

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE BRIDGE STRUCTURES DUE TO PARASEISMIC LOAD

D. Papán*, Z. Bergerová*

Summary: *The main aim was to identify the spectral characteristics of dynamic load of selected bridge structures and response from microtremor effect involved due to roadway and railway. For both types of bridges, the dominant frequency bands were identified which correspond to the natural frequency peaks in numerical model simulation. For all these case studies the frequency transfer (via spectral characteristics) and the vibration level decreases depending on the distance of the observed vibration source. These case studies showed certain dominant frequency bands for railway and for roadways.*

1. Úvod

V súčasnosti pociťujeme prudký nárast intenzity všetkých typov dopravy. S touto skutočnosťou sa zvyšujú aj účinky technickej seizmicity na stavby stojace v tesnej blízkosti dopravných ciest. Tieto stavby stále viac ovplyvňujú rôzne typy napäťových vln vznikajúcich pri technickej seizmicite. Medzi takéto konštrukcie patria aj technicky a ekonomicky náročné stavebné objekty-mostné konštrukcie. Ich životnosť a spoľahlivosť je závislá od únavových procesov na nich prebiehajúcich. Cyklické zmeny jednotlivých materiálov sú najčastejšie vyvolávané kmitaním v dôsledku dynamického zaťaženia.

Príspevok sa venuje analýze spektrálnych charakteristík zaťaženia a ohlasu na vybraných mostných konštrukciách vo vzťahu k technickej seizmicite.

2. Teoretické prístupy spektrálnej analýzy zdroja vibrácií

Pre riešenie náhodného javu je potrebné analyzovať tzv. stochastický proces (dej). Podľa charakteru delíme tieto deje na deterministické a stochastické.

Vlastnosti náhodných procesov môžeme hodnotiť v oblasti :

1. časovej (priebeh signálu v čase),
2. korelačnej (skúmanie korelácie v čase)
- efektívna hodnota vzťahu

$$\sigma_x = RMS = x_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x(t)^2 dt}. \quad (1)$$

* Ing. Daniel Papán, PhD., Ing. Zuzana Bergerová.: Katedra stavebném mechaniky, Stavebná fakulta, žilinská Univerzita v Žiline; Komenského 52, 010 01 Žilina, Slovensko, tel.: +421 41 513 5648;
e-mail: dano@fstav.uniza.sk, zuzana.bergerova@fstav.uniza.sk

- autokorelačná funkcia

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau)dt. \quad (2)$$

- vzájomná korelačná funkcia procesov $x(t)$, $y(t)$

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau)dt. \quad (3)$$

3. frekvenčnej (harmonická analýza signálu),
4. spektrálnej (rozloženie spektrálneho výkonu na jednotlivých frekvenciách)

- výkonová spektrálna hustota $G_{xx}(f)$

$$G_{xx}(f) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (4)$$

- koherenčná funkcia

$$\gamma_{xy}(f)^2 = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f)G_{yy}(f)} \leq 1. \quad (5)$$

- prenosová funkcia

$$H(if) = \frac{G_{xy}(f)}{G_{xx}(f)}. \quad (6)$$

5. pravdepodobnostnej (štatistické zhodnotenie),
6. informačnej (hodnotenie užitočného - determinovaného signálu v šume).

Výpočtové modely vozidiel

Vyjadrenie spektrálnych charakteristík zaťaženia dopravnými prostriedkami teoretickou cestou je zložitý proces. Parametre vstupujúce do problematiky sú buď vysoko variabilné, alebo nie sú dostatočne známe a je nutné ich identifikovať experimentálne. Príchodom nových programov pracujúcich na báze MKP je možné vytvárať vierohodnejšie výpočtové modely popisujúce prejazd vozidla po mostnej konštrukcii.

Vozidlo tvorí pri prejazde sústavu, pri ktorej dochádza k zmene polohy hmoty v čase, podľa polohy vozidla. Riešenie daného problému je pritom veľmi náročné a v minulosti bolo potrebné úlohu riešiť za zjednodušených predpokladov.

Výpočtové modely vozidiel pritom môžeme rozdeliť do štyroch skupín:

1. Vozidlo je možné modelovať ako sústavu s jedným stupňom voľnosti, v ktorej tuhosť k a tlmenie b vyjadruje pružné uchytenie karosérie.
2. Vozidlo je modelované ako model s dvomi stupňami voľnosti. Tento výpočtový model je opäť len veľmi hrubé zjednodušenie ale pre praktické účely je dostatočne výstižné.
3. Vozidlo môže byť modelované ako sústava s viacerými stupňami voľnosti. Vozidlo je však stále modelované ako rovinná sústava.
4. Vozidlo je modelované ako priestorová sústava. Tento výpočtový model už vyžaduje využitie výpočtovej techniky.

Kmitanie prenosového média (horninového prostredia)

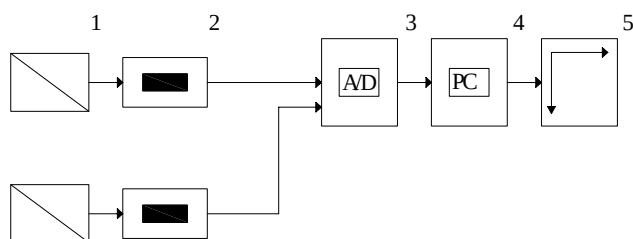
V spojitom pružnom hmotnom neohraničenom prostredí sa od zdroja kmitania šíria nezávisle na sebe dva druhy vln, a to pozdĺžne vlny a priečne vlny. Vyšetrujeme ich v bodoch dostatočne vzdialených od zdroja kde sa javia ako vlny rovinné.

Priebeh pružných vln v blízkosti povrchu je ovplyvnený povrchom podložia, a je veľmi zložitý. Vznikajú tu vlny rozličných typov, ďalej tu tiež dochádza k odrazu a interferenciám vln. V povrchových vlnách sa dajú zistiť dva druhy vlnenia, nazvané podľa fyzikov, ktorí sa ako prví zaoberali ich teóriou. Sú to Rayleighove vlny (označujú sa R) a vlny Loveho (Q).

3. Popis meracej techniky a postupov pri experimentálnych meraniach

Dynamické charakteristiky sú vlastné frekvencie kmitania, vlastné tvary kmitania a útlm stavebnej konštrukcie. Poznanie týchto základných charakteristík otvára dvere pre hlbšiu analýzu dynamickej odozvy stavebných konštrukcií na rozličné druhy zaťažení premenných v čase. Pri meraní šírenia sa dynamických účinkov do okolia dopravnej cesty, ako aj pri zisťovaní dynamických charakteristík stavebných konštrukcií spektrálnou analýzou, sú charakteristické náhodné funkcie kmitania. Experimentálne postupy je možné zostaviť pre „on line“ a „off line“ metódu merania a vyhodnotenia náhodných signálov.

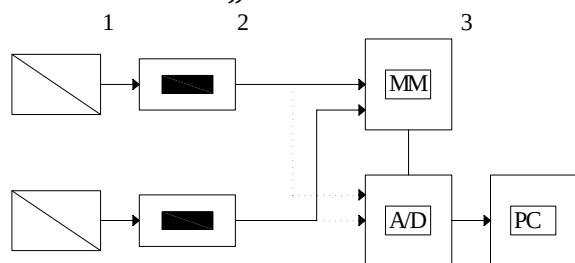
Metóda merania „on line“



- 1 - snímače rýchlosti alebo zrýchlenia so svojím zdrojom napájania (Briel&Kjaer (B&K) 8306, Robotron KB 12 - RFT)
- 2 - integrálny zosilňovač (B&K 2635, Robotron 00042)
- 3 - A/D prevodníkom
- 4 - počítač (PC) so softvérovým vybavením (DAS 16, DISYS)
- 5 - grafický výstup (tlačiareň, export do súboru)

Obr.č.1 Zapojenie meracej linky „in situ“, metóda merania „on line“

Metóda merania „off line“



- 1 - snímače rýchlosti alebo zrýchlenia so svojím zdrojom napájania (B&K 8306, Robotron KB 12-RFT)
- 2 - integrálny zosilňovač (B&K 2635, Robotron 00042)
- 3 - merací magnetofón (B&K 7005) alebo PC so softvérovým vybavením (DAS 16, DISYS) s A/D prevodníkom

Obr.č.2 Zapojenie meracej linky „in situ“, metóda merania „off line“

Software použité pre registráciu záznamov meraní a ich vyhodnocovanie boli: DAS, DISYS, ARTEMIS.

4. Teoretické prístupy zisťovania spektrálnych charakteristík mostných konštrukcií

Pre riešenie spektrálnych charakteristík mostnej konštrukcie je nutné realizovať dynamický výpočet na výpočtovom modeli mostnej konštrukcie. Voľba typu výpočtového modelu, ako aj metódy použitej pre výpočet, závisí od typu konštrukcie a presnosti získaných výsledkov, či už vo frekvenčnej alebo amplitúdovej oblasti.

Vlastné kmitanie mostných konštrukcií

Vlastné kmitanie jednoznačne definuje dynamickú individualitu mostnej konštrukcie. Riešenie vlastného kmitania predstavuje teda dôležitú súčasť celkovej dynamickej analýzy mostnej konštrukcie.

Voľba metódy pre riešenie vlastného kmitania je podmienená voľbou fyzikálneho výpočtového modelu. Pri klasickom riešení máme v podstate dve možnosti. Zvoliť diskretný výpočtový model s konečným počtom stupňov voľnosti, alebo pracovať s výpočtovým modelom so spojitými rozloženými parametrami.

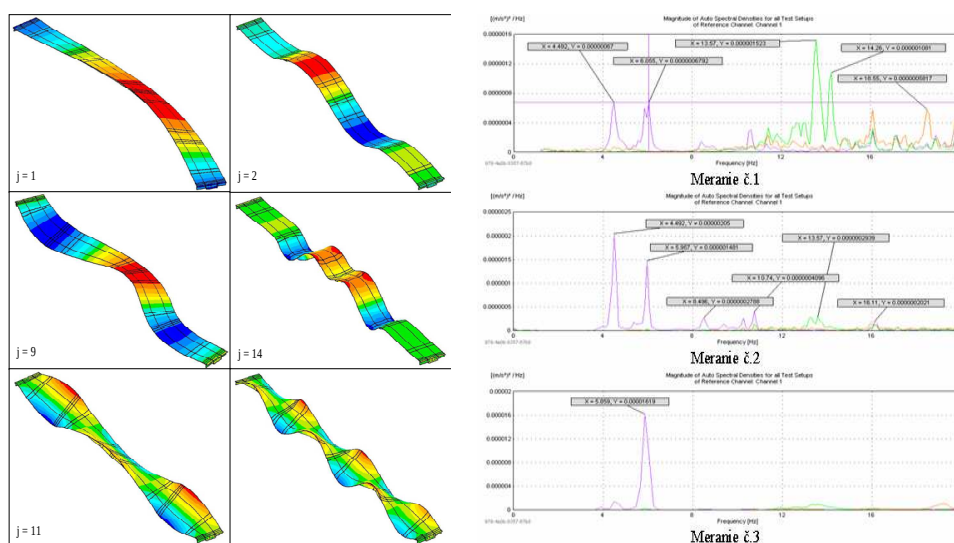
V súčasnej dobe klasické výpočtové metódy zatláča do úzadia metóda konečných prvkov (MKP). Z hľadiska voľby výpočtového modelu má MKP špecifické postavenie v tom zmysle, že na jednej strane sú výsledkom riešenia diskkrétne hodnoty v konečnom počte bodov – uzlov delenia, na druhej strane sa pracuje so spojitými funkciami po prvkoch. Veľká univerzálnosť tejto metódy, široká ponuka komerčne dostupných programových systémov, účinný pred a post processing spôsobili v posledných rokoch jej výrazné rozšírenie.

5. Spektrálna analýza na prípadových štúdiách reálnych stavebných konštrukcií

Pre zámer zistenia spektrálnych charakteristík na skutočných konštrukciách boli vybrané nasledovné reálne konštrukcie:

Spektrálne charakteristiky odozvy a zaťaženia – Most nad Kysuckou cestou – Žilina

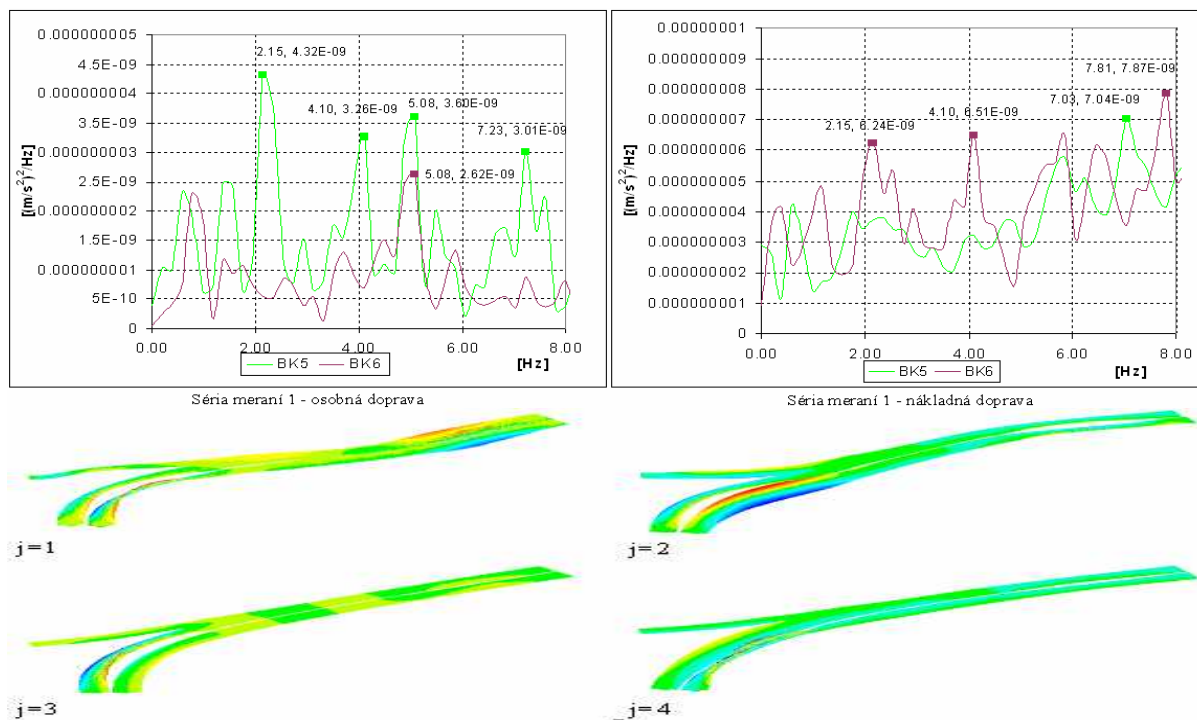
Pri zisťovaní spektrálnych charakteristík odozvy a zaťaženia od technickej seizmicity boli realizované teoretické výpočty a experimentálne merania na existujúcej mostnej konštrukcii v koridore ľavobrežnej cesty obchvatu mesta Žilina - „Most nad Kysuckou cestou“.



Obr.č.3 Ukážky výsledkov zo spektrálnej analýzy

Spektrálne charakteristiky odozvy a zaťaženia mostného objektu – D201 – 00 – CI / 11 Žilina – Estakáda

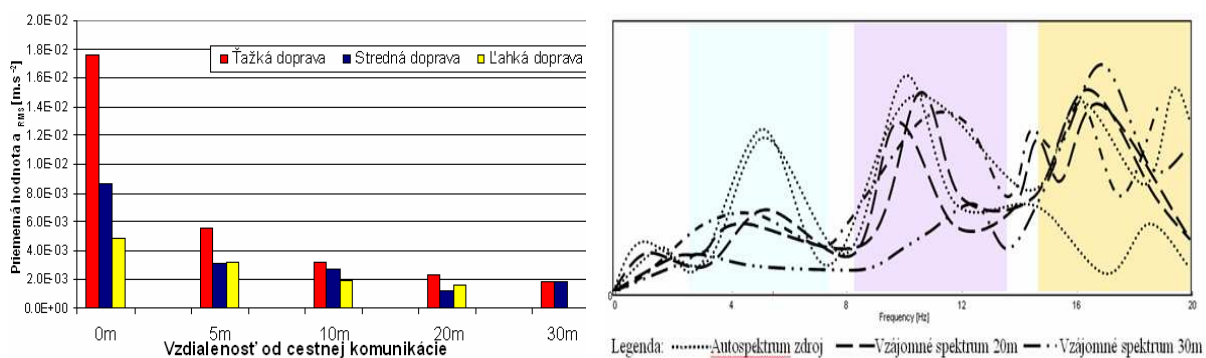
Analýzou spektrálnych charakteristík ohlasu a zaťaženia od technickej seizmicity vyvolanej železničnou dopravou je tiež teoretická a experimentálna štúdia mostnej konštrukcie (estakády) nachádzajúcej sa pred frekventovanou križovatkou Košická - Ľavobrežná pri Hypermarkete tesco v Žiline.



Obr.č.4 Ukážky výsledkov zo spektrálnej analýzy

Meranie vibrácií od dopravy Lokalita štadión MŠK Žilina (Cestná doprava)

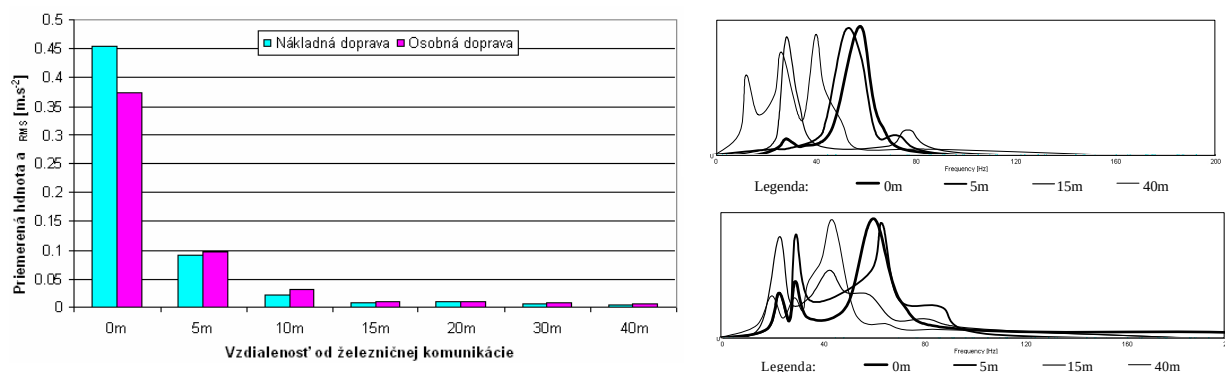
Meranie v lokalite štadión MŠK Žilina bolo realizované z dôvodu relatívne blízkej vzdialenosti od vyšetrovanej konštrukcie Mosta nad Kysuckou cestou (cca 300m). Táto lokalita bola zvolená z ohľadom na predpoklad rovnej geologickej skladby podložia a teda je možné porovnať výsledky z frekvenčnej analýzy dvoch nezávislých meraní. Ukážky poklesu hladín kmitania si vzdialenosťou a dominantné oblasti je možné vidieť na nasledujúcom obrázku:



Obr.č.5 Ukážky výsledkov zo spektrálnej analýzy

Teplička nad Váhom (Železničná doprava)

Lokalita v Tepličke nad Váhom bola vybraná pri hlavnej železničnej trati v mieste kde neboli v okolí žiadne technologické prevádzky ani cestné komunikácie, ktoré by spôsobovali rušivé vibrácie. Ukážky poklesu hladiny vibrácií so vzdialenosťou od žel. trate a výsledné obálky spektier môžete vidieť na nasledovnom obrázku:



Obr.č.6 Ukážky výsledkov zo spektrálnej analýzy

6. Záver

Na základe vyhodnotených spektrálnych charakteristík z experimentálnych meraní a porovnania výsledkov z numerických výpočtov je možné odladiť výpočtový model a používať ho ďalej ako presnený model pre ďalšie statické a dynamické analýzy.

Z výsledkov prípadových štúdií pre prenos vibrácií horninovým prostredím plynú nasledovné závery:

- Intenzita kmitania od zdroja vibrácií cez horninové a zeminné prostredie k základom mostných podpier so vzdialenosťou exponenciálne klesá, ako od cestnej tak aj železničnej dopravy.
- Pre cestnú dopravu je možné identifikovať dominantné oblasti súvisiace s kmitaním vozidla ale pre presnejšiu špecifikáciu príčin by bolo nutné vykonať viac meraní a užšie členiť cestnú dopravu. Pre železničnú dopravu sa dajú očakávať dva druhy dominantných frekvenčných oblastí a to oblasť súvisiaca s vlastným kmitaním konštrukcie koľajového roštu a oblasť súvisiaca s kmitaním železničných vozidiel. Z prípadovej štúdie boli identifikované dominantné frekvenčné oblasti: 55-65 Hz (koľajový rošt s hmotou koľajového vozidla) a 22-36 Hz (vyššie tvary kmitania železničného vozidla).
- Prenosové funkcie a základné mechanické vlastnosti podložia v skúmanej lokalite boli identifikované na základe ISM. Vzájomný frekvenčný prenos bol najviac realizovaný vo frekvenčnom rozsahu 35-45 Hz

7. Literatúra

- BENČAT, J., BERGEROVÁ, Z. Prenos vibrácií a odozva konštrukcia v procese interakcie základová pôda - budova., Stretnutie katedier stavebnej mechaniky, Gabčíkovo, 2008.
- MELCER, J., Dynamické výpočty mostov na pozemných komunikáciách, EDIS ŽU, 1997.
- PAPÁN, D. Spektrálne charakteristiky zaťaženia a odozvy mostných konštrukcií vo vzťahu k technickej seizmicite – dizertačná práca, Žilina, 2008.