

**Zdeněk KALÁB<sup>1</sup>**

**POSOUZENÍ TVARŮ POMĚROVÝCH SPEKTER ZÁZNAMŮ SEIZMICKÉHO  
NEKLIDU Z KARVINSKÉ OBLASTI**

**EVALUATION OF SPECTRAL RATIOS SHAPES OF SEISMIC NOISE FROM  
KARVINÁ REGION**

**Abstract**

This paper deals with presentation of different shapes of spectral ratios. Experimental measurement was realized in Karviná region that is affected by mining induced seismicity and that is very industrialized region. Results were documented for both sets of mining induced seismic events and sets of ambient noise.

**Key words:** site effect, urban area, mining induced seismicity

**Úvod**

Při posuzování seizmického zatížení dané oblasti patří k nejdůležitějším informacím poznatek o zesilování či zeslabování vibrací na povrchu v důsledku geologických poměrů v místě měření, tzv. site effect. Podrobnější rozbor vlivu sedimentárních vrstev na seizmické vlnění byl proveden např. Kalábem a Knejzlíkem (2007). V rámci projektu Grantové agentury České republiky číslo 105/07/0878 je tento jev studován v karvinské oblasti. Studium vychází ze záznamů důlně indukovaných seizmických jevů na povrchových permanentních stanicích provozovaných ÚGN. V současné době je těchto stanic pět a z pohledu jejich lokální geologie je můžeme rozdělit následovně:

- ☐ Stanice Orlová – stanoviště v oblasti bez významnější mocnosti sedimentů (cca 1-2 m kvartérních sedimentů)
- ☐ Ostatní stanice – Karviná, Darkov, Stonava 1, Stonava 2 – stanoviště v oblastech s mocností terciérních a kvartérních sedimentů 300 – 550 m

Ke studiu byl vyvinut seizmologický software MISS - Mining Induced Seismic eventS. Popis základních funkcí tohoto programového vybavení byl proveden v článku Kalába a Knejzlíka (2006). Z pohledu stanovení vlivu lokální geologie na velikost seizmických projevů v daném místě je používán výpočet poměru spekter H/V (např. Nakamura, 1989, Abbott et al., 2001, Ansal, 2004). Program MISS umožňuje pro danou stanici vypočítat z měřených složek NS a EW složku horizontální a tu použít pro výpočet spektra (FFT) a následně stanovit spektrální poměr (výsledná křivka je vyhlazena splinem). Program umožňuje pro vybranou množinu jevů postupně vypočítávat poměry H/V a výsledek použít (či odmítnout) pro stanovení zprůměrované hodnoty poměru H/V pro dané místo. Příklady výpočtů lze nalézt v Kaláb et al., 2008. V tomto článku jsou výsledky seizmologické analýzy podloženy i výsledky matematického modelování pomocí dynamického modulu programu Plaxis 2D.

Kromě záznamů důlně indukovaných seizmických jevů byl testován seizmický neklid, který byl zaznamenán při experimentálních měřeních v karvinské oblasti (Kaláb a Lyubushin, 2008). V následujících částech příspěvku jsou shrnuty poznatky

---

<sup>1</sup> Doc., RNDr., CSc., Ústav geoniky AV ČR, Studentská 1768, Ostrava, kalab@ugn.cas.cz, též VŠB Technická univerzita Ostrava, fakulta stavební, L. Podešť 1875, Ostrava

z dosavadních zpracování seizmických dat metodou spektrálních poměrů H/V pro karvinskou oblast. Měření seizmických projevů v povrchových objektech a následná hodnocení přispívají k zpřesnění rutinního hodnocení seizmických účinků důlně indukovaných seizmických jevů na povrchu, které pro karvinskou oblast zpracovává OKD, DPB, a.s. Paskov. Výsledkem těchto zpracování na DPB jsou mapy izolinií maximální rychlosti kmitání hmotného bodu na povrchu. Složité tvary izolinií rychlosti kmitání převažují u většiny hodnocených seizmických jevů a potvrzují předpoklady, že vlnové pole na povrchu je ovlivněno jak mechanismem ohniska seizmického jevu, tak lokálními nehomogenitami geologické stavby (Holečko et al., 2007). Význam lokální geologie je zatím předmětem výzkumu a není do výpočtu izolinií zahrnut. Jedním z cílů námi prováděných studií dat ve spektrální oblasti je zpřesnění vlnových polí na povrchu.

### **Poznatky ze zpracování důlně indukovaných seizmických jevů**

Využití záznamů důlně indukovaných seizmických jevů pro studium vlivu lokální geologie na velikost seizmických projevů na povrchu pomocí metody spektrálních poměrů ukázali Olszewska a Lasocki (2004). Kaláb a Knejzlík (2006) představili první výsledky tohoto zpracování na seizmických datech z karvinské oblasti. Data byla naměřena semi-permanentními stanicemi, jejichž snímače byly umístěny na základech velkých povrchových objektů. Závěry z těchto experimentálních interpretací lze shrnout následovně:

- ❑ Spektrální poměry důlně indukovaných seizmických jevů v daném místě mají svůj typický charakter (tvar), který se ustaluje po zpracování 15 – 20 jevů (v průměru jednotlivých spekter). Velikosti maxim poměrů pro různé skupiny jevů mohou však být rozdílné.
- ❑ Dvě a více maxim na spektrálních křivkách ukazují na složité geologické prostředí (lokální geologie či porušení horninového masívu sedáním v důsledku poddolování)

První těžce interpretovatelné výsledky byly získány při zpracování dvou množin důlně indukovaných seizmických jevů: jedna množina je tvořena jevy silnými (nejméně na jedné složce maximální amplituda rychlosti kmitání překročila hodnotu 1 mm.s<sup>-1</sup>), druhá množina je tvořena jevy slabými (maximální složkové amplitudy rychlosti kmitání byly v rozmezí 0,5 až 1 mm.s<sup>-1</sup>). Tyto množiny byly sestaveny z registrací na stanicích Stonava 1, Karviná 1 a Darkov 1. Výsledek lze stručně popsat následovně (Kaláb a Knejzlík, 2008):

- ❑ Stanice Stonava 1 – průměrné spektrální poměry vypočtené z obou množin jsou si velmi podobné, a to tvarem i velikostí píků
- ❑ Stanice Karviná 1 – i pro tuto stanici jsou průměrné spektrální poměry velmi podobné, v průměrném spektrálním poměru z množiny silných jevů je významný pík na hodnotě 5,5, který v průměru ze slabých jevů chybí (nebylo prokázáno, zda je to projev lokální geologie či snad rezonanční frekvence budovy, v níž měření probíhalo)
- ❑ Stanice Darkov 1 - průměrné spektrální poměry vypočtené z obou množin jsou zcela odlišné, a to tvarem i velikostí píků; průměrný spektrální poměr z množiny silných jevů má jedno široké maximum o hodnotě 8 na frekvenci 2 Hz, průměrný spektrální poměr z množiny slabých jevů má dvě maxima s velikostí 10 na frekvenci 1,7 Hz a velikostí 6 na frekvenci 3,7 Hz

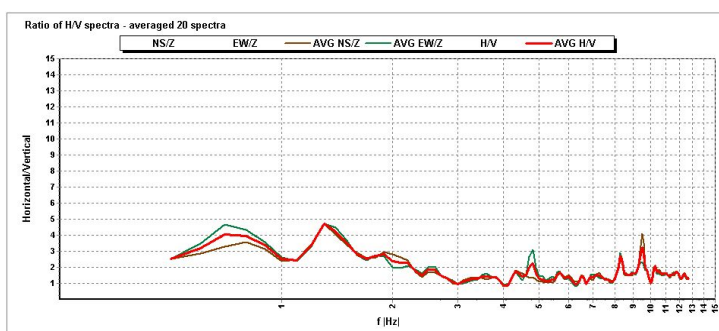
Hrubešová a Kaláb (2005), Hrubešová et al. (2006) a Kaláb et al. (2008) realizovali výpočty dynamických projevů na povrchu pro modelové situace z Karvinska. S využitím programu Plaxis (Holandsko, [www.plaxis.nl](http://www.plaxis.nl)) bylo získáno několik výsledků, které dokladují změnu velikosti seizmických účinků v důsledku změny mocnosti sedimentárního pokryvu pod studovaným objektem. Dosavadní výpočty však nezobrazují zcela reálnou situaci, neboť se jedná pouze o rovinný model (2D) a horizontálně zvrstvené prostředí.

### Poznatky ze zpracování seizmického neklidu z Karvinska

Bonnefoy-Claudet et al. (2006) zpracovali studii o použití metody spektrálních poměrů na záznamech seizmického neklidu. K nesporným výhodám tohoto zdroje dat patří snadná, levná a rychlá registrace většího množství dat bez nutnosti dlouhodobé registrace („čekání na jev“). Spektrální poměry neklidu jsou však významně ovlivněny zdrojem neklidu, vzdáleností a hloubkou zdroje (H/V je citlivější na velikost amplitudy, méně na frekvenci zdrojové funkce). Velikost amplitudy píků křivek H/V z neklidu nelze použít pro stanovení zesilovacího faktoru (spektrální poměry jsou ovlivněny lokálními povrchovými zdroji, případně povrchovými vlnami).

Měření seizmického neklidu pro diskutovaný účel bylo provedeno dvěma experimenty. První spočíval v registraci seizmického neklidu podél 450 m dlouhého profilu, při druhém experimentu se pořizovala data na jednom registračním bodě.

Kaláb a Lyubushin (2008) detailně interpretovali výsledky prvního experimentu. Profil pro experimentální měření byl víceméně přímkový, vzájemná vzdálenost měřících bodů byla 50 m. Mocnost sedimentárního pokryvu (nerozlišené horniny terciérní a kvartérní) se pozvolna měnila z cca 450 na 550 m (odečteno z geologické mapy). Na každém bodě bylo provedeno celkem 10 záznamů s minimální délkou 25 s. Souhrnně lze konstatovat, že jednotlivé křivky spektrálních poměrů (sumární křivky) nejsou tvarově výrazně odlišné. Převládající frekvence v grafech spektrálních poměrů je mezi 1 - 2 Hz, s výjimkou dvou bodů, nelze však přesně stanovit tuto hodnotu (široká zvlněná nevýznamná maxima). Většina spekter vykazuje pík na hodnotě cca 5 Hz, který pravděpodobně odpovídá zdroji neklidu (příklad spektrálního poměru na obr. 1).



**Obr. 1** Příklad spektrálního poměru z experimentálního měření (viz text)

V místě měření seizmického neklidu při druhém experimentu se nachází cca 300 m nerozlišeného sedimentárního neklidu, přičemž na povrchu je ulehla cca 15 m mocná vrstva sypané hlušiny. Při druhém experimentu byly pořízeny tři sady po dvaceti záznamech seizmického neklidu. Jednotlivé sady byly pořízeny s cca jednohodinovým

odstupem ve večerních až nočních hodinách. Ze sad byly vyloučeny záznamy, při nichž projíždělo po nedaleké komunikaci (cca 250 m) nákladní auto. Z jednotlivých sad byly vypočteny výše popsanou metodikou průměrné poměry H/V spekter (obr. 2). Protože pro měření byl použit senzor s vlastní frekvencí 2 Hz, nelze při interpretaci brát do úvahy část křivky pod tuto vlastní frekvenci (v důsledku útlumu malé měřené hodnoty a zcela nereálné poměry).

Pro toto experimentální měření byly použity aparatury typu PCM3-EPC (např. Knejzlík a Kaláb, 2002) se snímačem rychlosti kmitání typu Le3D s vlastní frekvencí 2 Hz. S ohledem na frekvenční rozsah aparatury a vzorkovací kmitočet byl analyzován interval 2 – 15 Hz. Jednotlivé průměrné křivky poměrů H/V spekter lze charakterizovat následovně:

- ❑ První časové období (horní část na obr. 2) – převládající hodnota poměru je 2, v hodnotách nad 8 Hz je vyšší, tj. až 4. V poměru je výrazný pík na 4,1 Hz o hodnotě cca 5,5, další méně významný pík je na 9,2 Hz o hodnotě cca 5.
- ❑ Druhé časové období (střední část na obr. 2) - převládající hodnota poměru je 1. Na poměrové křivce je pouze jeden méně výrazný pík na 5 Hz o hodnotě 2.
- ❑ Třetí časové období (dolní část na obr. 2) - převládající hodnota poměru je 1. Na poměrové křivce je pouze jeden méně výrazný pík na 5 Hz o hodnotě 3,5.

Analýza tohoto experimentu prokázala, že křivky poměrů H/V spekter seizmického neklidu nemají stejný tvar. O důvodu lze pouze spekulovat, neboť v současné době není k dispozici dostatečný soubor dat pro interpretace. Podle literatury lze předpokládat, že může jít o vliv nedalekého zdroje seizmického neklidu. V karvinské oblasti lze uvažovat o řadě intenzivních zdrojů neklidu spojené s technologií těžby uhlí nebo průmyslovými aktivitami.

## **Závěr**

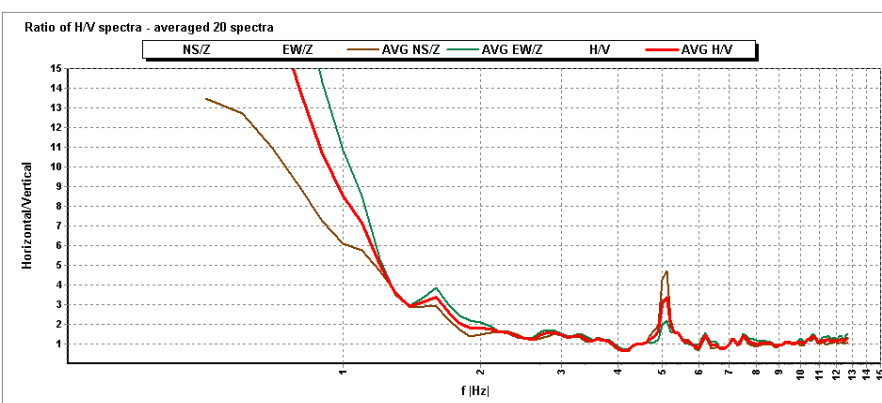
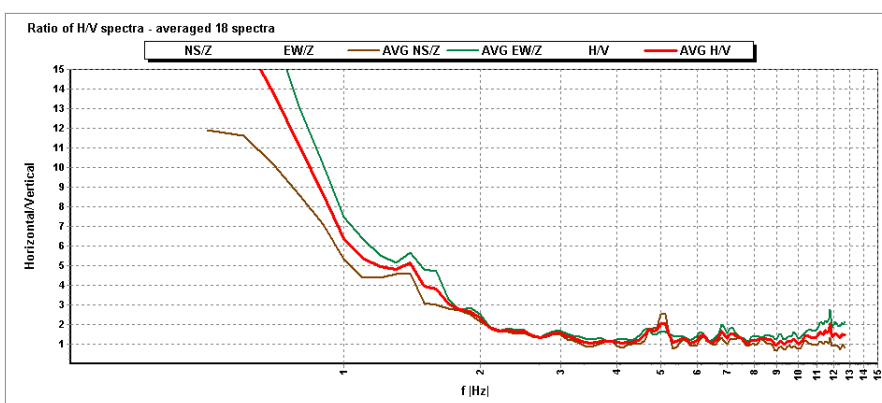
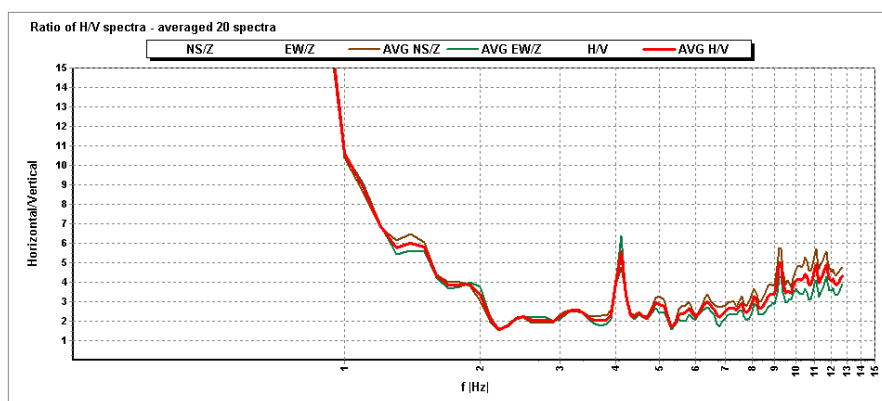
Metoda spektrálních poměrů H/V je velmi populární pro stanovení míst na povrchu se zesilujícími účinky. Je využívána také pro následné interpretace, především jde o určení některých parametrů sedimentárního profilu. Lokální geologická stavba hraje v hodnocení seizmického zatížení velmi významnou roli (např. Janotka et al., 2006). Využívány jsou záznamy přirozených zemětřesení, důlně indukované seismicity a v poslední době i seizmického neklidu. Pro oblast Karvinska jsou využívány především záznamy důlně indukovaných seizmických jevů. V této studii jsou shrnuty výsledky předchozích studií a nově provedené analýzy vycházející ze záznamů seizmického neklidu.

V rámci projektu GAČR bylo realizováno několik cílených experimentálních měření, jejichž cílem bylo získat základní informace o využití metody spektrálních poměrů v karvinské oblasti. Ta je z geologického hlediska specifická jednak velmi složitou geologickou stavbou (s významnou zlomovou tektonikou), jednak velmi rozdílnou mocností pokryvných útvarů karbonského pohoří (od 0 do 600 m). Z geodetického hlediska je nutno připomenout významné, často velmi rychlé, poklesy povrchu v důsledku těžby. Také hydrogeologická situace je v důsledku těžby, poklesů povrchu a rekultivací povrchu (navážky) velmi komplikovaná.

Dosavadní výsledky ukazují na možnost stanovení spektrálních poměrů z dat důlně indukovaných seizmických jevů. Zatím však nebyly získané poměry spolehlivě interpretovány. Využití seizmického neklidu v prvních studiích neprokázalo srovnatelné výsledky se zpracováním seizmických jevů.

# Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován za podpory projektu GAČR 105/07/0878 Studium seizmických účinků v okolí seizmické stanice v závislosti na místních geologických podmínkách.



**Obr. 2** Průměrné hodnoty H/V spekter pro tři sady záznamů seizmického neklidu (viz text)

## Literatura

- [1] Abbott, R. et al. (2001): Analysis of Shallow Site Response to LARSE-2 Blasts at Precarious Rock Sites Near the San Andreas Fault. Final Report, <http://quake.seismo.unr.edu/ftp>.
- [2] Ansal, A. – ed. (2004): Recent Advance in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht/Boston/London.
- [3] Bonnefoy-Claudet, S., Citron, F and Bard P-Y. (2006): The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies. A literature review. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- [4] Holečko, J., Mořkovská, E. a Suchánek, E. (2007): Indukovaná seismicitá v OKR. Sborník geomechanického a geofyzikálního kolokvia, Ostravice, OKD, DPB, a.s. Paskov, 98-107.
- [5] Hruběšová, E. a Kaláb, Z. (2005): Užití programu Plaxis pro modelování účinků důlně indukované seismicity na povrchové objekty. Transactions, řada stavební, roč. V, č.2/2005, 53-59.
- [6] Hruběšová, E., Kaláb, Z. a Vojtasík, K. (2006): Modelování vlivu podzemní vody na velikost seizmických projevů na povrchu. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VI, č.1/2006, 103-108.
- [7] Janotka, V., Viskup, J., Pandula, B. and Leššo, I. (2006): Soil Profiles and Seismic Loading. Metalurgija 45, 127-130.
- [8] Kaláb, Z. a Knejzlík, J. (2006): Analýza projevů důlně indukovaných jevů z karvinské oblasti ve frekvenční oblasti. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, 147-154.
- [9] Kaláb, Z. a Knejzlík, J. (2007): Možnosti posouzení efektu zesílení seizmických vln v zastavěných oblastech. Transactions, řada stavební, roč. VII, č.2/2007, 99-108.
- [10] Kaláb, Z. and Knejzlík, J. (2008): Spectral Ratio Evaluation of Mining Induced Seismic Events from Karviná Region (Czech Republic). Proceedings of ESC2008, 31st General Assembly, CD - Short Papers elect. volume, 175-181.
- [11] Kaláb, Z. and Lyubushin, A.A. (2008): Study of Site Effect using Mining Induced Seismic Events and Ambient Noise from Karviná Region. Acta Geodynamica et Geomaterialia, Vol. 5, No. 2(150), 105-113.
- [12] Kaláb, Z., Knejzlík, J. a Hruběšová, E. (2008): Vliv lokální geologie na rychlost kmitání na povrchu v karvinské oblasti. Uhlí-Rudy-Geologický průzkum, č.1/2008, 26-31.
- [13] Knejzlík, J. and Kaláb, Z. (2002): Seismic Recording Apparatus PCM3-EPC. Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-24(340), 187-194.
- [14] Nakamura, Y. (1989): A Metod for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. QR Railway Technical Research Institute, 30, 1.
- [15] Olszewska, D. and Lasocki, S. (2004): Application of the Horizontal to Vertical Ratio Technique for Estimating the Site Characteristics of Ground Motion caused by Mining Induced Seismic Events. Acta Geophysica Polonica. Vol. 52, No. 3, 302-318.