

EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ SEIZMICKÉHO ZATÍŽENÍ PATKY MOSTNÍHO PILÍŘE ZPŮSOBENÉ ŽELEZNIČNÍ KOLEJOVOU DOPRAVOU

Zuzana Janderová¹

An experimental measuring of the seismic load bearing down on the foot of the bridge support caused with the railway transport

Technical seismicity generated by railway traffic on the reinforced concrete pillars of bridge constructions has most of all short-term random character. Nowadays, it is not common to involve experimental measurement of seismic load into consideration of bridges foundations projection in Czech Republic. This begs the question whether or which way railway traffic causes a seismic load to foundation of bridge construction. This experimental measurement and its following evaluation is a subject of this article.

Abstrakt

Technická seizmicita působící na železobetonové patky mostních konstrukcí vyvolaná železniční kolejovou dopravou má většinou nahodilý krátkodobý charakter. V současné době se v České Republice při projektování základů mostních konstrukcí se technická seizmicita od železniční kolejové dopravy běžně experimentálně nestanovuje. Vystala otázka, jestli vůbec a pokud ano, tak jakým seizmickým zatížením působí železniční kolejová doprava na základy mostních konstrukcí. Toto experimentální měření a jeho následné vyhodnocení je předmětem tohoto článku.

Klíčová slova

seizmické zatížení, železniční doprava, patka

1. Úvod

V České republice byla provedena mnohá měření seizmického zatížení zaměřená na kolejovou dopravu (KALÁB 1999, KALÁB, STOLÁRIK 2008). Doposud však nebylo provedeno experimentální měření seizmického zatížení patek mostních konstrukcí se zaměřením na železniční dopravu, jehož výsledkem by bylo určení mezní vzdálenosti projíždějících drážních vozidel od osy patky mostní konstrukce. Mezní vzdáleností je myšlena délka úseku od čela vlaku po osu patky mostní konstrukce, na které projíždějící drážní vozidlo již na patku mostní konstrukce začalo působit znatelným seizmickým zatížením. Znatelné seizmické zatížení je minimální hodnota rychlosti kmitání, kterou lze v seizmickém záznamu vyčlenit z běžného seizmického neklidu. Tato minimální hodnota rychlosti kmitání je závislá na aktuálním seizmickém neklidu a lokalitě měření. Její velikost bude postupně určena z výsledků jednotlivých měření.

Z důvodu veliké variability vstupních dat (rychlost projíždějících drážního vozidla, typ a rychlost drážního vozidla, geologické podmínky, skladba železničního svršku, vzdálenost patky od osy koleje, konstrukce a způsob založení patky) jsou lokality jednotlivých měření voleny tak, aby si vstupní podmínky byly co nejbližší. Původně byla měření rozvrhnuta tak, aby obsáhla danou problematiku co

nejširším způsobem (volba odlišných lokalit, odlišných konstrukcí železničních svršků a silničních mostů). Po provedení několika prvních měření a jejich následném vyhodnocení však bylo získáno tak velké množství navzájem naprosto odlišných dat, že při reálně možném počtu měření a dodržení doporučeného rozsahu bakalářské práce, by jejich souhrnné vyhodnocení nebylo možné. Je tady zřejmé, že závěry, jež vyplynou z jednotlivých měření a z jejich celkové analýzy, nelze aplikovat na veškeré konstrukce mostů vedoucích přes železniční trať. Vzhledem k tomu, že v současné době se vliv seizmického zatížení se při zakládání a konstrukci patek železničních konstrukcí běžně experimentálně nestanovuje a výsledky mé bakalářské práce neovlivní stavy již zbudovaných mostů, zaměřila jsem se na novější mostní konstrukce situované v jedné lokalitě a jejich srovnání s mostem s obdobnou konstrukcí v lokalitě jiné.

2. Experimentální měření

Jako první byla provedena měření, která v tomto článku podrobně analyzována nejsou. Na průběh zpracování tématu a určení lokalit výsledných měření však měla podstatný vliv.

První měření proběhlo na Svinovských mostech v Ostravě, kdy hlavním úkolem bylo bližší seznámení se s měřicí aparaturou a postupy měření. Při pozdější analýze záznamů se však tento most ukázal jako nevhodný v důsledku velkého seizmického neklidu vyvolaného tramvajovou a automobilovou dopravou na mostě. Seizmické zatížení od drážní dopravy bylo srovnatelné nebo nižší v porovnání především s projevy tramvajové dopravy. Pro další experimentální měření byly tedy mosty s tramvajovou dopravou na povrchu vyloučeny. Další měření probíhala na mostní konstrukci silnice I. třídy č. 58 směr Bohumín (ul. Bohumínská) a na silničním mostě č. 550 silnice II. třídy č. 473 (ul. Frýdecká). Při těchto měřeních byl již jejich průběh uspořádán tak, aby jeho výsledky byly již směrodatné. Z hlediska provozu na trati se však tyto lokality opět ukázaly jako nevhodné z důvodu nízké četnosti průjezdu drážních vozidel a malému množství naměřených dat. Následující lokality měření tedy byly vybrány s ohledem i na tyto aspekty.

Jako nejvhodnější lokalita pro měření byla vybrána lokalita Ostrava – Svinov. V malé vzdálenosti od sebe jsou zde umístěny čtyři silniční mosty s obdobnou konstrukcí a založením a také geotechnické podmínky zde mohou být předpokládány obdobné. Celková analýza tedy nezahrnuje případný vliv těchto parametrů. Situace lokality a označení pořadí měření a číslování znázorňuje obr. 1. Vzhledem k tomu,



Obr. 1: Situace umístění měřicí aparatury v lokalitách Ostrava - Svinov a Ostrava - Nová Ves

že železniční trať je zde v rovném úseku, byla předpokládána konstantní rychlost drážních vozidel. Tato lokalita se tedy ukázala nejvhodnější pro jejich vzájemné porovnávání a analýzu jednotlivých měření. Pro poslední srovnávací měření byl vybrán silniční most opět nového úseku dálnice D1, tentokrát však v ostravské části Nová Ves. Konstrukce patek je zde obdobná jako v lokalitě předešlé, geotechnické podmínky a rychlost pohybu drážních vozidel se však liší. Situace lokality je znázorněna jako bod č. 5 na obr. 1.

Složení měřicí soustavy:

- senzor ViGeo 2
- seizmická stanice Gaia 2T
- modul GPS
- notebook General Compactor

Gaia 2T je autonomní tříkanálová seizmická stanice s dynamickým rozsahem

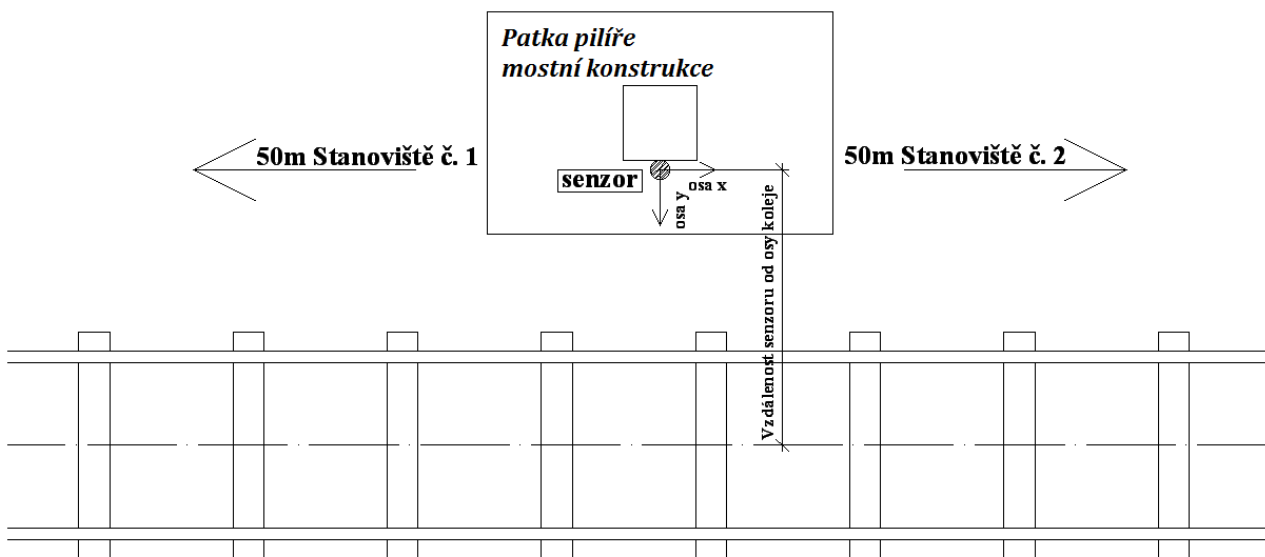
138dB_{p-p}. Časová synchronizace je zajištěna pomocí modulu GPS, záznam dat na CompactFlash disky. Je určena pro terénní měření při krátkodobých i dlouhodobých seizmických experimentech. Umožňuje přímo připojit většinu aktivních i pasivních snímačů kmitání. Pro nastavení parametrů a kontrolu činnosti slouží program

SeisTools. Samotné měření je prováděno senzorem ViGeo 2, což je třínožkový snímač rychlosti kmitání. Pro měření byl použit triggerovaný záznam s registrací v časovaných oknech. Jeho výhoda je v přehlednosti, kdy pomocí polního zápisníku lze přesně a jednoduše vybrat správnou část záznamu. Kontrola správnosti nastavení parametrů měření, rozsah triggerovaných záznamů a časová synchronizace GPS před jednotlivým měřením probíhá v programu SeisTools na notebooku General Compactor.

Smluvní převodní vztah mezi cnt a mm/s pro daný typ senzoru je uveden zde:

$$1\text{Mcnt} = 2,975 \text{ mm/s}$$

Patka mostní konstrukce byla volena vždy nejbližší k ose trati. Předpokládalo se, že na nejbližší patce bude největší seizmický projev. Senzor ViGeo 2 se vždy umístil na povrchu patky co nejbližší k dříku sloupu, aby měření probíhalo co nejbližší k ose patky. Tato měřená hodnota nejvíce reprezentuje seizmický projev u patky. Pomocí šipky na těle senzoru se orientoval rovnoběžně s vedením kolejí, aby byla zajištěna jednotná orientace všech měření. Jde o tzv. paprskové uspořádání, při kterém je vodorovný směr (X) rovnoběžný s kolejí a vodorovný směr (Y) kolmý na koleje. Měření byla prováděna na jednom místě a různá vzdálenost senzoru od osy koleje byla docílena měřením na kolejích různě vzdálených (v měřených úsecích trati ve zvolených lokalitách vedli pod mostní konstrukcí 2 – 3 koleje a měřen byl provoz na všech).



Obr. 2: Umístění a orientace senzoru na patce

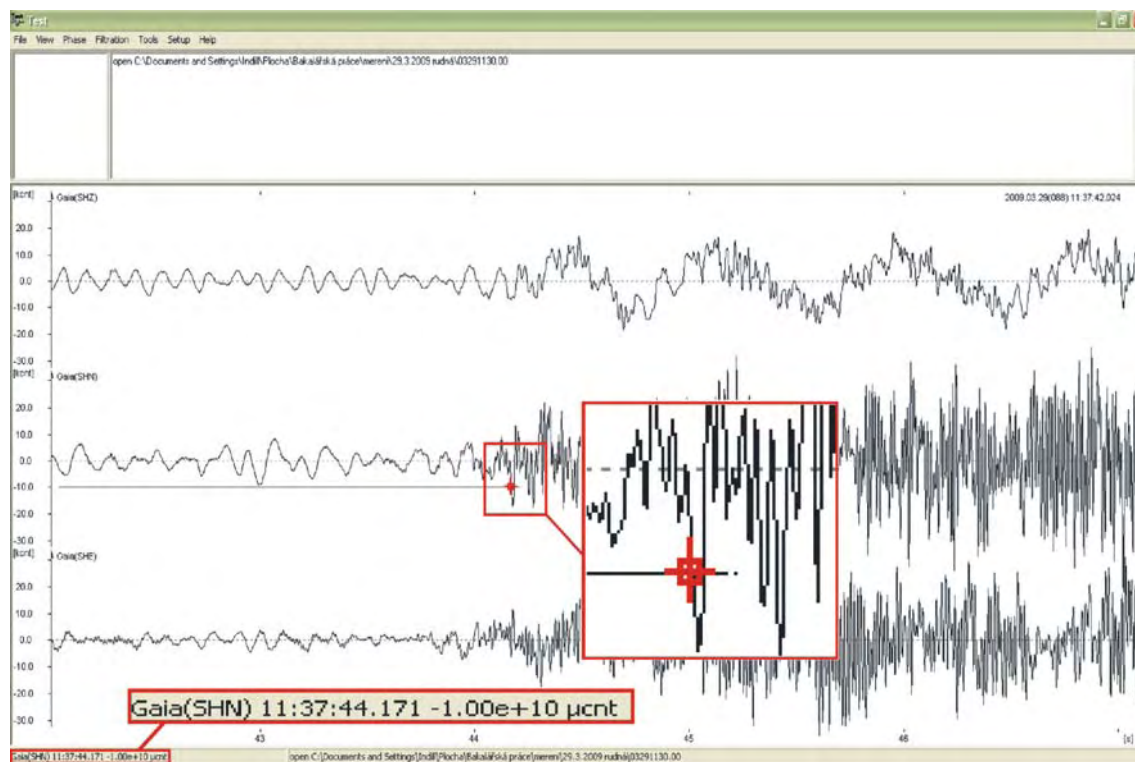
Pro přibližný výpočet rychlosti projíždějících vlaků byly voleny dvě stanoviště ve vzdálenosti vždy 50m od kolmého průmětu vertikální osy senzoru na kolej na oba směry vedení trati. Celkový měřený úsek tedy měl 100m a stopkami se na znamení měřila doba, za kterou projíždějící vlak tuto vzdálenost urazil. Dále byl také zaznamenán po odečtení z druhých stopek přesný čas s přesností na vteřiny, kdy od počátku měření projíždějící vlak vjel do měřeného úseku a to z jakéhokoli směru. Tím byl zaznamenán přesný časový úsek od počátku jednotlivého měření, kdy čelo drážního vozidla bylo ve vzdálenosti 50m od kolmého průmětu vertikální osy senzoru na kolej. Tyto stopky byly sepnuty v momentě, kdy se na vrchní desce seizmické měřící stanice rozsvítila dioda signalizující zahájení zaznamenávání měření. Je to jediný jednoduchý způsob, jak k jednotlivým měřeným jevům lze jednoznačně přiřadit s přesností na vteřiny daný úsek vyobrazené křivky v programu SeisTools.

3. Analýza záznamů

3. 1. Metodika analýzy záznamů

Jednotlivé záznamy měření byly vyhodnoceny v programu Swiproject, kdy byla zjištěna hodnota času počátku měření a ručně odečteny jednotlivé časy, v nichž byly překročeny uvažované hladiny rychlosti kmitání v takovém rozsahu, jako bylo vyvolané seizmické zatížení. Program Swiproject umožňuje zobrazit časový záznam vibrací, čas je synchronizovaný aparaturou pomocí GPS modulu. Přesný čas lze v tomto programu odečítat s přesností na 1×10^{-3} s. Způsob odečítání hodnot času v programu Swiproject je znázorněn na obr. 3. Registruje se rychlost kmitání částic v kcmt ve třech složkách označených X, Y a Z, a to ve vertikálním směru (složka Z), horizontálním směru rovnoběžném se směrem vedení kolejí (složka X) a v horizontálním směru kolmém na směr vedení kolejí (složka Y).

Dle vstupních dat byly vypočteny hodnoty přesného času, kdy od počátku měření byla přesná poloha čela vlaku ve vzdálenosti 50m měřené rovnoběžné s kolejemi od pravoúhlého průmětu vertikální osy senzoru, čas, kdy čelo projíždějící soupravy bylo v úrovni senzoru a pro jednotlivé hladiny rychlosti kmitání a přehledně srovnány do tabulky. Výsledné vzdálenosti tedy charakterizují polohu čela projíždějícího drážního vozidla, vzhledem



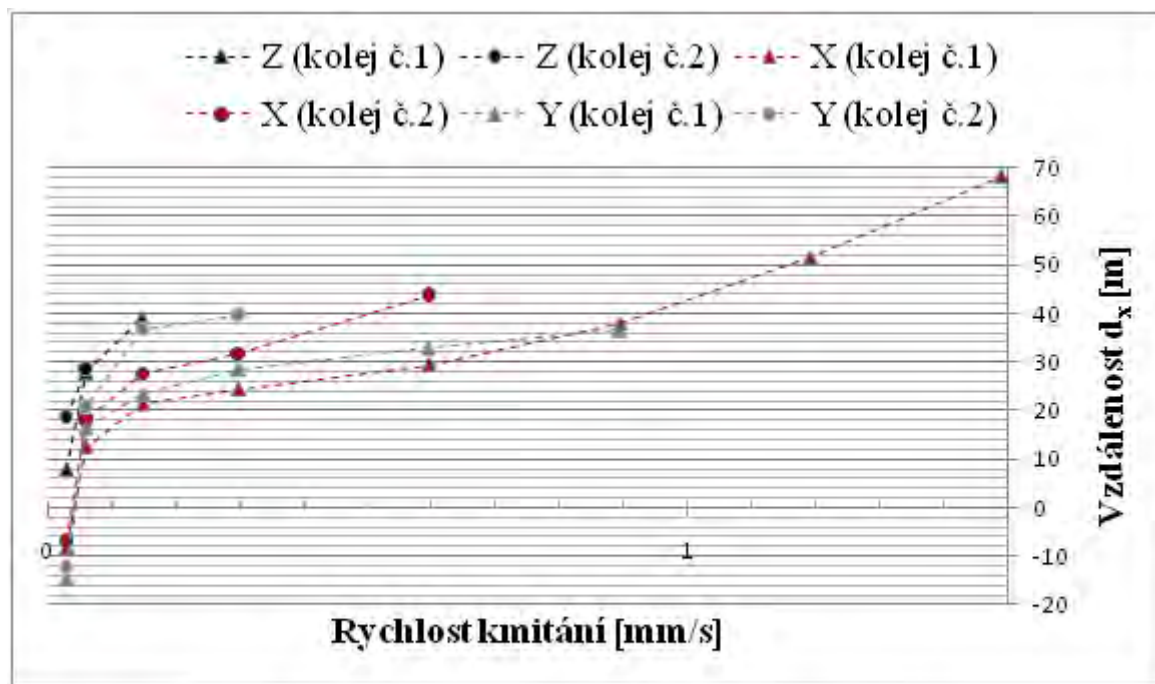
Obr. 3: Odečítání hodnot času $T4(x)$ v programu Swiproject

k ose měřené patky mostní konstrukce, v níž seizmické zatížení na povrchu patky dosáhlo daných hodnot. Dle možností programu Swiproject byla vyhodnocena seizmická zatížení, tedy rychlost kmitání částic na povrchu patky mostního pilíře, ve třech osách.

Minimální hodnota rychlosti kmitání, kterou lze v seizmickém záznamu vyčlenit z běžného seizmického neklidu, tedy znatelné seizmické zatížení se v obou lokalitách pohybovalo v rozmezí 3–8 kcmt ($8,9 \times 10^{-3} - 23,8 \times 10^{-3} \text{ mm.s}^{-1}$). Znatelné seizmické zatížení bylo tedy stanoveno na 10kcmt pro všechny měření a tato hodnota sloužila jako minimální při vyhodnocování všech prvotních účinků průjezdu drážních souprav.

3. 2. Analýza jednotlivých měření

Podrobné zjišťování závislosti maximální složkové rychlosti kmitání na rychlosti drážní soupravy a počtu vagónů se již při tabulkovém vyhodnocení ukázalo jako nemožné, neboť naměřené hodnoty nevykazovaly tyto závislosti. Patrná je však závislost rychlosti kmitání na typu soupravy, vzdálenosti senzoru od osy koleje a vzdálenosti čela měřeného projíždějícího drážního vozidla od pravouhlého průmětu vertikální osy senzoru (dále d_x). Analýzou jednotlivých měření se rozumí zpracování tabulkových hodnot do grafické podoby. Vyhodnocení maximálních odečtených hodnot rychlosti kmitání na patkách mostních konstrukcí, způsobených průjezdem jednotlivých vlakových souprav a výpočet velikosti středních hodnot z jednotlivých složek X, Y a Z rychlosti kmitání. Vzájemné porovnání pořadí projevu a maximálních hodnot na složkách X, Y, a Z na jednotlivých mostních konstrukcích. Posouzení vlivu vzdálenosti mezi osou senzoru a osou koleje versus typ vlakové soupravy. Pro příklad je uvedena analýza měření č. 1 v lokalitě Ostrava – Svinov. Z obr. 4 je patrné, že v největším rozsahu a s největším předstihem se projevily vibrace na složce X, poté Y a Z. Projev na první koleji, tedy koleji bližší k senzoru, je dřívejší a závislost maximální amplitudy rychlosti kmitání na vzdálenosti senzoru od osy koleje je zřejmá.



Obr. 4: Průběh všech tří složek na mostní konstrukci č.1

4. Celková analýza měření

Při celkové analýze měření byly sledovány rozsahy hodnot rychlosti kmitání na složkách X, Y a Z a pořadí jejich projevu, průběh středních hodnot vzdáleností $d_{(x)}$ pro jednotlivé složky X, Y a Z a vliv vzdálenosti senzoru od osy koleje a vliv druhu vlakové soupravy. Porovnání výsledků v lokalitě Ostrava – Svinov a jejich následné srovnání s výsledky na mostní konstrukci v lokalitě Ostrava – Nová Ves. Tabulky 1 – 3 byly vypracovány postupně při analýze jednotlivých měření. V tabulce 1 je zaznamenán rozptyl hladin x , který nabývá hodnot až 500kcmt (tj. $1487,5 \times 10^{-3} \text{ mm.s}^{-1}$). Maximální rozsah hodnot $d_{(x)}$ je od -160m do 160m. Jak je patrné pro všechna měření platí, že jako první se projevila složka X, dále Y a naposled Z. Pořadí rozsahu složek je následující: až na výjimku se v největším rozsahu projevila složka X, druhá v pořadí Y a nejméně se projevila složka Z.

Dle tabulky 3 se vliv vzdálenosti senzoru od osy koleje pro jednotlivá měření různí. Koleje jsou číslovány vzestupně s narůstající vzdáleností od osy senzoru. Jak je uvedeno v tabulce 2, jednotlivé vzdálenosti kolejí č. 1, 2 případně č. 3, jsou pro všechna tři měření přibližně stejné.

Dle provedených experimentálních měření není vždy pravidlem, že provoz na koleji nejbližší k patce se na této patce projeví nejdříve, s největší amplitudou a v největším rozsahu. Vliv druhu drážního vozidla se pro různé mostní konstrukce liší. Experimentální měření však poukázala na to,

Tabulka 1: Analýza časového pořadí projevu složek a jejich rozsahu

Číslo měření	$x_{\max}$	$d_{(x)}$		Pořadí složek			Pořadí velikosti rozsahu složky		
		min	max	1.	2.	3.	1.	2.	3.
1	500	-40	70	X	Y	Z	X	Y	Z
2	200	-60	60						
3	100	-110	100				Y – Z		
4	200	-160	160				Y	X	Z
5	100	-120	100				X	Y	

Tabulka 2: Vzdálenost senzoru od osy vedení koleje v jednotlivých měřeních

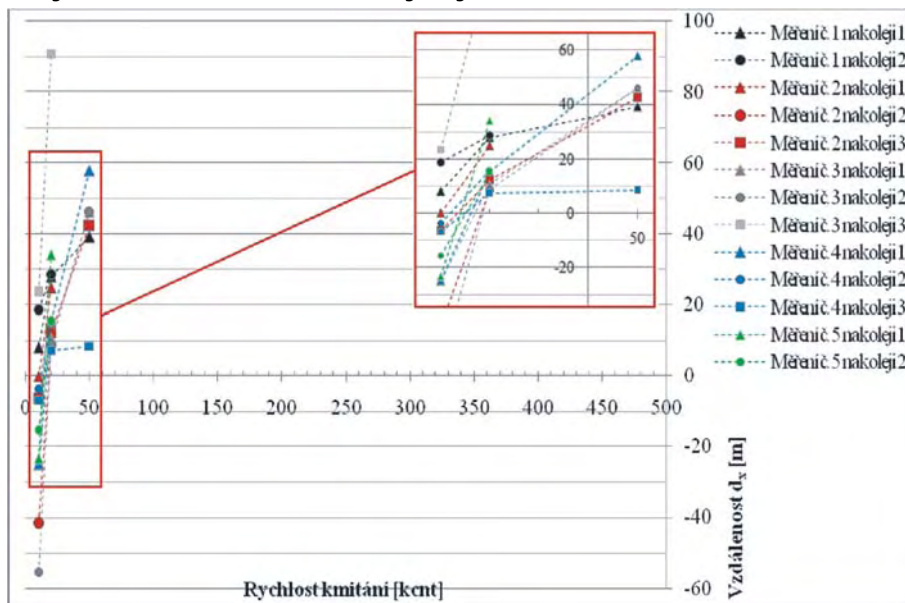
Číslo měření	Vzdálenost senzoru od osy vedení koleje [m]		
	Kolej č. 1	Kolej č. 2	Kolej č. 3
1.	3,2	9,9	
2.	4,9	9,1	15,7
3.	3,4	8,0	12,8
4.	3,6	8,2	13,1
5.	7,2	13,3	

Tabulka 3: Analýza závislosti průběhu rychlosti kmitání na vzdálenosti senzoru a typu soupravy

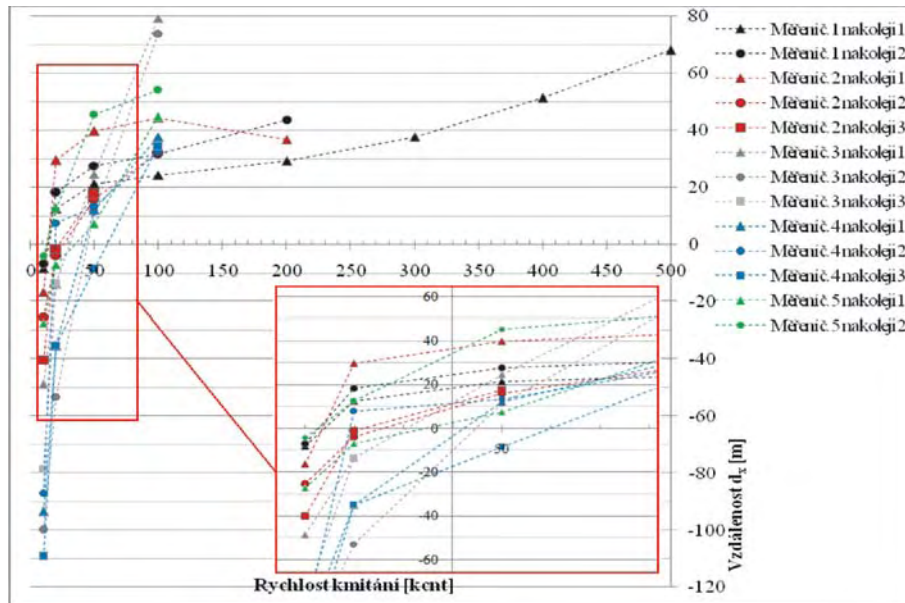
č. m.	Pořadí projevu na kolejích									Pořadí projevu dle typu soupravy								
	X			Y			Z			X			Y			Z		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
1	1	2		1	2		1	2		S	R		S	R		R	S	
2	2	3	1	2	3	1	2	3	1	R	N	Os	N	R	Os	R	N	Os
3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	Os	R	N	Os	R	N	N	R	Os
4	3	1	2	3	1	2	3	1	2	R	S	Os	S	R	Os	S	R	Os
5	1	2		1	2		1	2		N	R	Os	N	R	Os	N	R	Os

že s největším předstihem (nikoli však rozsahem) se projevila osamělá drážní vozidla, následně nákladní vlaky s rozsahem počtu vagónů 18 - 26, rychlíky s počtem vagónů 5 – 11 a jako poslední osobní vlaky s počtem vagónu obvykle v rozsahu 3 – 5. S největší amplitudou rychlosti kmitání se projevily rychlíky a nákladní vlaky

4. 1. Analýza vertikální složky rychlosti kmitání Z



Obr. 5: Porovnání průběhu středních hodnot vzdálenosti $d(x)$ na složce Z



Obr. 6: Porovnání průběhu středních hodnot vzdálenosti $d(x)$ na složce X

Při analýze vertikální složky Z je zřejmé, že pro žádné z měření nepřesáhla hodnota hladiny x velikost 50kcnt (tj. $148,75 \times 10^{-3} \text{ mm.s}^{-1}$). Největší rozptyl hodnot vzdálenosti $d_{(x)}$ byl naměřen při měření č. 3. Většina naměřených hodnot vzdálenosti $d_{(x)}$ se pohybuje přibližně v rozsahu od -30m do 50m. Vliv vzdálenosti senzoru od osy koleje a vliv druhu vlakové soupravy je popsán v tabulce 3: „Analýza závislosti průběhu rychlosti kmitání na vzdálenosti senzoru a typu soupravy“. Všechny hodnoty vyhodnocené analýzou měření v lokalitě Ostrava – Nová Ves jsou plně obsaženy v rozsahu hodnot analýzy lokality Ostrava – Svinov. Analýza těchto dvou lokalit se tedy neliší.

4. 2. Analýza horizontální složky rychlosti kmitání X

Horizontální složka rychlosti kmitání X se projevila s maximální hodnotou hladiny x tedy 500kcnt (tj. $1487,5 \times 10^{-3} \text{ mm.s}^{-1}$). Největší rozptyl hodnot byl naměřen při měření č. 1 a s největším předstihem se projevily vlakové soupravy naměřené při měření č. 4. Většina naměřených hodnot vzdálenosti $d_{(x)}$ se pohybuje přibližně v rozsahu od -40m do 40m. Největší rozptyl hodnot vzdálenosti $d_{(x)}$ byl naměřen opět při měření č. 3. Vliv vzdálenosti senzoru od osy koleje a vliv druhu vlakové soupravy je popsán v tabulce 3. Všechny hodnoty

vyhodnocené analýzou měření v lokalitě Ostrava – Nová Ves jsou plně obsaženy v rozsahu hodnot analýzy lokality Ostrava – Svinov. Analýza těchto lokalit se opět neliší.

4. 3. Analýza horizontální složky rychlosti kmitání Y

Horizontální složka rychlosti kmitání Y se projevila se střední hodnotou hladiny x tedy až 300kcnt (tj. $892,5 \times 10^{-3} \text{ mm.s}^{-1}$). Ve většině měření však nepřesahuje hodnotu 100kcnt (tj. $297,5 \times 10^{-3} \text{ mm.s}^{-1}$). Největší rozptyl hodnot hladiny y byl naměřen při měření č. 1 stejně tak jako u složky X a s největším předstihem se projevily vlakové soupravy naměřené při měření č. 3. Většina naměřených hodnot vzdálenosti $d_{(x)}$ se pohybuje přibližně v rozsahu od -20m do 40m.

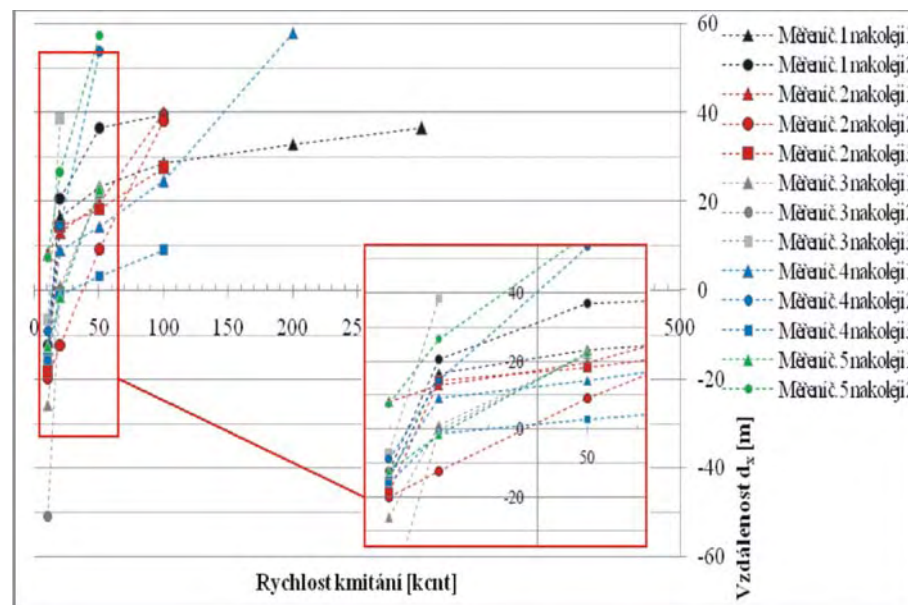
Největší rozptyl hodnot vzdálenosti $d_{(x)}$ byl naměřen opět při měření č. 3. Vliv vzdálenosti senzoru od osy koleje a vliv druhu vlakové soupravy je popsán v tabulce 3. Všechny hodnoty vyhodnocené analýzou měření v lokalitě Ostrava – Nová Ves jsou plně obsaženy v rozsahu hodnot analýzy lokality Ostrava – Svinov. Analýza těchto dvou lokalit se tedy stejně tak, jako u dvou předchozích složek neliší

5. Diskuze naměřených a vyhodnocených hodnot

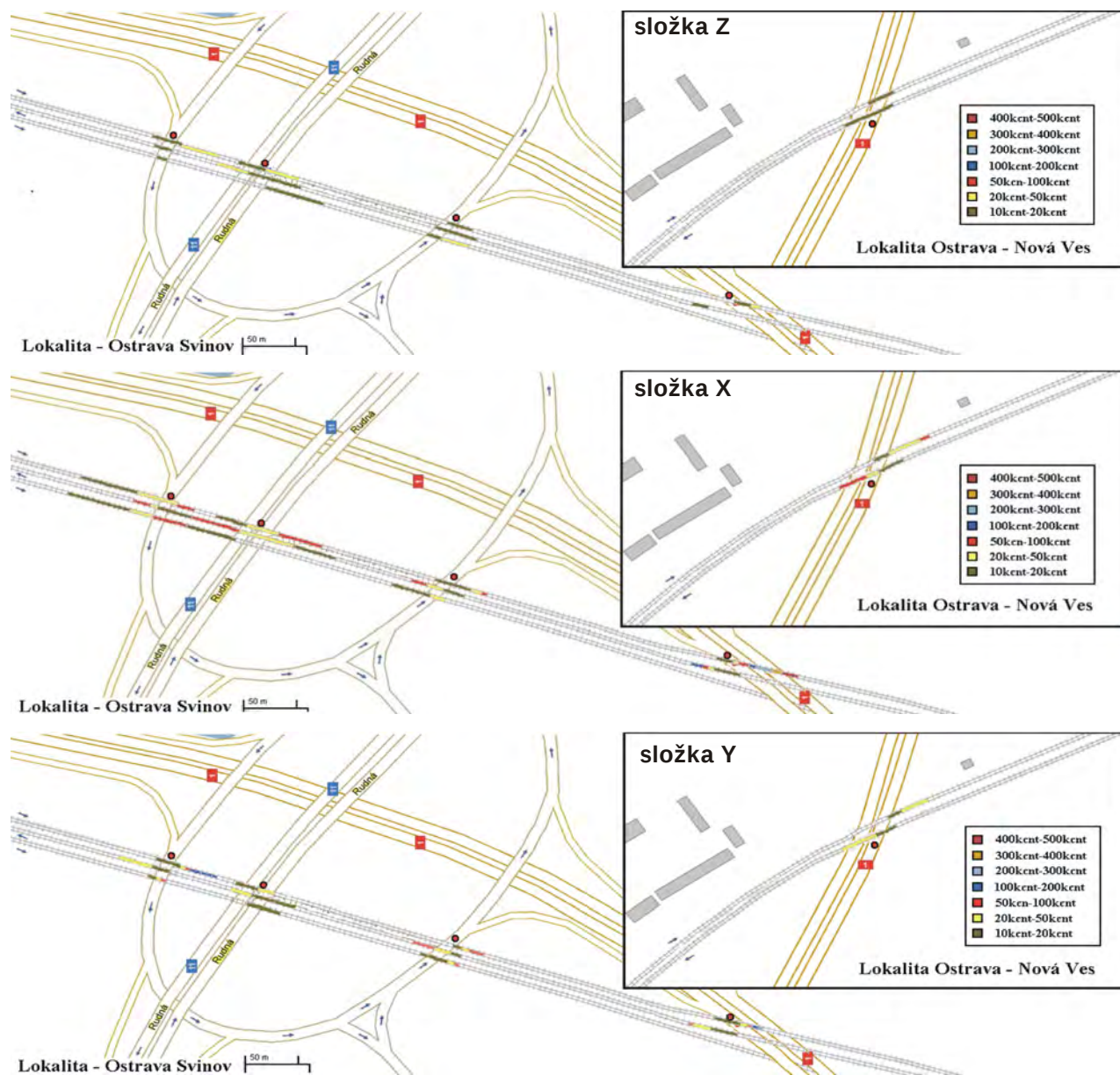
Vyhodnocení seizmického zatížení patky mostního pilíře bylo provedeno po experimentálním měření na pěti mostních konstrukcích, kdy se navzájem porovnávaly čtyři mostní konstrukce v lokalitě Ostravy – Svinov a obdobná mostní konstrukce v lokalitě Ostravy – Nové Vsi.

Minimální hodnota rychlosti kmitání, kterou lze v seizmickém záznamu vyčlenit, byla stanovena z běžného seizmického neklidu, který se v obou lokalitách pohyboval přibližně v hodnotách do 38kcnt. Minimální vyčlenitelná hodnota rychlosti kmitání byla tedy stanovena na 10kcnt (tj. $29,7 \times 10^{-3} \text{ mm.s}^{-1}$).

Na obr. 8 lze vizuálně porovnat rychlosti kmitání všech tří složek X, Y a Z ve stejném měřítku na všech pěti měřených mostních konstrukcích. V podstatě se jedná o stejné vyhodnocení jako v obr. 5 až obr. 7. V této grafické podobě si lze však jednotlivé účinky projíždějící vlakové soupravy lépe představit. Maximální hodnotou hladiny x byla stanovena na 500kcnt (tj. $1,4875 \text{ mm.s}^{-1}$). Této hodnoty bylo však dosaženo pouze v jednom měření. S největší četností bylo dosaženo hladiny X 100kcnt. Železobetonové patky mostních konstrukcí patří dle ČSN 73 0040 do třídy odolnosti objektu. Mezní hodnota efektivní rychlosti kmitání je pro třídu U významu objektu, což jsou objekty s mimořádným ekonomickým a také/nebo společenským významem, rovna $1,1 \text{ mm.s}^{-1}$. Pro tuto třídu experimentálně stanovené hodnoty nevyhověly normě. Pro třídu I významu objektu je mezní hodnota efektivní rychlosti kmitání, což jsou objekty s velkým ekonomickým a také/nebo společenským významem, rovna $2,5 \text{ mm.s}^{-1}$. Pro tuto třídu experimentálně stanovené hodnoty normě vyhověly.



Obr. 7: Porovnání průběhu středních hodnot vzdálenosti $d(x)$ na složce Y



Obr. 8: Vizuální porovnání složek rychlosti kmitání na všech mostních konstrukcích

tyto druhy vlakových souprav měla nabývat největších záporných hodnot. Jak však již bylo uvedeno maximální záporné hodnoty vzdálenosti $d_{(x)}$ v porovnání s ostatními vlakovými soupravami na jednotlivých patkách nabývaly při průjezdu osamělých drážních vozidel.

Maximální rozsah vzdálenosti $d_{(x)}$ nabyl hodnot $\pm 160\text{m}$. Většinou se však hodnoty $d_{(x)}$ pohybovaly v rozmezí $\pm 60\text{m}$. V případě volby předpokládaného rozsahu hodnot $d_{(x)}$ by se, dle všech měření, očekávaná hodnota vzdálenosti pohybovala kolem $d_{(x)\text{min}} = -100\text{m}$ a $d_{(x)\text{max}} = 100\text{m}$. Jak je patrné pro všechna měření platí, že jako první se projevila složka X, dále Y a naposled Z.

Dle provedených experimentálních měření není vždy pravidlem, že provoz na koleji nejbližší k patce se na této patce projeví nejdříve, s největší amplitudou a v největším rozsahu. Z měření je však patrné, že je toto pořadí pro jednotlivé patky mostních konstrukcí pro všechny tři složky X, Y a Z stejné.

Vliv druhu drážního vozidla se pro různé mostní konstrukce liší. Tuto skutečnost lze přisoudit tomu, že vlakové soupravy naměřené na jednotlivých kolejích se liší např. počtem vagónů, technickým stavem a naložením a pomocí jedné aparatury nelze na všech patkách naměřit jednu vlakovou soupravu a její projev. Přesto, dle provedených experimentálních měření, lze říci, že s největším předstihem (nikoli však rozsahem) se projevila osamělá drážní vozidla, následně nákladní vlaky s rozsahem počtu vagónů 18–26 a rychlíky s počtem vagónů 5–11 a jako poslední osobní vlaky s počtem vagónu obvykle v rozsahu 3–5. S největší amplitudou rychlosti kmitání se projevily rychlíky a nákladní vlaky. Je tedy nasnadě předpokládat, že i vzdálenost $d_{(x)}$ by pro

Tuto skutečnost lze odůvodnit tím, že celkové naměřené seizmické projevy jsou součtem vibrací způsobených jednotlivými nápravami vlakové soupravy. Při větším počtu vozů většinou dochází k tomu, že účinky jednotlivých náprav se navzájem vyruší.

6. Závěr

Experimentálním měřením a jeho následnou analýzou bylo jednoznačně prokázáno, že železniční doprava na patky pilířů mostních konstrukcí působí seizmickým zatížením, které lze jednoznačně vyčlenit z běžného seizmického neklidu.

Zvolená metodika měření se ukázala jako efektivní a výstupní údaje dostatečně charakterizují měřený jev, tedy průjezd drážního vozidla a tím vyvolaný seizmický neklid a vedla k jednoznačnému určení vzdálenosti $d_{(x)}$, což bylo prvotním důvodem zadání experimentálního zatížení.

Volené hladiny x , pro které byly stanoveny hodnoty $d_{(x)}$, byly dostatečně reprezentativní, aby ukázaly průběh stoupání amplitudy rychlosti kmitání a vedli ke zjištění logaritmického průběhu závislosti vzdálenosti $d_{(x)}$ na hladině x .

Maximální hladina rychlosti kmitání na měřené patce přesáhla mezní hodnotu efektivní rychlosti pro objekty s mimořádným ekonomickým a/nebo společenským významem, z tohoto důvodu experimentální měření ukázalo, že seizmické zatížení způsobené železniční kolejovou dopravou není zanedbatelné.

Literatura

- SALAJKA, V., KANICKÝ, V.: Příspěvek k posuzování seizmického zatížení stavebních objektů dopravou, *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, Řada stavební 2004, roč. IV, č. 2, 261–267.
- KALÁB, Z.: Příklady měření projevů seismicity způsobené dopravou, *Sborník konference Geotechnika 99 – Základy moderních technologií*, Ostrava, 1999, 93–96.
- MAREK, R., LUNÁČKOVÁ, B., A ALDORF, J.: Vliv dynamických účinků tramvajové dopravy na ostění kolektoru, *Tunel č.2/2008*, roč. 17, 40–44
- STOLÁRIK, M.: Studie velikosti seizmického zatížení v ostravském kolektoru Centrum vyvolaném dopravou, *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, Řada stavební 2006, č. 2, roč. VI, 273–280.
- KALÁB, Z., STOLÁRIK, M.: Experimentální měření seizmického projevu kamionové dopravy, *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, Řada stavební 2008, roč. 8, č. 1, 235–239
- KALÁB, Z.: Mělká podzemní díla a vibrace, *Tunel č.2/2007*, boč. 16, 12–20
- ČSN 73 0040 „Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva“, ČNI, Praha, 1996
- ČSN 73 0031 „Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových půd, Základní ustanovení pro výpočet“, ČNI Praha, 1988
- JANDEROVÁ, Z.: Experimentální měření seizmického zatížení patky mostního pilíře, *Bakalářská práce, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava*, FAST, 2009, 45 stran.

¹Autor:

Bc. Zuzana Jandarová, studentka oboru Geotechnika, fakulty stavební, VŠB-TU Ostrava
Vedoucí bakalářské práce: Doc. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc.