honce už dříve do nejnutnějších oprav kostela investovala půl milionu korun. Přesto se na zdech kostela objevují nové trhliny.



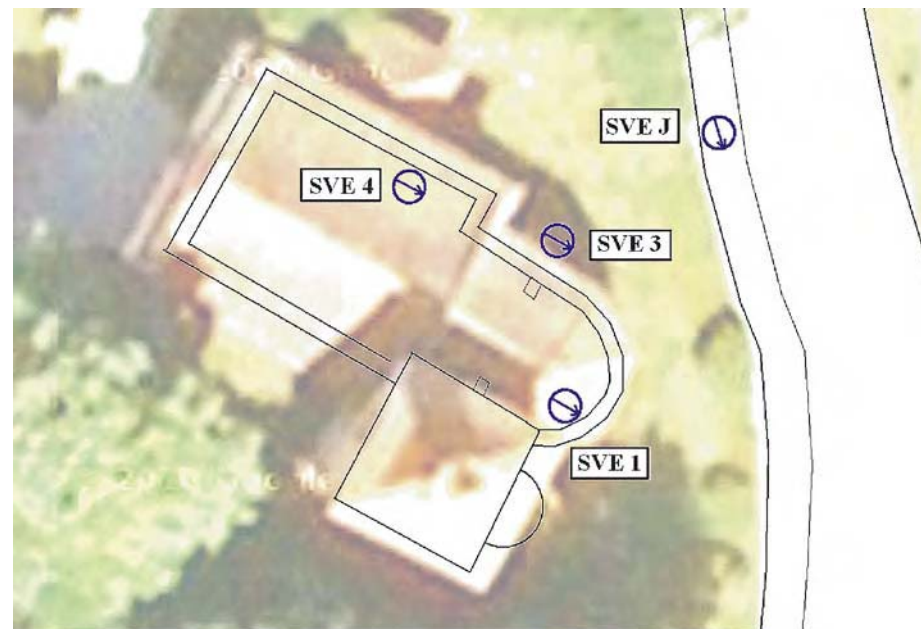
Obr. 1: Obec Světí (www.mapy.cz)

2.1 Situace v okolí kostela

Geomorfologicky je území součástí Hořicko-Jaroměřské pahorkatiny. Kostel se nachází na nevýznamném terénním zvlnění, do kterého je zaříznuta místní komunikace. Lokální geologii lze charakterizovat jako čtvrtohorní usazené horniny, tj. hlíny, spraše, štěrky,



Obr. 2: Kostel sv. Ondřeje ve Světí (foto: autor)



Obr. 3: Schéma půdorysu kostela sv. Ondřeje ve Světí s přilehlou komunikací a rozmístění jednotlivých seizmických stanic v průběhu experimentálního měření. Šipkou je naznačen směr orientace složky N senzoru

písky, s proměnlivou mocností. Místy lze nalézt druhohorní usazené horniny – pískovce, opuky, jílovce. Podklad, který ve vzdálenosti 20 km vychází i na povrch, tvoří prvohorní zvrásněné a přeměněné horniny.

Církevní památka se nachází hned u silnice (nejmenší vzdálenost je 6 m), po které denně kromě osobních aut projíždí také auta nákladní. Zvýšený počet vozidel je zaznamenáván také v období uzávěrek či omezení na komunikacích E67 a E442. V obdobích zemědělských kampaní, tj. jarních prací, sklizní, orby, ..., narůstá počet průjezdů zemědělských strojů. Jako většina stavebních středověkých památek i kostel v obci Světí je poškozen trhlinami. Trhliny ve zdejších zdech mají v rozích šířku až několik centimetrů.

3. Experimentální seizmologické měření

Jednodenní experimentální měření seizmického zatížení kostela sv. Ondřeje v obci Světí, bylo realizováno 16. srpna 2010, kdy probíhala sklizeň obilí a na komunikaci kolem kostela byl tudíž zvýšený provoz zemědělské techniky.

K měření byly použity čtyři přenosné seizmické stanice GAIA firmy VISTEC s tříoskovými senzory (Z – svislá osa, vodorovné osy orientovány paprskově, viz níže). Dvě seizmické stanice byly umístěny přímo v kostele na dlažbě u obvodových zdí – stanoviště SVE 1 a SVE 4 (jedná se o referenční stanoviště z hlediska hodnocení seizmické odezvy budov dle normy ČSN 73 0040). Na obou těchto

stanovištích byly umístěny stanice s tříosovým senzorem LE3D, vodorovná složka N senzorů byla orientována rovnoběžně s podélnou osou lodi kostela (obr. 3). Vzorkovací frekvence byla nastavena na 500 Hz, záznam dat byl kontinuální po celou dobu měření. Třetí seizmická stanice byla použita pro měření seizmické odezvy na venkovním opěrném pilíři kostela, a to cca 0,5 m nad úrovní terénu – stanoviště SVE 3 (obr. 3). Směr složky N byl orientován opět rovnoběžně s podélnou osou hlavní lodi kostela. Poslední stanice byla použita pro měření seizmického zatížení přímo u zdroje vibrací, tj. na chodníku u komunikace – stanoviště SVE J. Směr složky N byl orientován rovnoběžně s podélnou osou komunikace (obr. 3). Na stanovištích SVE 3 a SVE J byl použit tříosový senzor typu ViGeo2, vzorkovací frekvence byla opět 500 Hz, záznam dat kontinuální. Všechny stanice byly synchronizovány na světový čas dle signálu GPS.

Během odpolední části měření byl provoz na komunikaci sledován také vizuálně a zaznamenávaly se časy průjezdů jednotlivých typů vozidel, tj. zemědělské techniky, nákladních automobilů, dodávek a osobních automobilů.

4. Výsledky seizmologického měření

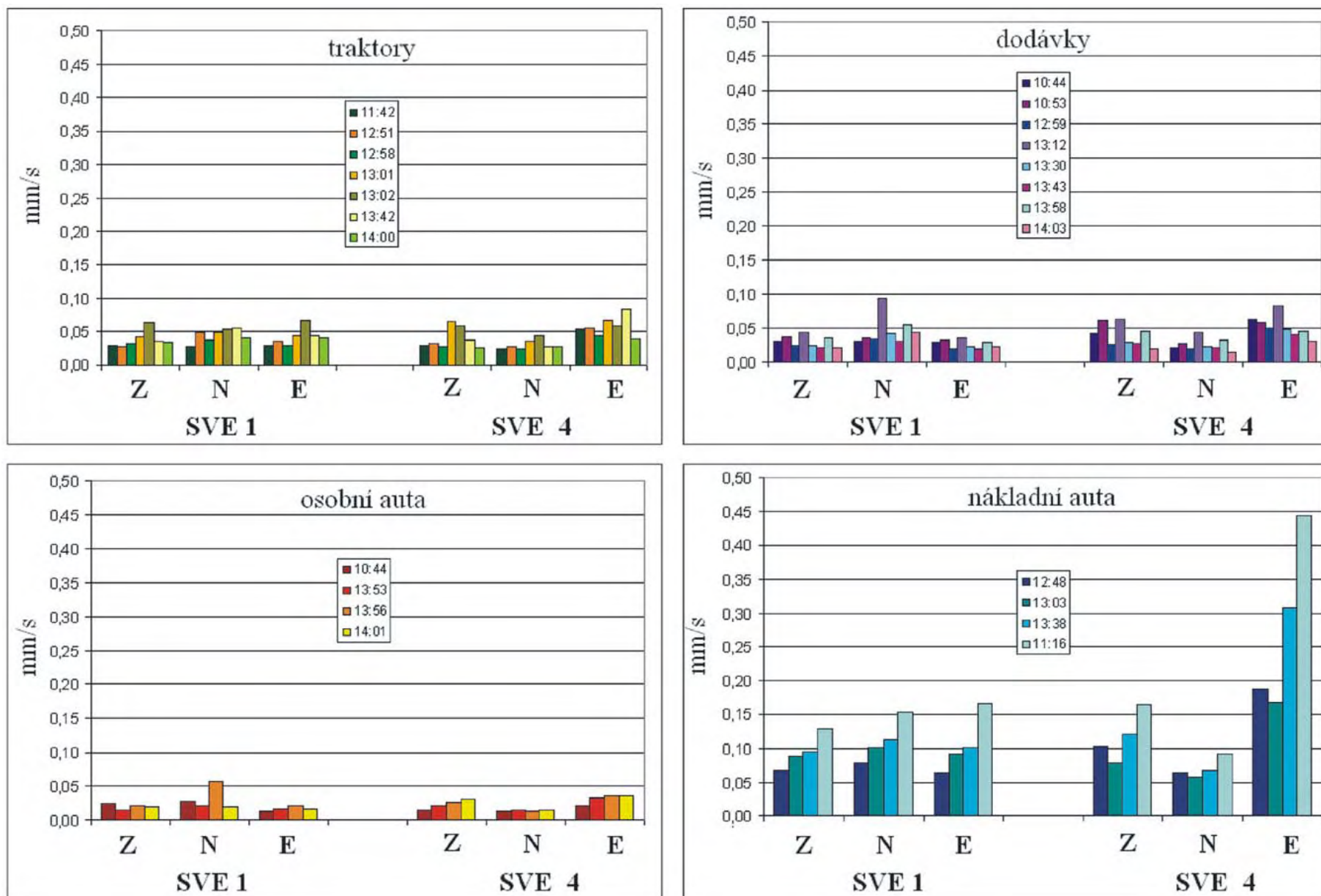
Pro zhodnocení seizmických účinků dopravy na budovu kostela sv. Ondřeje byla analyzována pouze data ze stanic umístěných v kostele, tj. ze stanoviště SVE 1 a SVE 4. Během experimentálního měření dne 16. 8. 2010 bylo na těchto dvou stanicích zaznamenáno v časovém rozmezí od 12:00 do 16:10 místního času cca 130 průjezdů vozidel.

Pro podrobnější analýzu seizmických účinků jednotlivých typů vozidel bylo vybráno celkem 23 záznamů. Jednalo o 4 průjezdy osobních automobilů, 8 průjezdů dodávek, 7 průjezdů traktorů s naloženými vlečkami a 3 průjezdy nákladních automobilů. Dále byl ještě přidán jeden záznam s největší naměřenou amplitudou rychlosti kmitání, který byl způsoben pravděpodobně průjezdem nákladního automobilu (v danou chvíli neprobíhalo vizuální sledování projíždějících vozidel).

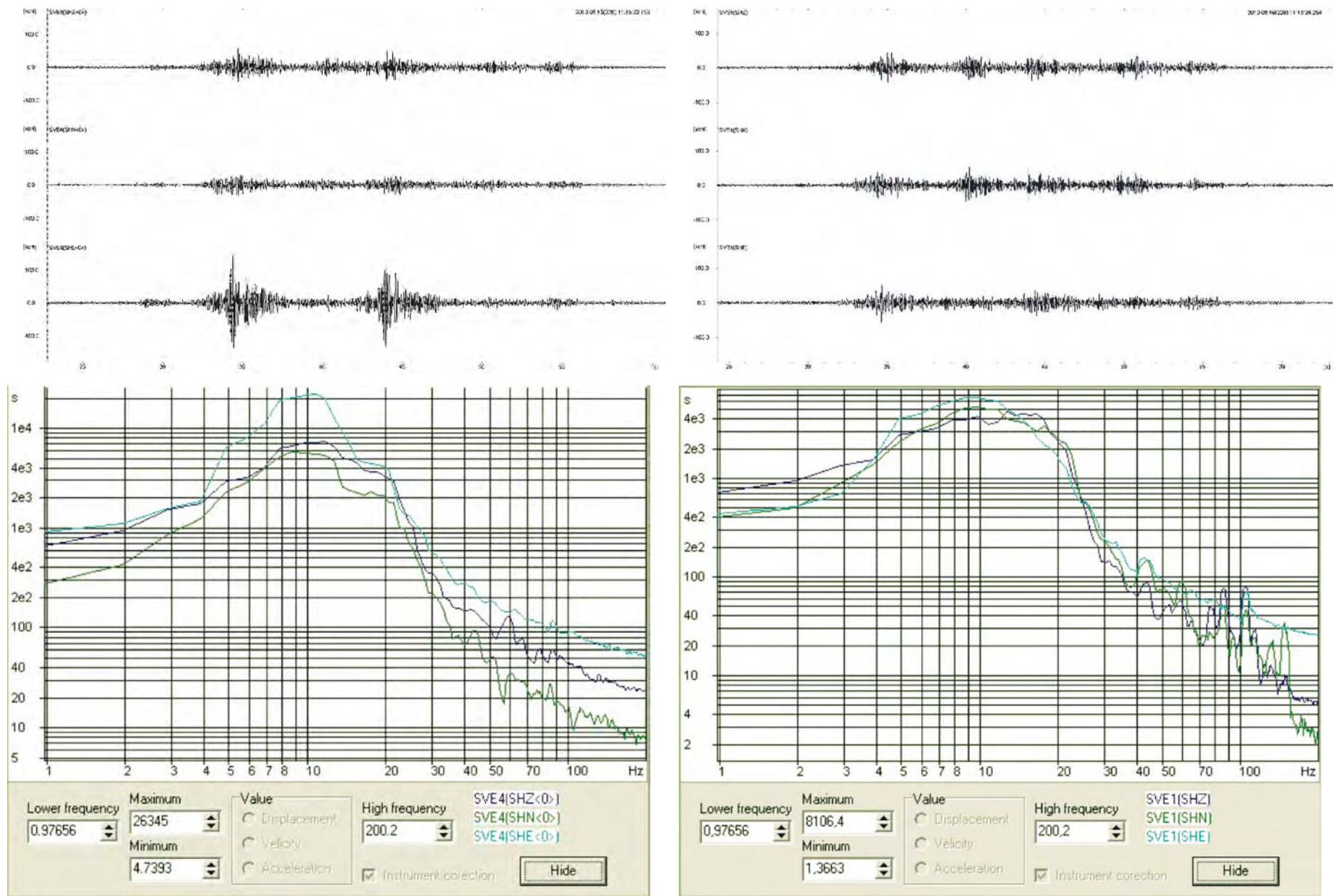
Naměřené rychlosti kmitání na uvedených dvou stanicích jsou vyneseny v grafech na obr. 4. Na svislé ose je hodnota rychlosti kmitání v mm.s^{-1} , na vodorovné ose jsou zleva postupně složky Z, N, E stanic SVE 1 a SVE 4. Jednotlivé jevy jsou barevně odlišeny. Z grafů je vidět, že maximální seizmický účinek vyvolávají průjezdy nákladních automobilů, další jsou traktory a dodávky, jejichž účinek je vzájemně srovnatelný, a nejmenší účinek mají osobní automobily.

Vzhledem k umístění stanice SVE 1, která byla situována blíže komunikaci, by se dal předpokládat větší účinek od dopravy právě na tomto stanovišti. Z výsledků měření je naopak vidět, že většina maximálních naměřených hodnot rychlosti kmitání je dosažena na stanovišti SVE 4. Nejvíce je to patrné u záznamů průjezdů nákladních automobilů. Zatímco hodnoty rychlosti kmitání na všech třech složkách na stanovišti SVE 1 jsou srovnatelné, rychlosti kmitání na stanovišti SVE 4 se pro jednotlivé složky výrazně liší. U složky N dochází ke snížení hodnot rychlosti kmitání, u složky E naopak k významnému navýšení.

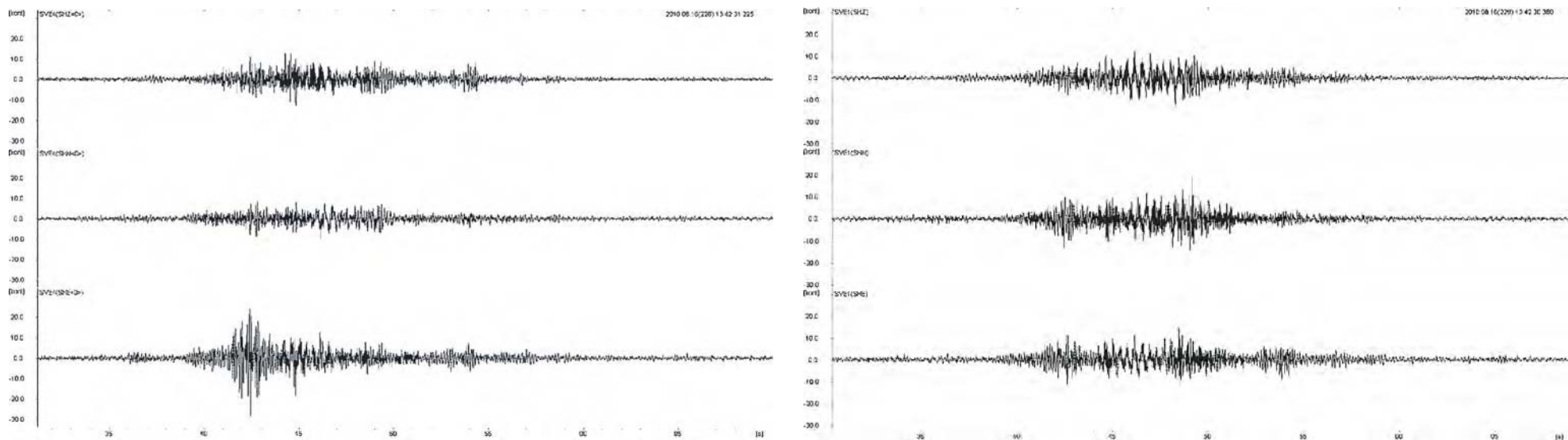
Maximální naměřená složková amplituda rychlosti kmitání byla zaznamenána na stanovišti SVE 4 v 11:16 světového času (13:16 místního času), a to pro složku E = $0,45 \text{ mm.s}^{-1}$. Na stanovišti SVE 1 byla v tu dobu zaznamenána maximální složková amplituda třikrát nižší, cca $0,17 \text{ mm.s}^{-1}$. Příklad záznamů tohoto jevu z obou stanic je na obr. 5. Převládající frekvence na obou stanovištích vycházejí v rozmezí 5 – 20 Hz, u složky E na stanovišti SVE 4 je zřetelný pík v rozmezí 8 – 12 Hz. Během průjezdu zemědělské techniky (příklad záznamu je na obr. 6) a dodávek nepřesáhla maximální rychlost kmitání hodnotu $0,1 \text{ mm.s}^{-1}$. Nejnižší hodnoty byly zaznamenány během průjezdů osobních automobilů, maximální hodnota rychlosti kmitání dosáhla $0,05 \text{ mm.s}^{-1}$.



Obr. 4: Naměřené rychlosti kmitání v mm.s^{-1} , na vodorovné ose jsou zleva postupně složky Z, N, E stanic SVE 1 a SVE 4. Jednotlivé jevy jsou barevně odlišeny (světový čas průjezdů v legendě).



Obr. 5: Vlnové obrazy a frekvenční spektra nejsilnějšího seizmického projevu vyvolaného dopravou ze dne 16.8.2010 na stanovišti SVE 4 (vlevo) a SVE 1 (vpravo). Pravděpodobně se jedná o průjezd nákladního automobilu.



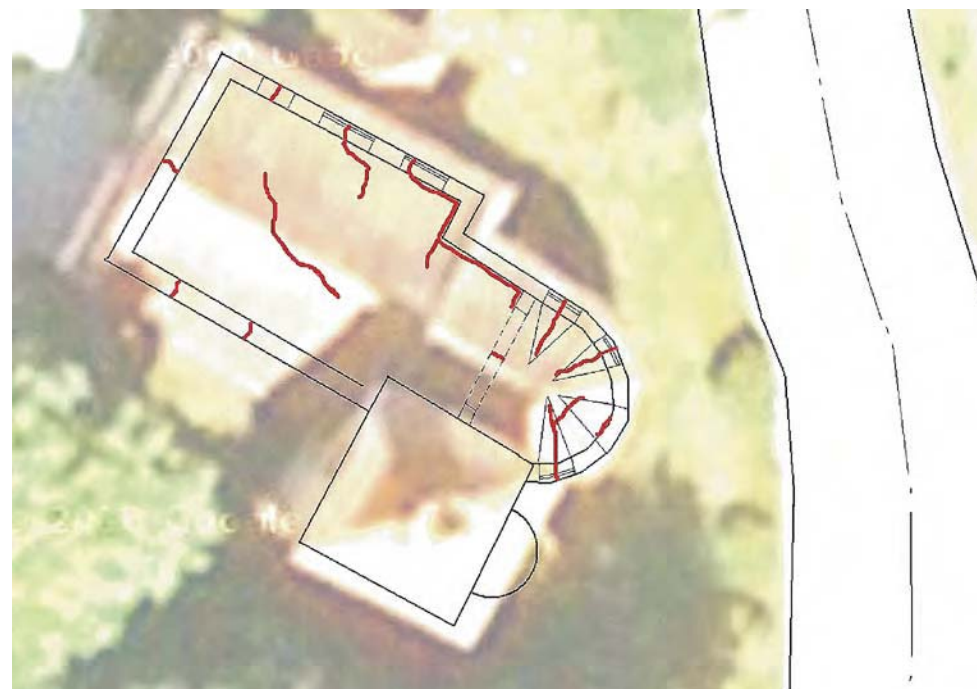
Obr. 6: Vlnový obraz průjezdu traktoru s naloženou vlečkou ze dne 16.8.2010 na stanovišti SVE 4 (vlevo) a SVE 1 (vpravo).

5. Vizuální posouzení stavu kostela

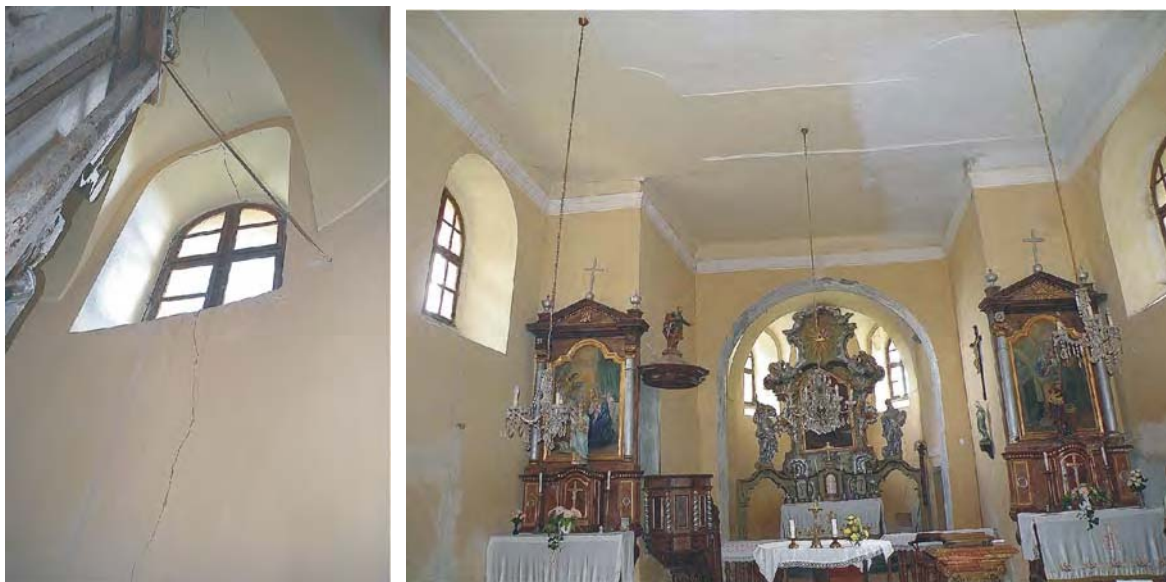
Na obr. 7 jsou naznačeny průběhy viditelných trhlin ve zdech a stropě (klenbách) kostela, které byly zjištěny na základě vizuální prohlídky. Nejvýznamnější trhliny se vyskytují podél té části kostela, která je orientována směrem ke komunikaci. V části za oltářem (nejblíže komunikaci) jsou významné trhliny procházející shora klenutým stropem k okenním otvorům, pod nimiž pokračují dále svisle dolů (obr. 8). Podobné trhliny jsou patrné i v ostatních okenních otvorech v hlavní lodi kostela. Další viditelné trhliny se vyskytují na stycích stropu a bočních zdí, a to převážně v levé části hlavní lodi nad kazatelnou. V tomto místě byla umístěna na podlaze seismická stanice SVE 4 (obr. 3), která zaznamenala maximální hodnoty rychlostí kmitání během prováděného měření. To by mohlo souviset s významným popraskáním zdí kostela této části a s jejich odezvou na seismické zatížení.

6. Posouzení seismologického měření

Seismické zatížení způsobené dopravou řadíme v tomto případě mezi zatížení nahodilá dlouhodobá. Při hodnocení odezvy stavebního



Obr. 7: Schéma půdorysu kostela sv. Ondřeje ve Světí s naznačenými trhlínami



Obr. 8: *Trhliny ve zdech kostela sv. Ondřeje ve Světí. Vlevo svislá trhлина procházející v místě okenního otvoru v části za oltářem. Vpravo pohled do hlavní lodi kostela s viditelnými trhlinami v místě styku stropní konstrukce s bočními zdmi vlevo nad kazatelnou.*

spadají objekty s velkým významem jako např. nemocnice, školy, obchodní domy, mosty, tunely, apod. Kostel sv. Ondřeje byl zařazen do této třídy významu vzhledem k možné kumulaci většího počtu osob.

Tabulka 8 normy ČSN 73 0040 udává pro třídu odolnosti A a třídu významu I mezní hodnotu rychlosti kmitání $v_{ef} = 0,4 \text{ mm s}^{-1}$. Námi naměřená maximální hodnota rychlosti kmitání $0,45 \text{ mm.s}^{-1}$ tuto mezní hodnotu přesahuje minimálně. Provedené měření však bylo krátkodobé, a tudíž se dá předpokládat, že v době nárůstu provozu nákladní dopravy v okolí kostela může docházet k daleko větším seizmickým účinkům a významnějšímu kmitání celého objektu. V případě objektu typu A – I se doporučuje provádět dynamický výpočet pro odezvu konstrukce podle efektivní rychlosti pohybu, je-li dosaženo hodnoty rychlosti kmitání $1,8 \text{ mm.s}^{-1}$ (tab. 10 z ČSN 73 0040). Možnost poruch (pro důležitá místa objektu) se uvažuje podle normy ČSN 73 0040 při hodnotách $4,5 \text{ mm.s}^{-1}$; k poškození prvního stupně, tj. první známky poškození, trhliny šířky do 1 mm na styku stavebních prvků ve stropních fabionech, dochází u 5 % objektů při hodnotách 7 mm.s^{-1} .

7. Závěr

Vibrace vyvolané dopravou mohou v určitých případech vyvolávat poškození stavebních objektů v blízkosti komunikací. Pro objekty poškozené a se zvážení různých parametrů (např. konstrukční materiál, stáří, ...) lze předpokládat, že tyto vibrace zhoršují technický stav objektů, a to jednak rozvolňováním existujících trhlin, jednak vznikem trhlin nových.

objektu na toto seizmické zatížení je třeba nejprve objekt zařadit do třídy odolnosti a třídy významu, pro které jsou v normě ČSN 73 0040 definovány mezní hodnoty efektivní rychlosti v_{ef} . Pokud na referenčním stanovišti efektivní rychlost pohybu nepřesáhne mezní hodnoty efektivní rychlosti, není třeba dynamickou odezvu způsobenou technickou seizmicitou (v tomto případě jde o dopravu) dále analyzovat.

Posuzovaný kostel sv. Ondřeje v obci Světí, spadá do třídy odolnosti A a třídy významu I. Do třídy odolnosti A se řadí historické objekty ve zvláštní památkové péči, stavby z neopracovaného kamene nebo cihel s klenutými překlady, stavby chatrné, apod. Tento kostel je nejen historickým památkovým objektem, ale vzhledem k významným trhlinám ve zdivu a stropech se dá zařadit do staveb méně odolných vůči dynamickému zatížení. Třída významu je stanovena podle ekonomického nebo společenského významu hodnoceného objektu. Do třídy I

Provedené seizmologické měření prokázalo možný vliv vibrací na kostel sv. Ondřeje v obci Světí. Ve zdech kostela a na jeho stropě v hlavní lodi a v klenbách jsou v současné době zřetelné praskliny. Experimentální měření bylo realizováno v období zvýšeného pohybu zemědělské techniky během sklizně obilí, největší seizmický projev byl ale zaznamenán při průjezdu těžkých nákladních automobilů. Maximální složková amplituda měla hodnotu $0,45 \text{ mm.s}^{-1}$, což ukazuje na překročení mezní hodnoty dle normy ČSN 73 0040 pro nutnost další dynamické analýzy.

Je otázkou, co bylo prvotní příčinou vzniku trhlin ve zdech a stropě kostela. Jednou z možných variant je nestabilita podloží kostela, neboť terén mezi kostelem a silnicí je mírně svažité a je možné, že tento svah byl, nebo stále je, v pohybu. Sesouvání svahu dokumentuje i lem okolo vozovky na její protější straně. Tomuto pohybu svahu mohou napomáhat vibrace způsobené průjezdy vozidel po komunikaci. Tyto svahové pohyby by mohly ovlivňovat technický stav kostela. V současné době lze předpokládat s ohledem na výše uvedené výsledky seizmologického měření, že vibrace vyvolané dopravou po komunikaci v okolí památkově chráněného kostela způsobují zhoršování technického stavu jeho konstrukce. Hodnocení vlivu sesouvání základové půdy (svahu) si vyžaduje další odborné studie.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl při řešení projektu GAČR 103/09/2007 Vliv technické a přírodní seismicity na statickou spolehlivost a životnost staveb.

Literatura

ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva. ČNI 1996.

KALÁB, Z., STOLÁRIK, M.: Experimentální měření seizmického projevu kamionové dopravy. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VIII, č.1/2008*, ISSN 1213–1962, ISBN 978–80-248–1883-2, 2008, 235–239.

KALÁB, Z., KOŘÍNEK, R., KUBEČKA, K.: Studium odezvy stavebního objektu na zatížení dopravní seismicitou. *Proceedings of the 3rd International conference on Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering (DYN-WIND 2005). University of Žilina, Slovak Republic*, ISBN 80–8070-352–5, 2005, 86–89.

KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M., STOLÁRIK, M.: Seizmický projev dopravy na vybraných objektech – příklady z měření. *Geotechnika 2006, zborník medzinárodnej konferencie, ORGWARE Stupava a FAST, VŠB-TU Ostrava*, ISBN 80–248-1124–3, 2006, 213–218.

SALAJKA, V., KANICKÝ, V.: Příspěvek k posuzování seizmického zatížení stavebních objektů dopravou, *Transactions of the VŠB-TU Ostrava, Civil Engineering Series, roč. IV, č. 2*, 2004, 261–267.

¹ Authors

Doc. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc., Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava, Studentská 1768, CZ 708 00, Ostrava – Poruba, Česká republika, E-mail: kalab@ugn.cas.cz; také Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, FAST, VŠB-Technická univerzita Ostrava

Ing. Markéta Lednická, Ph.D., Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava, Studentská 1768, CZ 708 00, Ostrava – Poruba, Česká republika, E-mail: lednicka@ugn.cas.cz; také Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, FAST, VŠB-Technická univerzita Ostrava