

VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ SEIZMICKÉHO ZATÍŽENÍ PŘI HUTNÍCÍ PRÁCI

EVALUATION OF SEISMIC LOADING MEASUREMENT DURING COMPACTING ACTIVITY

Miroslav Pinka¹

Abstrakt

V současnosti je nejpoužívanějším druhem hutnicího zařízení na velké plochy těžký tandemový vibrační válec. Při vibrování však vznikají i nepříznivé dynamické vlivy na objekty v okolí. Tyto vlivy je dobré sledovat, aby se předešlo poškození. Hlavním cílem práce je získání informací o seizmickém zatížení při hutnicích pracích, které pochází z terénního měření realizovaného při stavbě Nového administrativního centra IQ Ostrava a TIETO Tower. Byla vytvořena metodika terénního měření a interpretace získaných maximálních hodnot rychlosti kmitání. Měřením na stavbě byly získány potřebné hodnoty, které byly zpracovány do útlumových křivek odpovídajících danému geologickému prostředí měřené lokality. Bylo provedeno zhodnocení naměřených výsledků podle normy ČSN 73 0040. K útlumovým křivkám byly stanoveny odpovídající rovnice útlumu.

Abstract

At present, the most common type of compaction equipment for large areas is heavy tandem vibratory roller. Adverse effects of vibrations on structures in vicinity occur during compaction activity. These effects are necessary to be monitored to avoid the damages. The main objective of this paper is to provide information of seismic loading that was realized during the construction of a new administrative centre called IQ Ostrava and TIETO Tower. Methodology for field measurement and interpretation of the obtained values was prepared. All needed values were obtained during field measurements and afterwards attenuation curves corresponding to the geological environment of the measured locations were elaborated. Detailed evaluation of the measured results was made using the Czech Technical Standard CSN 73 0040. The corresponding relations of amplitude attenuation were calculated.

Klíčová slova

experimentální měření, vibrační válec, hodnocení vibrací.

Keywords

experimental registration, vibratory roller, evaluation of vibrations

1 Úvod

Při realizaci stavebních objektů je pro zlepšení základových poměrů v současnosti nejpoužívanější způsob zhutňování pomocí vibrační techniky. Na malých plochách je zhutňování prováděno vibračními pěchy, vibračními deskami, ručně vedenými vibračními válci nebo malými tandemovými, tahačovými či kombinovanými vibračními válci. Při zhutňování velkých ploch se využívají velké tandemové, tahačové a kombinované vibrační válce. Vibrační válce v rámci své činnosti generují déle působící vibrace. Část těchto vibrací kromě svého pozitivního působení ve formě vykonané práce působí i negativně, a to nepříznivými dynamickými vlivy na objekty v okolí. Měřením a hodnocením těchto negativních vlivů se zabývají například KALÁB 2008, MOONEY 2006, STOLÁRIK 2007.

Experimentální měření prováděné při realizaci novostavby Administrativního centra IQ Ostrava a TIETO Tower v Ostravě na křižovatce ulic 28. Října a Vítkovická bylo zaměřeno na posouzení vibrací vyvolané tahačovým vibračním válcem. Cílem experimentu bylo prohloubení znalostí o vibracích v zastavěných oblastech. Součástí příspěvku je také sestavení příslušných útlumových křivek, analýza útlumu vibrací pro dané prostředí a vyhodnocení záznamů v amplitudové i frekvenční oblasti.



Obr. 1 Umístění senzoru při 1. etapě



Obr. 2 Umístění senzoru při 2. etapě

2 Experimentální měření

Při zaznamenávání vibrací byla použita seizmická aparatura Gaia2 se senzorem ViGeo2. Gaia2 je tříkanálová seizmická stanice s dynamickým rozsahem 138 dBp-p s možností spouštěného i kontinuálního záznamu digitálních dat. Časová synchronizace je zajištěna pomocí modulu GPS. Uložení dat se provádí na CompactFlash disky. ViGeo2 je kompaktní, aktivní, krátkoperiodický, třísložkový, rychlostní senzor.

Měření bylo realizováno na novostavbě Administrativního centra IQ Ostrava a TIETO Tower v Ostravě na křižovatce ulic 28. Října a Vítkovická. Pro zbudování podzemních garáží komplexu slouží základová jáma zajištěná kotveným záporovým pažením. Celková hloubka jámy pro zakládání stavby je 5,8 m pod původní úrovní terénu. Na dně stavební jámy bylo realizováno seizmologické měření. Geologický profil získaný z ČGS-Geofondu ČR je vyneseno do tabulky 1 (KACHLÍKOVÁ 2011).

Měření se provádělo při dvou etapách výstavby. U obou etap měření byl pro zhutňování základové půdy použit těžký tahačový vibrační válec STA VV 900 D. STA VV 900 D je původní označení stroje AMMANN ASC 90 o hmotnosti 8820 kg a o maximální frekvenci 40 Hz.

Válec pojížděl v různých vzdálenostech od senzoru, který byl po celou dobu měření ustaven na sledovaném místě. Při prvním měření byl senzor umístěn přímo na zeminovém prostředí tvořeném uhlým štěrkem (Obr. 1). V průběhu druhého měření byl senzor usazen na zhutňované konstrukční vrstvě tvořené kamenivem velkých frakcí (Obr. 2). Mocnost této vrstvy kameniva byla 0,2 m.

3 Rozbor naměřených dat

Ke zpracování seizmických dat byl použit program SWIP (Seismic Waves Interpretation Program). Toto softwarové vybavení se standardně dodává k aparaturám Gaia. Program umožňuje zpracovávat seizmický signál jak v amplitudové, tak ve frekvenční oblasti. Příklad naměřeného vlnového obrazu je na obr. 3.

S ohledem na metodiku měření, použité aparatury a blízkost zdroje měříme víceméně frekvenci zdrojové funkce. Při vyhodnocování měření ve frekvenční oblasti je zřejmý posun frekvence v druhé etapě. Zatímco během měření realizovaných při první etapě byla naměřena frekvence 21 Hz (Obr. 4). U měření druhé etapy se naměřená frekvence pohybovala okolo 28 Hz (Obr. 5).

Při zobrazení pomocí programu SWIP je složka vertikální označena SHZ, složka horizontální radiální SHN a složka horizontální transverzální SHE. Takto jsou popsány na obrázcích 3,4,5.

Tab. 1 Geologický profil staveniště

Hloubka vrstvy [m]	Druh zeminy
0,00 – 2,80	hlinitá navážka
2,80 – 3,30	ostrohranné úlomky cihel
3,30 – 4,00	hlína prachová
4,00 – 4,50	ulehlý písek
4,50 – 6,50	ulehlý štěrk (v 5,8 [m] bylo realizováno měření)
6,50 – 7,60	štěrk hlinitopísčité
7,60 – 8,70	ulehlý písek
8,70 – 9,00	štěrk jílovitý
9,00 – 12,80	ulehlý štěrk
12,80 – 25,00	plastický jíl

Z vlnových obrazů byly odečteny maximální amplitudy rychlosti kmitání v jednotlivých vzdálenostech pojezdu válce od senzoru. Tyto hodnoty byly vyneseny do tabulek 2 a 3.

Tab. 2 Naměřené špičkové hodnoty amplitud rychlosti kmitání $[\text{mm.s}^{-1}]$ při 1. etapě

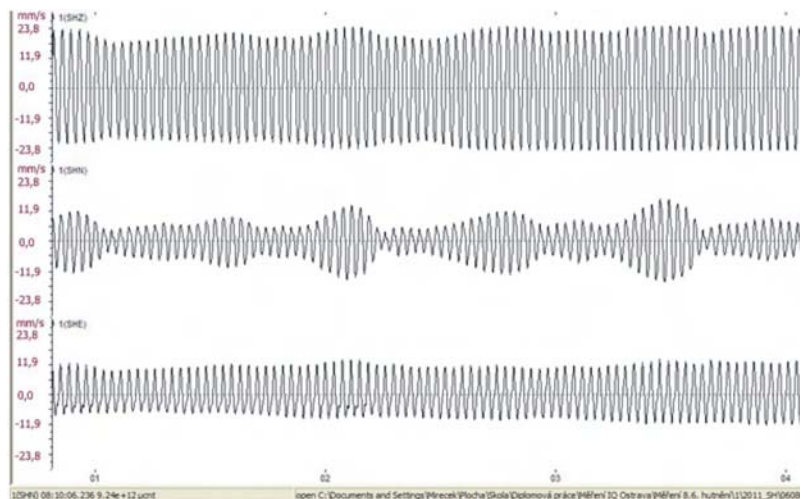
Vzdálenost [m]	Rychlost kmitání $[\text{mm.s}^{-1}]$		
	Složka Vertikální	Složka Horizontální Radiální	Složka Horizontální Transverzální
1,70	20,260	21,718	12,049
3,36	9,639	13,298	8,747
3,84	10,145	16,363	8,033
4,43	3,868	6,129	1,434
4,73	1,690	2,811	1,723
5,59	2,413	2,044	2,582
5,60	3,868	7,914	2,582
5,81	1,931	2,044	1,148
5,91	1,449	3,838	1,148
8,30	1,208	1,276	0,717

Tab. 3 Naměřené špičkové hodnoty amplitud rychlosti kmitání $[\text{mm.s}^{-1}]$ při 2. etapě

Vzdálenost [m]	Rychlost kmitání $[\text{mm.s}^{-1}]$		
	Složka Vertikální	Složka Horizontální Radiální	Složka Horizontální Transverzální
0,98	24,455	15,173	17,136
1,15	25,050	13,417	19,814
1,87	18,891	15,411	12,525
2,25	19,457	20,438	9,907
2,53	15,500	16,511	15,292
2,53	16,779	20,022	16,928
4,02	10,026	8,152	9,550
4,33	7,586	6,248	7,646
4,38	6,575	5,355	3,868
4,38	7,467	7,438	5,355
4,82	6,575	5,058	5,058

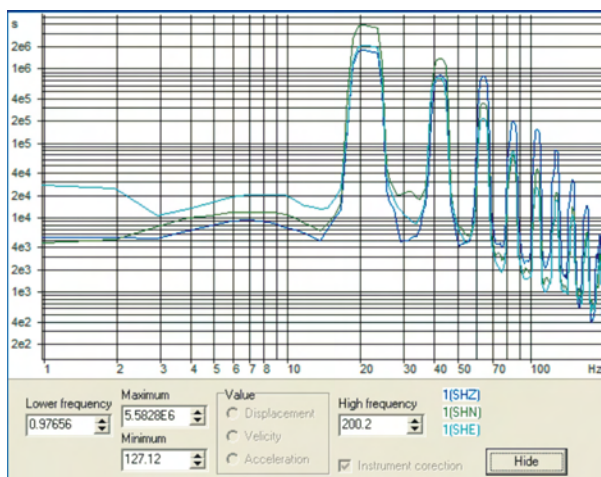
Na základě naměřených hodnot v tabulkách 2 a 3 byly vyneseny obr. 6 a 7. Pro získání útlumových křivek byla zvolena exponenciální křivka a to s ohledem na tvar amplitudové útlumové rovnice. Z proložených křivek byly odečteny rovnice zobrazené v tabulce 4. Z porovnání odpovídajících si složek na obrázcích 6 a 7 je zřejmé, že měření v první etapě u složky horizontální transverzální vykazují výrazný hodnotový skok oproti měření 2. etapy. Na obou ostatních složkách již není rozdíl mezi měřeními první a druhé etapy. U měření realizovaného při zhutňování vrstvy kameniva tvořeného velkými frakcemi lze pozorovat změnu dominantní rychlostí kmitání mezi jednotlivými složkami. V předchozích dvou případech dominovaly rychlosti vibrací složce horizontální transverzální, zde lze pozorovat, že větší rychlosti vibrací je dosaženo na složce vertikální.

U měření 2. etapy zobrazené v Tab. 3 lze pozorovat 2 anomálie. Za první anomálii lze označit dvojce různé hodnoty odpovídající stejné měřené vzdálenosti 2,53 m. Lze to nejspíš vysvětlit různým zhutněním prostředí ve stejné vzdálenosti, kdy menší hodnoty odpovídají měření realizovanému na úplném počátku hutnění a větší hodnoty odpovídají zhutnění zemin při ukončování prací.

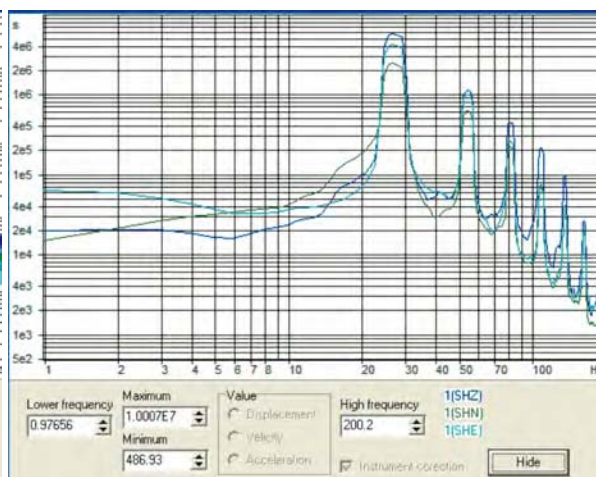


Obr. 3 Ukázka naměřeného vlnového obrazu, úplně nahoře je zobrazena vertikální složka pod ní složka horizontální radiální a jako poslední složka horizontální transversální. Na vodorovné ose je vyneseno čas v sekundách.

Do Obr. 7 byly vyneseny obě skupiny bodů odpovídající vzdálenosti 2,53 m. U druhé anomálie se jedná o menší hodnoty na vertikální složce ve vzdálenosti 1,87 m. Z naměřených dat není zřejmý zdroj této anomálie a ani na místě nebyla zřejmá žádná okolnost vedoucí k jejímu vzniku.



Obr. 4 Frekvenční obraz záznamu z 1. etapy



Obr. 5 Frekvenční obraz záznamu z 2. etapy

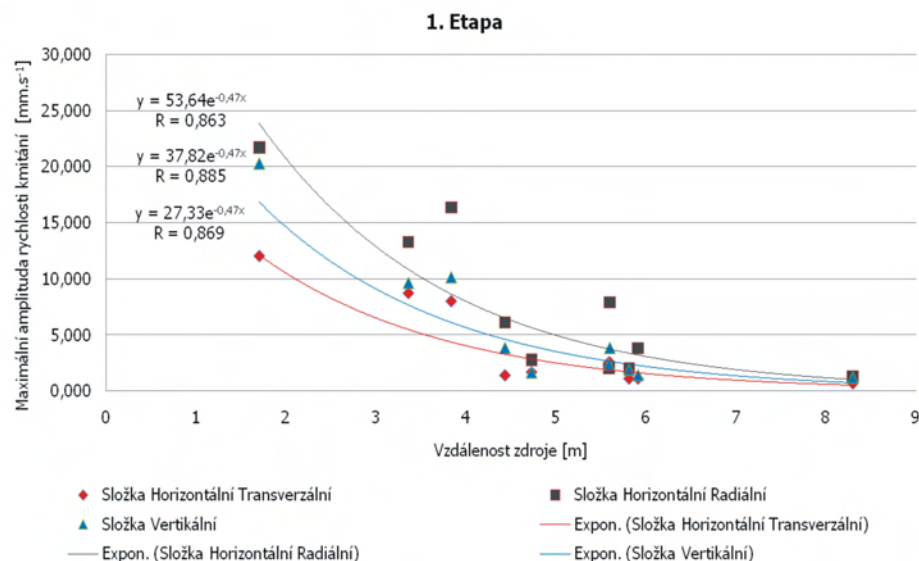
4 Hodnocení naměřených dat podle ČSN 73 0040

Zhodnocení vibrací podle normy ČSN 73 0040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“ se s výjimkou odezvy trhacích prací provádí pomocí mezních efektivních rychlostí uvedených v tabulce 5.

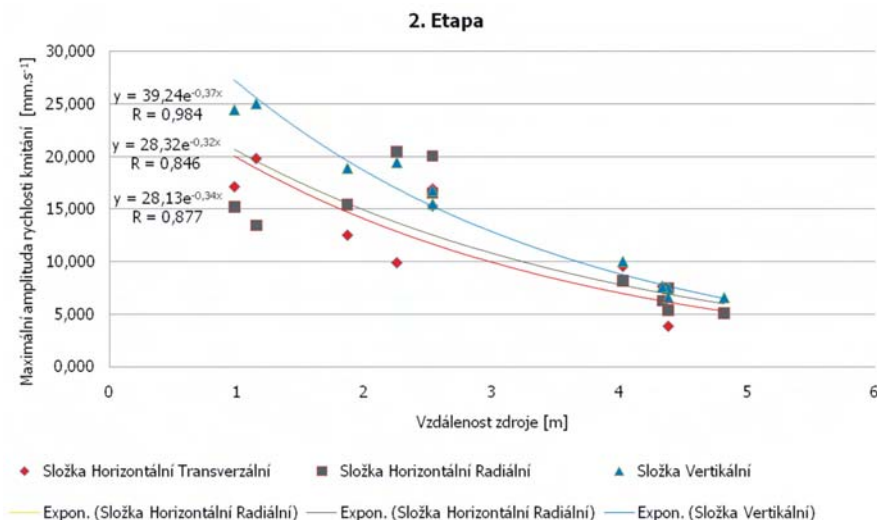
V tabulce se nachází hodnoty efektivní rychlosti kmitání. Pokud jsou na referenčním stanovišti objektu naměřeny menší hodnoty, než uvedené není potřeba z hlediska mezního stavu únosnosti dále posuzovat konstrukci. Pro posouzení objektu je nutné jej zařadit do příslušné třídy významu objektu a třídy odolnosti objektu. Třída významu objektu je v normě ČSN 73 0031

rozdělena do čtyř skupin:

- U Objekty s mimořádným ekonomickým a/ nebo společenským významem;
- I Objekty s velkým významem;
- II Objekty se středním významem;
- III Objekty s omezeným významem.



Obr. 6 Vynesené útlumové křivky pro hutnění základové půdy



Obr. 7 Vynesené útlumové křivky pro hutnění vrstvy tvořené kamenivem velkých frakcí

Tab. 4 Vypočtené útlumové rovnice 1. a 2. etapy

Etapy	Rovnice složky vertikální	Rovnice složky horizontální radiální	Rovnice složky horizontální transverzální
1. Etapa	$y=37,82e^{-0,47x}$	$y=53,64e^{-0,47x}$	$y=27,33e^{-0,47x}$
2. Etapa	$y=39,24e^{-0,37x}$	$y=28,32e^{-0,32x}$	$y=28,13e^{-0,34x}$

Podle třídy odolnosti objektu se rozdělují posuzované stavby na 6 tříd (A-F). Objekty patřící do těchto tříd jsou specifikovány v normě. Ve třídě A se nacházejí objekty nejvíce náchylné k poškození, např. chatrné objekty neodpovídající dnešním stavebním předpisům jako jsou historické památky. Ve třídě B se nacházejí běžné cihelné stavby. Do třídy C se řadí velké budovy z cihel a tvárnic, kamenné mosty, kamenné obklady podzemních objektů, potrubí kameninové.

Tab. 5 Mezní efektivní hodnoty vibrací podle normy ČSN 73 0040

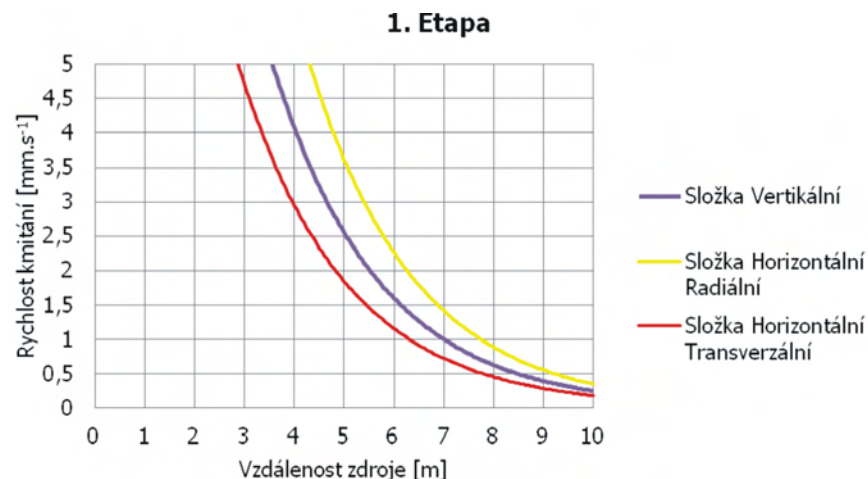
Třída odolnosti objektu	v_{ef} [mm.s ⁻¹]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	0,2	0,4	0,7	1,1
B	0,4	0,6	1,0	1,8
C	0,7	1,5	2,0	2,8
D	0,9	2,0	2,5	3,5
E	1,1	2,5	3,0	4,0
F	1,5	3,0	4,0	5,0

Tab. 6 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí při měření 1. etapy

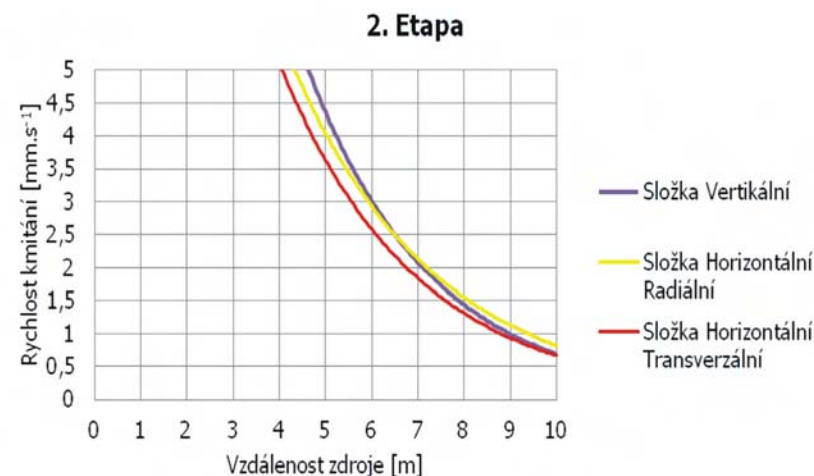
Třída odolnosti objektu	Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí [m]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	11,20	9,70	8,50	7,55
B	9,70	8,85	7,75	6,50
C	8,50	6,90	6,30	5,55
D	8,00	6,30	5,80	5,10
E	7,55	5,80	5,40	4,80
F	6,90	5,40	4,80	4,35

Tab. 7 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí při měření 2. etapy

Třída odolnosti objektu	Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí [m]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	15,50	13,30	11,55	10,15
B	13,30	12,05	1,0	8,60
C	11,55	9,20	8,30	7,25
D	10,80	8,30	7,60	6,55
E	10,15	7,60	7,00	6,20
F	9,20	7,00	6,20	5,60



Obr. 8 Grafické znázornění posouzení měření 1. etapy podle normy



Obr. 9 Grafické znázornění posouzení měření 2. etapy podle normy

V třídě D se jedná o budovy s ocelovým nebo dřevěným skeletem, opěry mostů z kamene, cihelné a tvárniceové obezdívky, litinové potrubí. Do třídy E jsou zařazeny ŽB a ocelové konstrukce, ŽB inženýrské sítě, betonové monolitické konstrukce podzemních objektů, žilové a koaxiální sdělovací kabely. V třídě F se nacházejí nejvíce odolné objekty železobetonové a ocelové ostění tunelů, úkryty civilní obrany a ocelové potrubí.

V normě ČSN 73 0040 jsou vibrace charakteru déle trvajících rázového zatížení nebo ustáleného periodického zatížení posuzovány pomocí efektivních hodnot. Pro posouzení naměřených hodnot byly zvoleny rovnice útlumových křivek (tab. 4). Zpracování naměřených záznamů probíhalo jako odečet špičkových hodnot, proto byly převedeny pro posouzení na hodnoty efektivní. Byly vytvořeny útlumové křivky (Obr. 8 a 9) měřených stanovišť s vyobrazením všech tří měřených složek, aby bylo jednoznačně určeno, na které ze složek připadají rozhodující hodnoty. Mimo určení složek mohou křivky sloužit k orientačnímu získání minimální vzdálenosti, ve které nebude překročena hodnota mezní efektivní rychlosti pro posuzovanou stavbu při obdobné práci a podobných geologických podmínkách. Maximální hodnota pro amplitudu rychlosti kmitání je zvolena $5,0 \text{ mm.s}^{-1}$, která odpovídá třídě významu III a třídě odolnosti objektu F. Po určení složky s maximálními efektivními hodnotami byly provedeny výpočty vzdáleností, ve kterých jsou dosaženy hodnoty rychlosti kmitání podle tab. 5. Tyto hodnoty byly vyneseny do tabulek viz tab. 6 a 7. Pokud by se posuzoval objekt podle normy v lokalitách obdobného geologického profilu a při provádění podobných prací, stačilo by po provedení zatřídění objektu vyhledat vypočtenou vzdálenost, ve které již objekt nemusí být posuzován dynamickým výpočtem. U první etapy slouží k posouzení hodnoty efektivní rychlosti kmitání na převládající složce horizontální radiální. Ale při měření v druhé etapě se mění převládající složka rychlosti kmitání ve vzdálenosti 6,5 m. Z počátku je převládající složka vertikální, ale poté, co vzdálenost překročí 6,5 m se nejvyšší hodnoty odečítají opět na složce horizontální radiální.

5 Závěr

V článku jsou představeny výsledky experimentálního měření realizovaného novostavbě Administrativního centra IQ Ostrava a TIETO Tower v Ostravě na křižovatce ulic 28. Října a Vítkovická. Při budování byla použita těžká vibrační technika a vzhledem k blízké zástavbě bylo realizováno detailnější prozkoumání efektu technické seizmicity. Vlastní hodnocení seizmicity na okolní zástavbu je provedeno pomocí ČSN 73 0040. Na základě normy byly vypracovány tabulky se vzdálenostmi, ve kterých by při obdobné geologii a podobných pracích nemělo dojít k poškození objektu. Zpracování vlastního experimentálního měření potvrdilo, že vzhledem ke vzdálenosti okolní zástavby nedojde k jejímu poškození ani není nutné provést dynamický výpočet. Kromě tohoto hodnocení je také v článku uváděn rozbor naměřeného seizmického signálu jak v časovém tak ve frekvenčním spektru. Rozbor je vytvořen pro dvě etapy výstavby objektu, kdy v první je uváděno měření hutnění pomocí vibračního válce přímo na zeminovém prostředí tvořené ulehlým šterkem. V druhé etapě výstavby již byla na základovou půdu nanášena konstrukční vrstva tvořená velmi hrubozrnným kamenivem. Při provádění hutnění v první etapě byla naměřena frekvence 21 Hz a při druhé etapě pak 28 Hz. Hodnocení bylo prováděno pomocí vytvoření útlumových křivek.

Literatura

ČSN 73 0031. *Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových půd*. Praha, ČNI, Prosinec 1988, 24 s.

ČSN 73 0040. *Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva*. Praha, ČNI, Březen 1996, 28 s.

KALÁB, Z. *Seizmická měření v geotechnice: Monografie*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008, 125 s. ISBN 978–80-248–1796-5(brož.).

KACHLÍKOVÁ, R. Žádost o poskytnutí dat z vrtné databáze[online]. Správa pro: Miroslav Pinka. 15. 11. 2011 [cit. 1. 4. 1995]. Osobní komunikace.

MOONEY, M. A., RINEHART R. V., SUSANTE, P. The Influence of Heterogeneity on Vibratory Roller Compactor Response. *GeoCongress 2006*, Asce, 2006, p. 46–46. ISBN: 0784408033

STOLÁRIK, M. Studie seizmického zatížení při zhutňování zemin těžkou vibrační technikou. In *Juniorstav 2007 : 9. odborná konference doktorského studia*.

Brno: VUT v Brně, 2007, sborník příspěvků na cd. Dostupné z

[www:http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce_2.6/Stolarik_Martin_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce_2.6/Stolarik_Martin_CL.pdf)>.

Autor

¹ Ing. Miroslav Pinka – VŠB-Technická univerzita Ostrava, FAST, L. Poděšť 1875, 708 33 Ostrava-Poruba, tel. 00 420 597 321 928, miroslav.pinka.st@vsb.cz