

SEIZMICKÝ EFEKT ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY – ÚVODNÍ STUDIE

Josef Čejka¹

Abstract

In spite of development of road transport, carriage by rail still keeps its significant position on traffic market. It assumes increases of importance from the point of view of environmentalism, power saving, reliability and safety.

With overloading of train ways and with increasing demands of amount and speed of transport, it is supposable that vibration caused by railway traffic will increase and will be more frequent. These vibrations, which are kind of technical seismicity, can have a harmful influence on buildings in surroundings of train ways.

This work deals with determination of value of seismic load caused by train passing with dependence on distance from source of vibration. Czech technical standard ČSN 730040: Loads of technical structures by technical seismicity are used for evaluation of measured data.

Abstrakt

I přes prudký rozvoj automobilové dopravy si železnice stále udržuje významné postavení na dopravním trhu. Je předpoklad, že význam železnice se bude z hlediska ekologie, úspory energie, spolehlivosti a bezpečnosti i nadále zvyšovat.

S vytižeností železničních tratí a se vzrůstajícími nároky na množství a rychlost přepravy lze předpokládat, že se bude zvyšovat velikost i četnost vibrací způsobených železniční dopravou. Tyto vibrace, které jsou částí technické seizmicity, mohou mít neblahý vliv na objekty nacházející se v bezprostřední blízkosti železniční tratě.

Tato práce se zabývá stanovením velikosti seizmického zatížení vyvolaného průjezdem vlaku v závislosti na vzdálenosti od zdroje vibrací. Naměřená data jsou posouzena podle normy ČSN 730040: Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva.

Klíčová slova

Technická seizmicita, železniční doprava

1. Úvod

Železnice si stále udržuje významné postavení na dopravním trhu. V současné době zajišťuje 22,8 % přepravy zboží a 31,6 % hromadné přepravy osob (bez městské hromadné dopravy) s tím, že bude snaha tento podíl na trhu ještě zvýšit. Železniční síť České republiky představuje 9496 km tratí, z toho je 1851 km (19,5 %) tratí dvou-a vícekolejných, 3041 km (32,0 %) je elektrizovaných.

Je předpoklad, že význam železnice se bude z hlediska ekologie, úspory energie, spolehlivosti a bezpečnosti i nadále zvyšovat. Význam železnice si uvědomila i Evropská komise, která na podporu tohoto dopravního systému vydala řadu dokumentů a snaží se rozvoj železnice podporovat i finančně.

S vytižeností železničních tratí a se vzrůstajícími nároky na množství a rychlost přepravy lze předpokládat, že se bude zvyšovat velikost i množství vibrací způsobených železniční dopravou. Tyto vibrace, které jsou jedním typem technické seizmicity, mohou mít nepříznivý vliv na objekty nacházející se v bezprostřední blízkosti železniční tratě.

Tento vliv se posuzuje dle základního hodnocení seizmického zatížení stavebních objektů dopravou, které vychází z technické normy ČSN 73 0040. Studium zatížení stavebních objektů dopravou se v minulosti zabývalo množstvím prací [Kaláb, Stolárik (2008); Kaláb (2008); Kaláb (2007); Kaláb (2006); Kaláb (1999); Salajka, Kanický (2004); Marek, Luňáčková, Aldorf (2008); Stolárik (2006)].

Cílem této úvodní studie je především seznámení se s problematikou měření a základní interpretace seizmického zatížení. Dalším cílem je provedení měření velikosti rychlosti kmitání v odlišných vzdálenostech od zdroje zatížení a v různých lokalitách s proměnnou průměrnou rychlostí projíždějících vlakových souprav. Tato měření jsou využita ke stanovení závislostí mezi velikostí seizmického zatížení a vzdáleností od zdroje tohoto zatížení. Hodnocen je vliv rychlosti vlaků na velikost rychlosti kmitání. Tato měření budou posouzena z hlediska normy ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva.

2. Použitá aparatura pro experimentální měření

Při experimentálním měření byla použita autonomní tříkanálová seizmická stanice Gaia 2T s dynamickým rozsahem 138dB, synchronizací pomocí systému GPS a záznamem dat na CompactFlash disky.

K seizmické stanici byl připojen kompaktní, aktivní, krátkoperiodický, tříslůžkový, rychlostní seismometr ViGeo 2.

3. Experimentální měření

Celkově proběhla tři experimentální měření. První vybraná lokalita se však ukázala jako nevhodná, a proto měření z této lokality nebyla dále uvažována.

Měření č. 2 probíhalo v lokalitě Ostrava v blízkosti mimoúrovňové křižovatky silnice Rudná a dálnice D1 (obr. 1) ve dnech 5. 12. 2008 a 11. 3. 2009. Železniční svršek tratě v místě měření se skládá z betonových pražců a štěrkového lože. Rychlosti souprav byly měřeny na vzdálenosti 70 m a 50 m a průměrná rychlost dosahovala hodnoty 84 km/h. Senzor byl umístován ve vzdálenostech 3 m, 6 m, 9 m, 12 m, 15 m od vnější kolejnice.

Byla měřena i odezva na dalších dvou kolejích vedoucích rovnoběžně s kolejí č. 1. Jejich vzdálenost od vnější koleje byla 4m a 14 m. Měření na vzdálenosti 3 m od vnější koleje začalo synchronizací měřicí stanice s GPS časem a nastavení ukládání dat pomocí programu SeisTools2 v intervalech po 15 minutách. Ostatní měření probíhala analogicky k prvnímu měření.

Měření č. 3 probíhalo v lokalitě Ostrava v blízkosti obchodního domu Hornbach a dálnice D1 (obr. 2) ve dnech 9. 3. a 10. 3. 2009. Železniční svršek tratě v místě měření se skládá z betonových pražců a štěrkového lože obdobně jako u měření č. 2. Rychlosti souprav byly měřeny na vzdálenosti 50 m a průměrná rychlost dosahovala hodnoty 55 km/h. Senzor byl umístován ve vzdálenostech 3 m, 6 m, 9 m, 12 m, 15 m od vnější koleje. Byla měřena i odezva na další koleji vedoucí rovnoběžně s kolejí č. 1. Její vzdálenost od vnější kolejnice byla

5 m. Měření na vzdálenosti 3 m od vnější kolejnice začalo synchronizací měřicí stanice s GPS časem a nastavení ukládání dat pomocí programu SeisTools2 v intervalech 15 min. Ostatní měření probíhala analogicky k prvnímu měření.



Obr. 1: Stanoviště č. 2



Obr. 2: Stanoviště č. 3

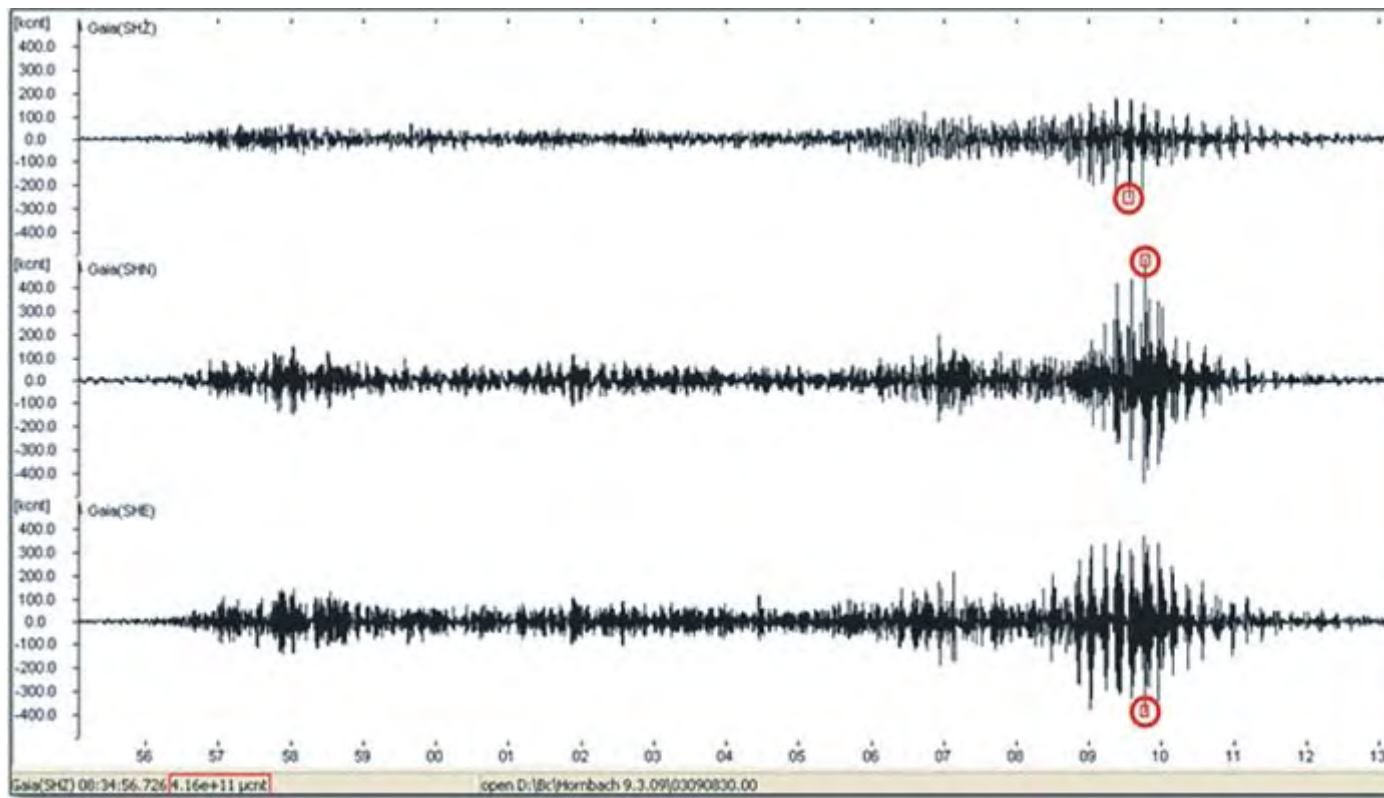
4. Rozbor naměřených dat

4. 1. Zpracování naměřených dat

Zpracování dat probíhalo v aplikaci Swip. Ze záznamů rychlostí kmitání byly odečteny maximální hodnoty výchylek pro jednotlivé projíždějící vlakové soupravy (Obr. 3).

Pro další práci s daty byl nutný převod jednotek, jelikož výstupní jednotky aplikace Swip jsou County [cnt]. Přepočtový vztah pro senzor ViGeo2 je $1 \text{ Mcnt} = 2,975 \text{ mm/s}$.

Dále byly maximální hodnoty rychlostí kmitání všech projíždějících souprav zaneseny do grafů. Charakteristiky jednotlivých grafů jsou popsány v kapitolách 4.2 a 4. 3. Následně byly porovnány spojnice maxim v jednotlivých vzdálenostech na všech složkách kmitání.



Obr. 3: Odečtení maximálních amplitud rychlostí

4. 2. Rozbor rychlostí kmitání z měření č. 2

Na složce rychlosti kmitání ve směru **osy x**, (obr. 4), je patrný výrazný rozptyl naměřených hodnot ve vzdálenosti 3 m. Tento rozptyl se pohybuje v rozsahu 1,092 mm/s – 6,872 mm/s. Pokles maximální hodnoty rychlosti kmitání na vzdálenosti 6 m je na hodnotu 1,746 mm/s.

Rovnice regrese s hodnotou spolehlivosti

$$R^2 = 0,8180, y = 51,456 \times x^{-1,811} \quad (1)$$

x – vzdálenost senzoru od kolejnice [m]

y – rychlost kmitání [mm/s]

Na složce rychlosti kmitání ve směru **osy y**, (obr. 4), se rozptýl naměřených hodnot ve vzdálenosti 3 m od kolejnice pohybuje v rozsahu 1,092 mm/s – 8,925 mm/s. Pokles maximální hodnoty rychlosti kmitání na vzdálenosti 6 m je na hodnotu 1,187 mm/s.

Rovnice regrese s hodnotou spolehlivosti

$$R^2 = 0,8116, y = 52,603 \times x^{-1,920}. \quad (2)$$

Také na složce rychlosti kmitání ve směru **osy z**, (obr. 4), je patrný výrazný rozptýl naměřených hodnot ve vzdálenosti 3 m. Ze všech tří složek rychlostí kmitání však nejmenší. Tento rozptýl se pohybuje v rozsahu 0,342 mm/s až 3,778 mm/s. Pokles maximální hodnoty rychlosti kmitání na vzdálenosti 6 m je na hodnotu 1,728 mm/s. Křivka má nejplynulejší průběh, což vyjadřuje i hodnota spolehlivosti.

Rovnice regrese s hodnotou spolehlivosti

$$R^2 = 0,9156, y = 29,131 \times x^{-1,564}. \quad (3)$$

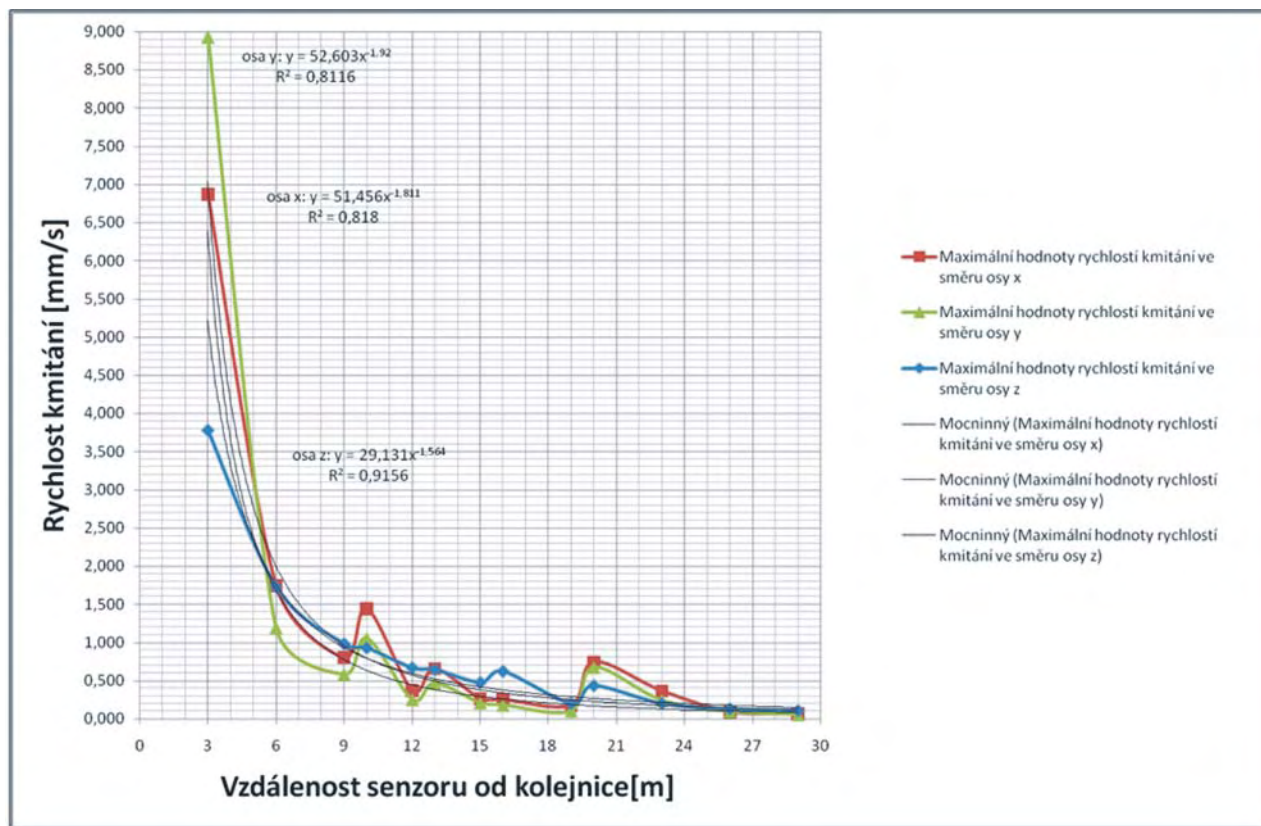
Při porovnání jednotlivých složek rychlostí kmitání je zřejmá podobnost rovnic regrese ve směru os x a y. Hodnota spolehlivosti je téměř stejná. Hodnoty rychlosti kmitání ve směru osy z jsou výrazně nižší ve vzdálenosti 3 m.

4. 3. Rozbor rychlostí kmitání z měření č. 3

Na složce rychlosti kmitání ve směru **osy x**, (obr. 5), je, stejně jako u měření č. 2, patrný rozptýl naměřených hodnot ve vzdálenosti 3 m. Rozptýl hodnot je nižší než u měření č. 2. Tento rozptýl se pohybuje v rozsahu 0,922 mm/s – 5,028 mm/s. Pokles maximální hodnoty rychlosti kmitání na vzdálenosti 6 m je na hodnotu 1,696 mm/s.

Rovnice regrese s hodnotou spolehlivosti

$$R^2 = 0,8312, y = 28,715 \times x^{-1,524}. \quad (4)$$



Obr. 4: Porovnání hodnot rychlostí kmitání ve směru os x, y, z (měření č.2)

x – vzdálenost senzoru od kolejnice [m]
y – rychlost kmitání [mm/s]

Na složce rychlosti kmitání ve směru **osy y**, (obr. 5), se rozptyl pohybuje v rozsahu 1,264 mm/s až 3,868 mm/s. Pokles maximální hodnoty rychlosti kmitání na vzdálenosti 6 m je na hodnotu 1,267 mm/s.

Rovnice regrese s hodnotou spolehlivosti

$$R^2 = 0,7945, y = 16,849 \times x^{-1,419}. \quad (5)$$

Na složce rychlosti kmitání ve směru **osy z**, (obr. 5), ve vzdálenosti 3 m je rozptyl naměřených hodnot v rozsahu 0,756 mm/s až 5,171 mm/s. Pokles maximální hodnoty rychlosti kmitání na vzdálenosti 6m je na hodnotu 0,878 mm/s.

Rovnice regrese s hodnotou spolehlivosti

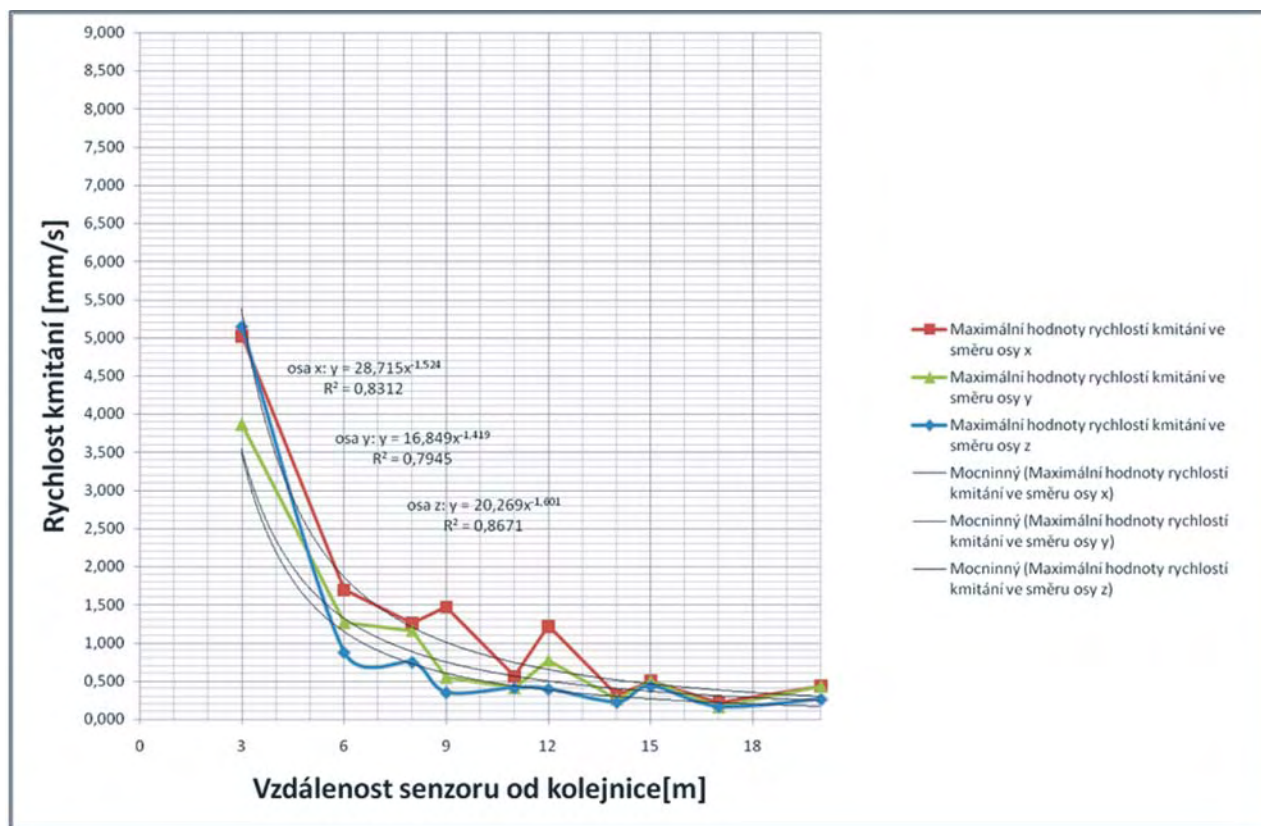
$$R^2 = 0,8671, y = 20,269 \times x^{-1,601}. \quad (6)$$

Při porovnání jednotlivých složek kmitání je zřejmá rozdílná hodnota rovnic regrese ve směru os x a y. Hodnota spolehlivosti je také výrazněji rozdílná. Hodnoty ve směru osy z jsou srovnatelné s ostatními osami i na vzdálenosti 3 m. V ostatních vzdálenostech je rozptyl hodnot osy z srovnatelný s osami x a y. Hodnota spolehlivosti osy z je největší; je však menší než u měření č. 2.

5. Hodnocení naměřených dat dle ČSN 73 0040

Dynamickou odezvu způsobenou technickou seizmicitou posuzujeme dle maximálních hodnot efektivních rychlostí. Dynamickou odezvu způsobenou technickou seizmicitou s výjimkou odezvy od trhačích prací z hlediska 1. skupiny není třeba dále analyzovat, pokud na referenčním stanovišti efektivní rychlosti pohybu nepřesáhne mezní hodnoty podle tab. 1.

Přehled maximálních hodnot efektivních rychlostí v jednotlivých měřených složkách je v kapitole 4. Norma ČSN 73 0040 definuje třídy odolností objektů a norma ČSN 73 0031 třídy významu objektů. Třída odolnosti objektu a její význam je důležitým faktorem při určení zatížení objektu seizmicitou.



Obr. 5: Porovnání hodnot rychlostí kmitání ve směru osy x, y, z (měření č.3)

Tab. 1: Mezní hodnoty efektivních rychlostí kmitání

Třída odolnosti objektu	V_{ef}			
	Třída významu objektu (dle ČSN 73 0031)			
	U	I	II	III
A	0,2	0,4	0,7	1,1
B	0,4	0,6	1,0	1,8
C	0,7	1,5	2,0	2,8
D	0,9	2,5	2,5	3,5
E	1,1	2,5	3,0	4,0
F	1,5	3,0	4,0	5,0

kmitání měření č. 2 a č. 3 je téměř zanedbatelný. Tento jev je zřejmě vyvolaný lokální geologickou stavbou způsobující vysoký útlum seizmických vln.

Vliv rychlosti vlaku na velikost rychlosti kmitání potvrzují maxima hodnot, která jsou způsobena vlaky, jejichž rychlost byla vyšší než průměrná rychlost na daném úseku.

Ve všech složkách je patrná mocnná závislost rychlosti kmitání na vzdálenosti od kolejnice. Tyto závislosti jsou statisticky významné, což dokazují vysoké hodnoty spolehlivosti křivek trendu.

Největší rozptyl naměřených hodnot lze pozorovat na vzdálenosti 3m od kolejnice. Tento jev by mohl být zapříčiněn ustavením senzoru a stavbou kolejového lože, které bylo tvořeno šterkem.

Dále lze na jednotlivých grafech vidět markantní pokles maximálních hodnot rychlostí kmitání na rozhraní vzdáleností 3m a 6 m. Ve vzdálenosti 3 m předpokládám šíření seizmické vlny pouze v kolejovém loži. Na rozdíl od toho, ve vzdálenosti 6 m se již uplatňuje vliv geologické stavby pod kolejovým ložem.

Výsledky měření uvedené v kapitole 4. ukazují, že ve vzdálenosti 3 m od kolejnice rychlosti kmitání v maximálních hodnotách překračují maximální mezní hodnotu efektivní rychlosti 5 mm/s z tab. 1, u měření č. 2 dokonce téměř dvojnásobně. V této malé vzdálenosti se však zpravidla nenacházejí žádné objekty. Ve větších vzdálenostech od kolejnice však dochází k výraznému útlumu rychlostí kmitání, které nepřekračují hodnotu 2 mm/s. Křivka útlumu má mocnný charakter u obou představených měření.

Měření prokázalo, že seizmické zatížení v okolí kolejišť překračuje ve vzdálenostech větších než 6 m mezní hodnoty efektivních rychlostí pro třídy odolnosti a významu objektů zvýrazněné červeně v tab. 1.

6. Diskuze naměřených hodnot

Z vyhodnocení měření je zřejmé, že ačkoliv se průměrná rychlost vlaků na obou úsecích lišila téměř o 30 km/h, výjimkou jsou rychlosti kmitání ve vzdálenosti 3 m od kolejnice, rozdíl maximálních hodnot rychlostí

7. Závěr

Tato práce si klade za cíl stanovit závislost mezi velikostí seizmického zatížení a vzdáleností od jeho zdroje. Z jednotlivých vyhodnocení usuzují, že taková závislost existuje i pro prostředí s kolejovým ložem, a že závislost útlumu rychlostí kmitání na vzdálenosti od zdroje vibrací má mocninný charakter. Dále je z měření zřejmé, že jediné průkazné faktory ovlivňujícím velikost rychlostí kmitání jsou rychlost projíždějících vlakových souprav a již zmíněná vzdálenost od zdroje. Ostatní faktory, které jsou zmíněny v diskuzi, jsou jen domněnky, které v současné době nelze podložit výsledky měření.

Tato práce je úvodní studií, která si klade za cíl především seznámení se zadanou problematikou, provedení experimentálních měření a vyhodnocení velikostí maximálních amplitud rychlostí kmitání. Další měření budou zaměřena na úseky s podobnou geologickou stavbou a s rozdílnou průměrnou rychlostí projíždějících vlakových souprav. Zajímavý je rozptyl hodnot na vzdálenosti 3 m, proto další studium bude zaměřeno na stanovení závislosti mezi velikostí rychlostí kmitání v této vzdálenosti a rychlostí jednotlivých projíždějících vlakových souprav. Nedílnou součástí následné studie bude i vytvoření matematických modelů v programech PLAXIS či GTS MIDAS.

Literatura

- KALÁB, Z., STOLÁRIK, M.: Experimentální měření seizmického projevu kamionové dopravy, *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*. Řada stavební, roč. 8, č. 1, 2008, str. 235–239
- KALÁB, Z.: Mělká podzemní díla a vibrace, *Tunel č.2/2007*, roč. 16, 2007, str. 12–20
- KALÁB, Z.: Seizmická měření v geotechnice, *VŠB-TUO*, 2008
- ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva, Český normalizační institut, Praha, 1996
- ČSN 73 0031 – Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových půd. Český normalizační institut, Praha, 1988.
- Uživatelská příručka seizmické měřicí aparatury Gaia 2T, Vistec (2006)
- Uživatelská příručka seizmického senzoru ViGeo 2T, Vistec (2006)
- SALAJKA, V. a KANICKÝ, V.: Příspěvek k posuzování seizmického zatížení stavebních objektů dopravou, *Sborník vědeckých prací VŠB-TU Ostrava*, řada stavební, roč. IV, č. 2, 2004, str. 261–267.
- KALÁB, Z.: Příklady měření projevů seismicity způsobené dopravou, *Sborník konference Geotechnika 99 – Základy moderních technologií*, Ostrava, 1999, str. 93–96.
- MAREK, R., LUŇÁČKOVÁ, B., ALDORF, J.: Vliv dynamických účinků tramvajové dopravy na ostění kolektoru, *Tunel č.2/2008*, roč. 17, 2008, str. 40–44
- STOLÁRIK, M.: Studie velikosti seizmického zatížení v ostravském kolektoru Centrum vyvolaném dopravou, *Sborník vědeckých prací VŠB-TUO, VŠB-TU Ostrava*, 2006, č. 2, vol. VI, 2006, str. 273–280.

¹Autor:

Bc. Josef Čejka, student oboru Geotechnika, fakulty stavební, VŠB-TU Ostrava
Vedoucí bakalářské práce: Doc. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc.