

Martin STOLÁRIK¹

**EXPERIMENTÁLNÍ SEIZMICKÉ MĚŘENÍ – VLIV UCHYCENÍ SENZORU NA
KVALITU ZÁZNAMU**

**EXPERIMENTAL SEISMIC MEASUREMENT - INFLUENCE OF SENSOR
ANCHORING ON QUALITY OF RECORD**

Abstrakt

Článek popisuje experimentální měření, jehož cílem bylo ověření rozdílů v registraci mezi volně stojícího a upevněného senzoru pomocí kalibrovaného úderu. Měření bylo realizováno jak v terénu, tak i v laboratorních podmínkách. Získané záznamy byly hodnoceny v časové i frekvenční oblasti.

Abstract

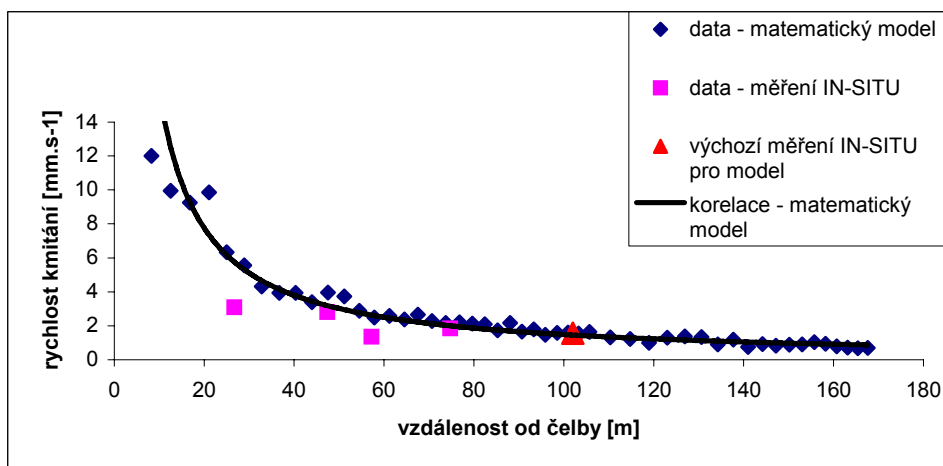
The paper describes the experimental seismic measurements to verify the difference between free-standing and firmly attached to the substrate sensor in seismic alarm by calibrated stroke. Experimental measurements were carried out in-situ and in laboratory. The results of the measurements were compared in time and frequency domain.

Úvod

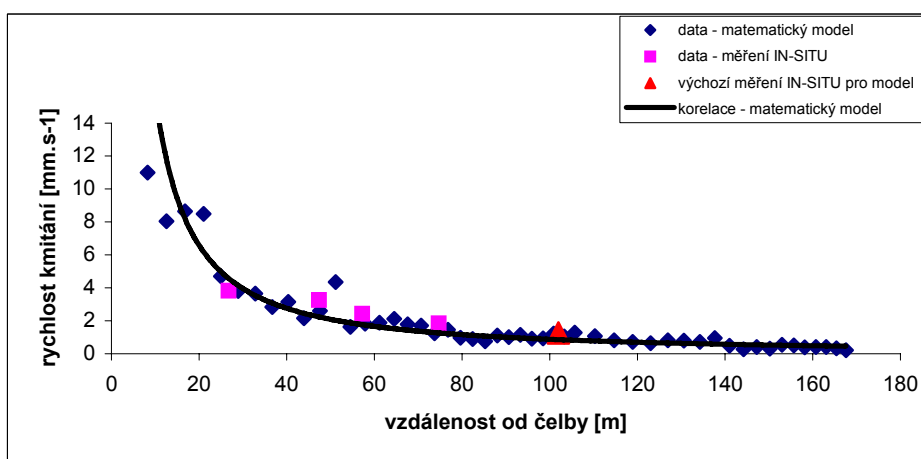
V roce 2008 bylo provedeno na tunelu Lahovice - Slivenec seizmické měření odezvy trhačí práce prováděné jako součást Nové Rakouské tunelovací metody [1]. Výsledky těchto seizmických měření vyvolaly diskusi k vysvětlení rozdílu měřených hodnot a výsledků matematického modelu v blízkosti čelby, kde je prováděna trhačí práce. Jedno z možných vysvětlení rozdílných hodnot z měření a matematického modelu je nedostatečně upevněný senzor k podkladu [2]. Příspěvek se bude zabývat experimentálním měřením, při kterém byla srovnávána data pořízená senzorem pevně uchyceným k podkladu a senzorem volně stojícím. Posouzen byl též vliv tohoto uchycení na rozdílnou kvalitu amplitudového a frekvenčního obrazu.

Výsledky výše uvedeného měření v Praze jsou publikovány např. v [3] a výsledky matematického modelu např. v [4]. Zásadní výsledek, zohledňující výsledky matematického modelu i experimentálního měření v tunelu lze prezentovat pomocí obrázků 1 a 2.

¹ Ing. Martin Stolarík, Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava, Studentská 1768, Ostrava,
e-mail: stolarik@ugn.cas.cz



Obr. 1 Závislost maximální amplitudy rychlosti kmitání na vzdálenosti od zdroje dynamického zatížení - svislá složka



Obr. 2 Závislost maximální amplitudy rychlosti kmitání na vzdálenosti od zdroje dynamického zatížení - vodorovná složka směrem k čelbě

Jak ukazuje obr. 1 pro svislý směr, resp. obr. 2 pro směr vodorovný ve směru ke zdroji dynamického zatížení, hodnoty naměřené v blízké zóně nekorelují s hodnotami získanými z matematického modelu. Chyba pro svislou složku dosahuje až 86% a pro vodorovnou 59%.

I. Experimentální měření – vliv uchycení senzoru – útlum in-situ

Cílem tohoto měření bylo co nejjednodušším způsobem ověřit rozdíl mezi volně ustaveným (Obr. 3) a pevně k podkladu uchyceným senzorem. Za tímto účelem byl vytvořen k senzoru ViGeo 2 upínací třmen, kterým je tento rychlostní senzor za pomoci

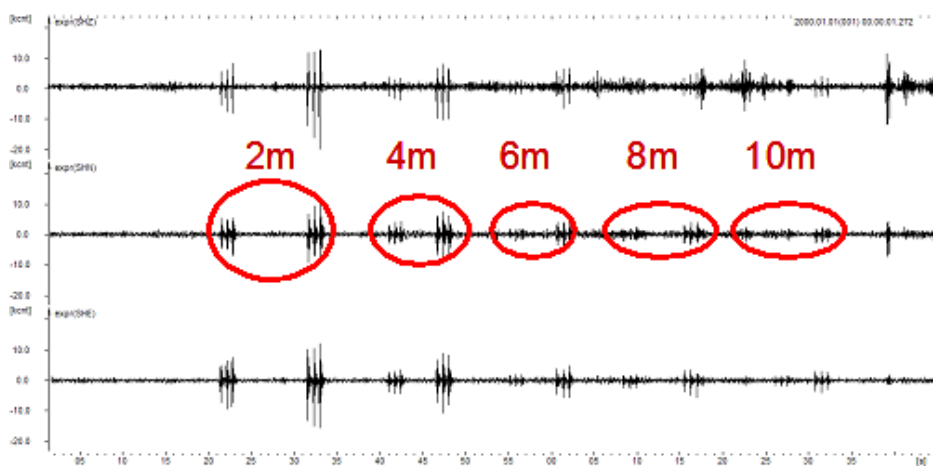
dvou vrutů do hmoždinek přitažen k podkladu (Obr. 4). Všechna měření byla prováděna seizmickou aparaturou Gaia 2 osazenou současně dvěma senzory ViGeo 2 při vzorkovací frekvenci digitálního záznamu 250 Hz. Vzájemná vzdálenost obou senzorů byla 0,5 m. Experimentální měření bylo realizováno na asfaltové cestě (mocnost asfaltu a podkladu nebyla známa), jako zdroj seizmického buzení byl použit úder kladiva (hmotnost 1200 g) a byl sledován útlum rychlosti kmitání ve vzdálenosti 2 m až 10 m s krokem 2 m.



Obr. 3 Volně ustavený senzor



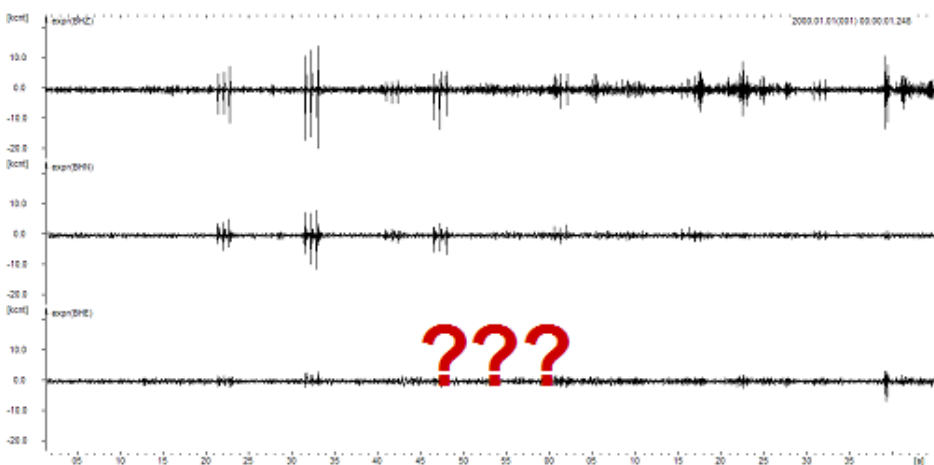
Obr. 4 uchycený senzor



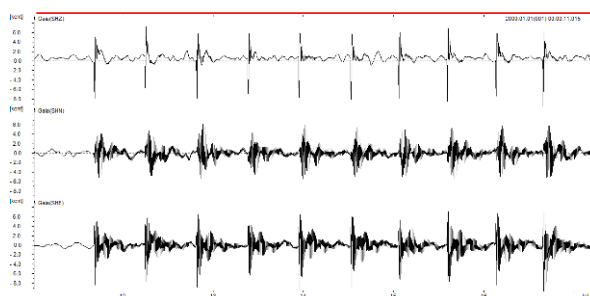
Obr. 5 Vlnový záznam – volně ustavený senzor

Na vlnovém záznamu volně ustaveného senzoru (Obr. 5) je zřetelně na všech třech složkách (stejná amplitudové měřítko všech složek) vidět odezva jednotlivých úderů s postupným útlumem odezvy se vzrůstající vzdáleností. Na vlnovém obrazu uchyceného senzoru je záznam na svislé složce obdobný jako u senzoru volně ustaveného (Obr. 6). Vodorovná složka ve směru sever-jih je méně zřetelná než u volně ustaveného senzoru, obzvláště se zvětšující se vzdáleností od senzoru a na vodorovné složce ve směru východ-západ není vidět téměř žádná odezva. Experimentální měření

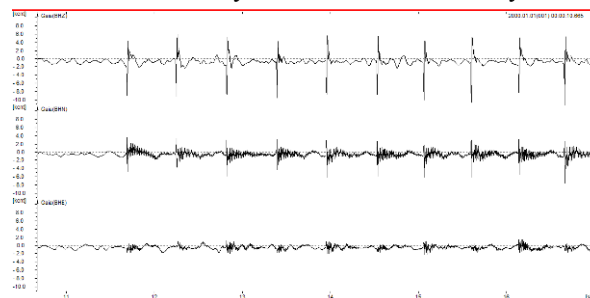
bylo tedy zopakováno ve vzdálenosti dvou metrů od senzorů pro vyloučení možné chyby způsobené při realizaci měření a kromě amplitudového rozboru byla provedena také frekvenční analýza.



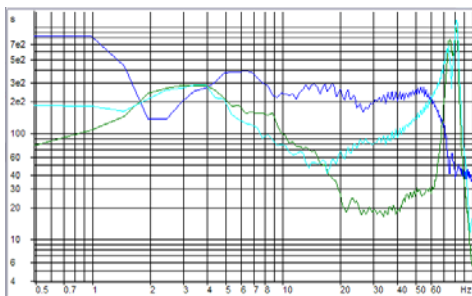
Obr. 6 Vlnový záznam – uchycený senzor (téměř žádná odezva na vodorovné složce východ-západ)



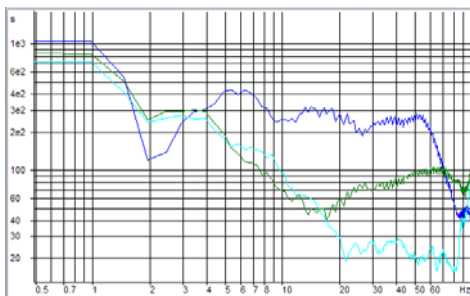
Obr. 7 Vlnový záznam – volně ustavený senzor



Obr. 8 Vlnový záznam – uchycený senzor



Obr. 9 Frekvenční obraz – volně ustavený senzor



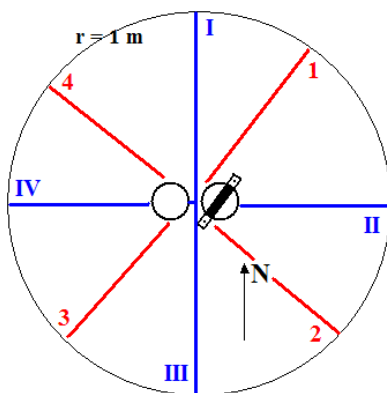
Obr. 10 Frekvenční obraz – uchycený senzor

Na obrázku 7 pro volně ustavený senzor, resp. 8 pro uchycený senzor je detailnější výřez z celého záznamu druhého měření (stejně amplitudové měřítko všech složek). Tak jako u prvního měření je u uchyceného senzoru opět méně zřetelná odezva na vodorovné složce sever-jih a vodorovná složka ve směru východ-západ je oproti volně ustavenému senzoru téměř nečitelná. Odezva na svislé složce je u obou záznamů obdobná.

Ve frekvenční oblasti (Obr. 9, 10) se u volně uloženého senzoru vyskytuje na obou vodorovných složkách výrazný pik kolem 80 Hz, což by mohla být parazitní rezonance senzoru. U přitaženého senzoru tento pik na vodorovných složkách zcela chybí. Pro svislou složku je u obou analýz spektrum obdobné.

II. Exp. měření – vliv uchycení senzoru – kruhové měření v laboratoři

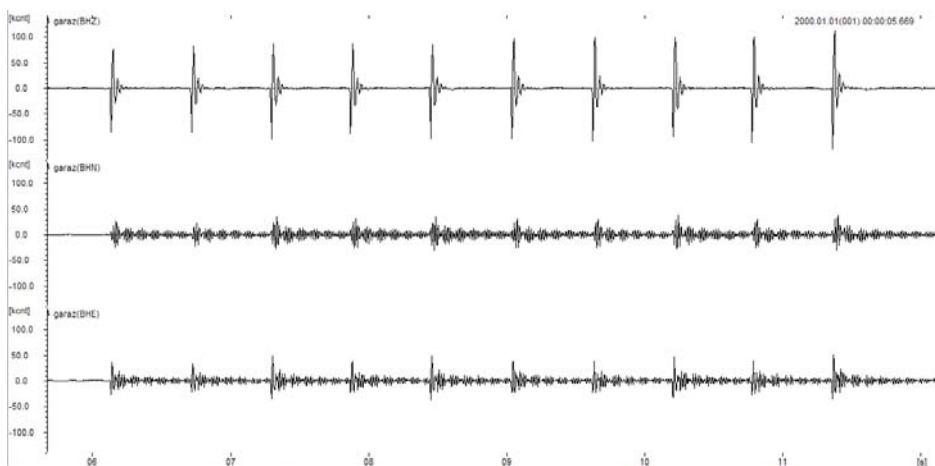
Pro vyloučení nepříznivého vlivu upevňovacího třmenu bylo provedeno druhé experimentální měření. Toto měření bylo realizováno na lité betonové podlaze v laboratoři. Seismický impuls byl iniciován po obvodu kruhu ve vzdálenosti 1 m od senzorů. Opět byly použity dva senzory ViGeo 2 v malé vzdálenosti od sebe, jeden volně ustavený a druhý pevně uchycený k podkladu upínacím třmenem (Obr. 11).



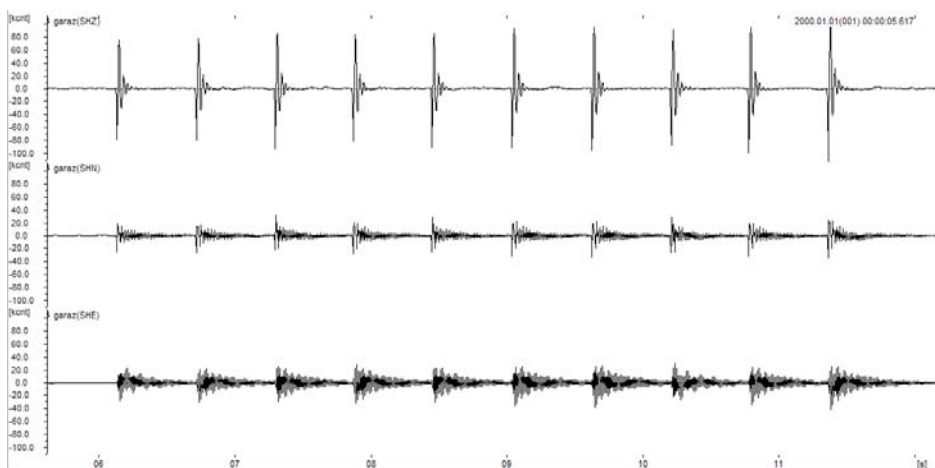
Obr. 11 Schéma experimentálního měření v laboratoři

Postupně seizmický impuls přicházel ze směru sever, východ, jih, západ (viz. Obr. 11 – římské číslice I - IV) a poté podle orientace třmenu (viz. Obr. 11 – arabské číslice 1 – 4). Cílem takto provedeného měření bylo potvrdit či vyvrátit možný vliv upínacího třmenu.

Pro názornost je na obrázcích 12 a 13 představen celý záznam se stejnými amplitudovými měřítky pořízený při buzení ze směru III. Na obou vodorovných složkách je možné vysledovat u uchyceného senzoru snížení rezonance senzoru a rychlejší utlumení jednotlivých rázů. Amplitudový průběh na svislé složce je pro volně ustavený a uchycený senzor obdobný. Uchycený senzor vykazuje nepatrně vyšší maximální amplitudu.

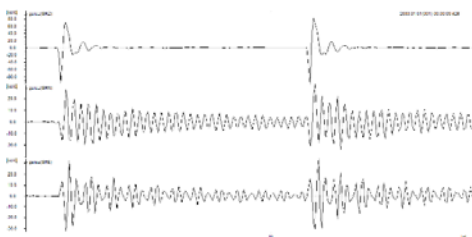


Obr. 12 Volně ustavený senzor - směr III

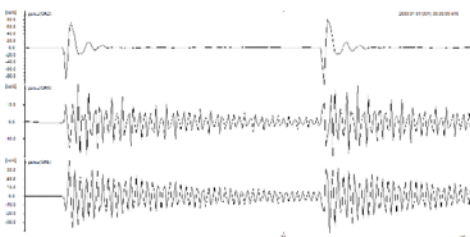


Obr. 13 Uchycený senzor - směr III

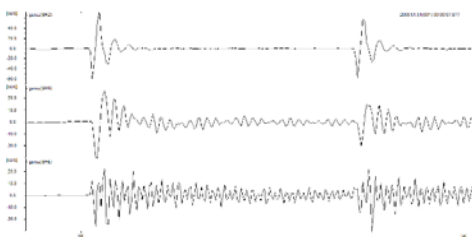
Na následujících obrázcích (Obr. 14 – 21) jsou ve výřezech prezentovány výsledky z měření podle orientace upínacího třmenu (směr 1 až 4 – viz. Obr. 11), neboť u tohoto měření je vliv uchycení senzoru k podkladu markantnější. Amplitudová měřítká již nejsou stejná, aby byl lépe čitelný průběh na vodorovných složkách, kde je výrazně menší maximální amplituda rychlosti kmitání oproti složce svislé.



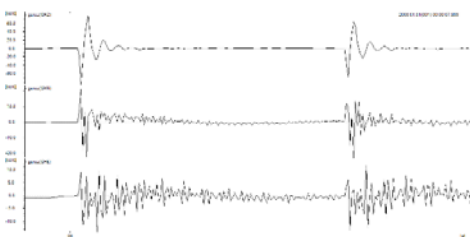
Obr. 14 Volně ustavený senzor - směr 1



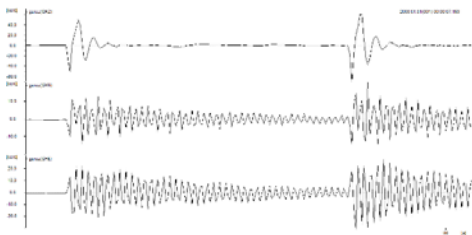
Obr. 15 Uchycený senzor - směr 1



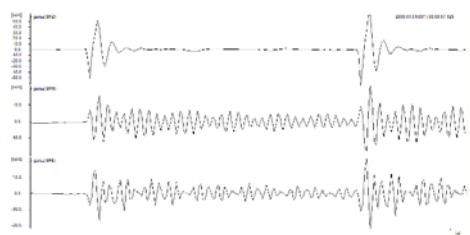
Obr. 16 Volně ustavený senzor - směr 2



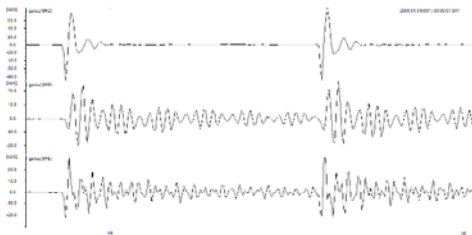
Obr. 17 Uchycený senzor - směr 2



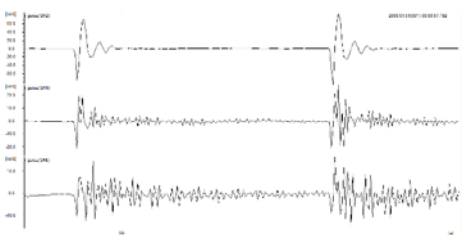
Obr. 18 Volně ustavený senzor - směr 3



Obr. 19 Uchycený senzor - směr 3



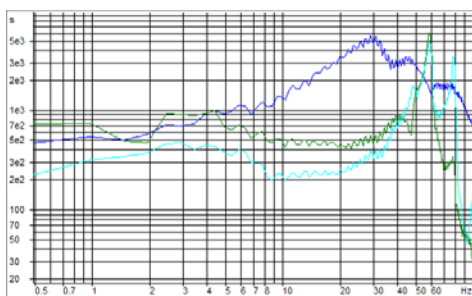
Obr. 20 Volně ustavený senzor - směr 4



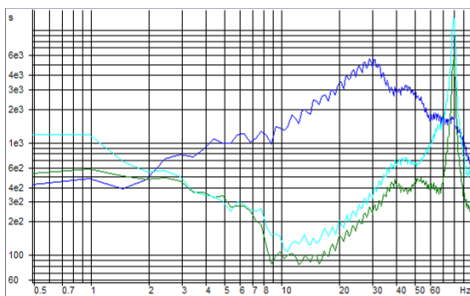
Obr. 21 Uchycený senzor - směr 4

Jak je patrné z obrázků, anomálie z předchozího měření in-situ se na vodorovných složkách neobjevila. Na obrázku 17 resp. 21 je možné vidět u přitaženého senzoru na vodorovné složce sever-jih výrazný ostrý nástup s následným rychlým utlumením oproti senzoru volně stojícímu. Podobný, ale ne již tak markantní jev je pozorovatelný také na

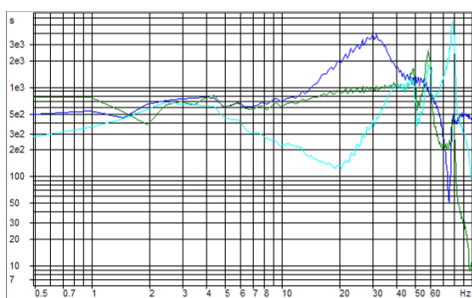
obrázku 15 resp. 19 na vodorovné složce východ-západ. Následně byla pro srovnání provedena frekvenční analýza všech osmi záznamů (Obr. 22 - 29).



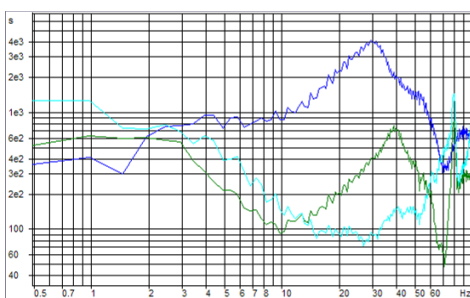
Obr. 22 Volně ustavený senzor - směr 1



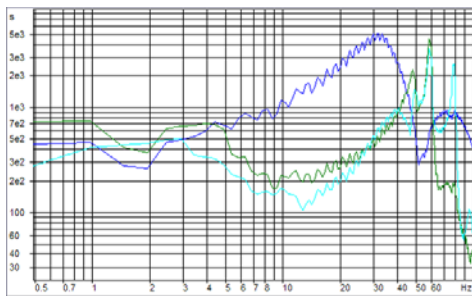
Obr. 23 Uchycený senzor - směr 1



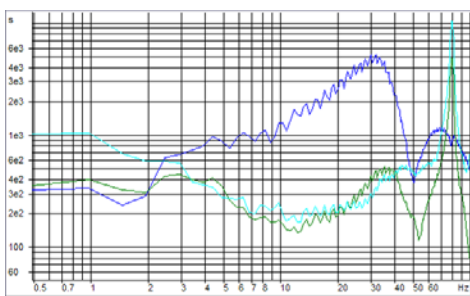
Obr. 24 Volně ustavený senzor - směr 2



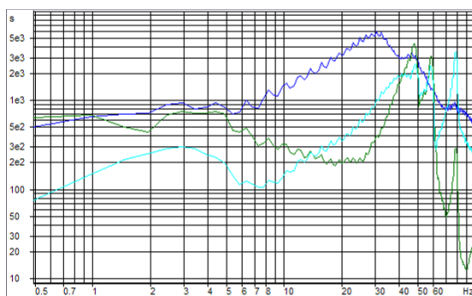
Obr. 25 Uchycený senzor - směr 2



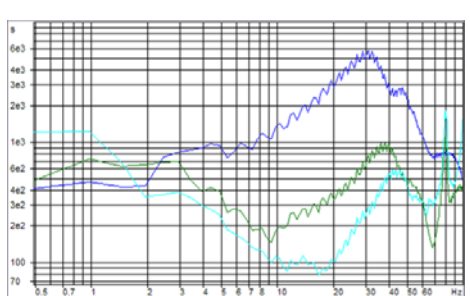
Obr. 26 Volně ustavený senzor - směr 3



Obr. 27 Uchycený senzor - směr 3



Obr. 28 Volně ustavený senzor - směr 4

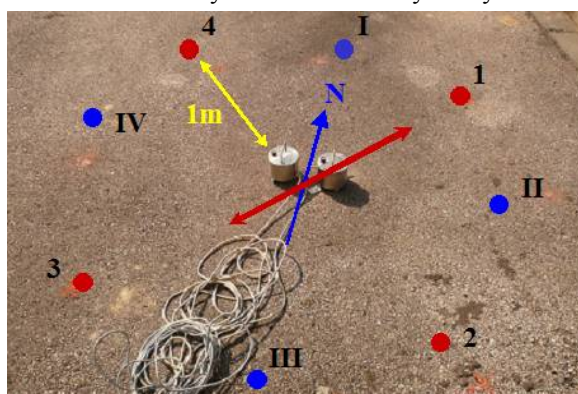


Obr. 29 Uchycený senzor - směr 4

Ve všech spektrech u volně ustaveného senzoru se na obou vodorovných složkách vyskytuje vždy několik píků v rozmezí od 45 Hz do 80 Hz. U uchyceného senzoru na obou vodorovných složkách je vždy jen jeden pík na frekvenci 80 Hz. Opět by se mohlo jednat o parazitní rezonanci senzoru. Svislá složka je ve všech osmi spektrech obdobná a bez výraznějšího píku.

III. Exp. měření – vliv uchycení senzoru – kruhové měření in-situ

Třetí experimentální měření bylo realizováno in-situ opět na asfaltové cestě. Oproti prvnímu měření však byla zvolena jiná lokalita. Princip měření byl zcela stejný jako v laboratoři (Obr. 30). Toto měření mělo po prvním neúspěšném měření in-situ potvrdit či vyvrátit použitelnost upínacího třmenu i mimo laboratorní podmínky. Pro názornost zde bude na obrázcích uvedeno již jen srovnání spekter volně stojícího a přitaženého senzoru při seizmickém buzení v bodě I resp. v bodě 1 (Obr 31, 32). Výsledky měření in-situ se shodovaly s laboratorními výsledky.



Obr. 30 Schéma experimentálního měření in-situ

Závěr

V příspěvku bylo prezentováno experimentální měření in-situ a v laboratoři, při němž se srovnávalo měření senzorem pevně uchyceným upínacím páskovým třmenem se senzorem volně ustaveným a vliv tohoto uchycení na záznam vlnového obrazu a následnou frekvenční analýzu.

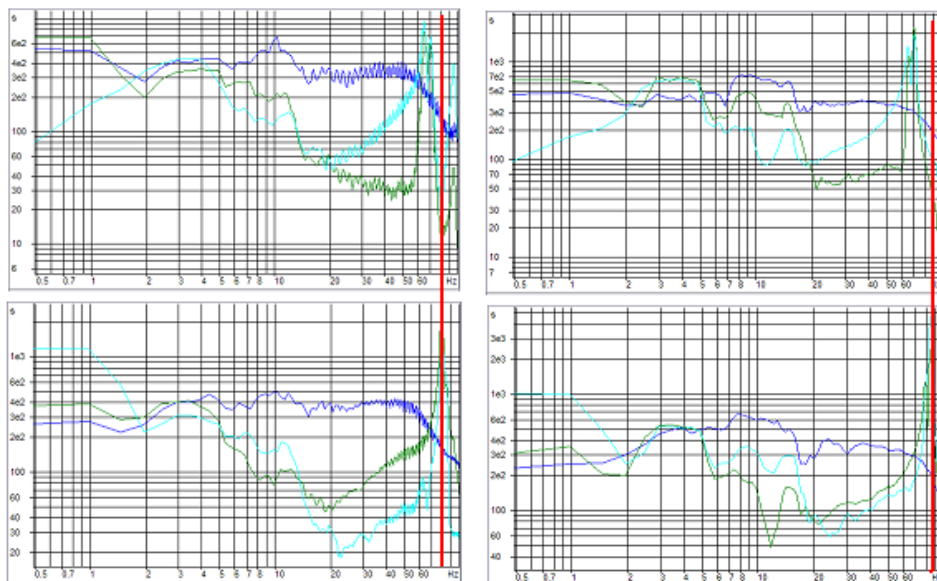
U prvního experimentálního měření, prováděného in-situ byla u uchyceného senzoru zaznamenána anomálie na vodorovných složkách jak v amplitudové tak frekvenční oblasti. Na záznamu byla nečitelná odezva a frekvenční obraz byl na rozdíl od volně ustaveného senzoru bez výrazného píku. Anomálie byla zaznamenána i při opakovaném měření. Možnou příčinou jsou výrazné změny v podloží měřeného místa, neboť v jiné lokalitě anomálie na záznamu nevznikla.

Druhé, kruhové měření v laboratoři mělo vysvětlit anomálii z prvního měření. Toto se nepotvrdilo. V amplitudové oblasti u uchyceného senzoru došlo k výraznému omezení parazitní rezonance senzoru. Záznam na vodorovné složce má ostřejší nástupy s následným rychlejším utlumením amplitudy. Toto omezení rezonance senzoru je však významné pouze při buzení ve směru páskového třmenu. Ve frekvenční oblasti u uchyceného senzoru došlo k posunutí píků do vyšších frekvencí (cca o 20 Hz), tedy o zpřesnění frekvenčního obsahu záznamu.

Třetí experimentální měření, prováděné in-situ potvrdilo výsledky kruhového měření v laboratoři.

Při experimentálních měřeních nebyla sledována hodnota maximální amplitudy rychlosti kmitání, neboť nebyl použit přesný cejchovaný úder. Sledován byl pouze průběh rychlosti kmitání.

Z předešlého vyplývá, že při tomto experimentálním měření jak v laboratoři na betonové podlaze tak in-situ na rovné asfaltové cestě byla potvrzena účelnost použití upínacího páskového třmenu k uchycení senzoru k podkladu. Lepší kvalita se projevuje hlavně v záznamu vyvolaného jevu, je však limitována orientací páskového třmenu. Předmětem dalšího zkoumání bude aplikace upínacího třmenu (případně jiné varianty uchycení směřující k celkovému omezení rezonance senzoru) na rostlé hornině při seizmickém buzení cejchovaným úderem a následně měření odezvy trhačí práce.



Obr. 31 Volně ustavený senzor versus uchycený senzor – bod I

Obr. 32 Volně ustavený senzor versus uchycený senzor – bod 1

Poděkování: Tento příspěvek byl zpracován při řešení projektu GAČR 105/09/1415.

Literatura

- [1] ALDORF, J. a kol. *Zásady a principy NRTM jako převažující metody konvenčního tunelování v ČR*. Český tunelářský komitét ITA/AITES, 2006.
- [2] SMETANA, C. a kol. *Hluk a vibrace – Měření a hodnocení*. Sdělovací technika, Praha, 1998.
- [3] STOLÁRIK, M. & KALÁB, Z. Spectral Analysis of Blasting Performed in Shallow Tunnel. In *Sborník referátů konference Geo-Symposium Mlodych Badaczy Silesia 2008 - Nowe trendy w Naukach o Ziemi*, Sosnowiec pp. 82-87.
- [4] STOLÁRIK, M. Matematické modelování dynamických účinků trhačích prací programovým systémem Plaxis 2D, In *Ph.D. Workshop 2008 Proceedings*, (R.Blaheta, A.Kolcun eds.), 2008, Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava, pp. 60-64.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. RNDr. Blažej Pandula, Ph.D., Technická univerzita v Košiciach, F BERG