

Miroslav PINKA¹, Martin STOLÁRIK², Roman FOJTÍK³, Tomáš PETŘÍK⁴

EXPERIMENTÁLNÍ SEIZMICKÉ MĚŘENÍ NA ZKUŠEBNÍ KONSTRUKCI
A NÁSLEDNÁ ANALÝZA

EXPERIMENTAL SEISMIC MEASUREMENT ON THE TESTING CONSTRUCTION
AND THE ANALYZE

Abstrakt

Konstrukce „stand“, která byla postavena v areálu Fakulty stavební, VŠB-TU Ostrava, má sloužit k realizaci experimentů a měření z různých oblastí stavitelství. Katedra geotechniky a podzemního stavitelství mimo jiné na konstrukci „standu“, konkrétně na železobetonových základových pásech, prováděla experimentální seizmické měření odezvy vibrační desky. Byl sledován útlum vibrací v prvních metrech od základu, získané záznamy byly vyhodnoceny v amplitudové i frekvenční oblasti a bylo provedeno zhodnocení na základě ČSN 73 0040. Součástí příspěvku je také možný návrh přístupu k analýze odezvy konstrukce na účinky vibrací za pomoci 3D matematického modelu vytvořeného programem SCIA Engineer 2011.1.

Klíčová slova

Stand, seizmické měření, vibrační deska, 3D matematický model.

Abstract

Construction test „stand“, which was built on the premises of the Faculty of Civil Engineering, Technical University of Ostrava, is intended to implement the experiments and measurements from different areas of engineering. Department of Geotechnics and Underground Engineering carried out experimental measurements of seismic response of plate tamper on concrete strip footing of the construction test „stand“. Vibration attenuation was observed in the first meters from foundation constructions, obtained records were analyzed in amplitude and frequency domain and an evaluation based on ČSN 73 0040. Part of this paper is also possible approach to the response analyze of the structure to the effects of vibration using 3D mathematical model created by SCIA Engineer 2011.1.

Keywords

Stand, seismic measurement, plate tamper, 3D mathematical model.

¹ Ing. Miroslav Pinka, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 928, e-mail: miroslav.pinka.st@vsb.cz.

² Ing. Martin Stolárik, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 928, e-mail: martin.stolarik@vsb.cz.

³ Ing. Roman Fojtík, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 329, e-mail: roman.fojtik@vsb.cz.

⁴ Ing. Tomáš Petřík, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 362, e-mail: tomas.petrik@vsb.cz.

1 ÚVOD

Zhutňování zemin je proces vytvářející stabilitu zemních konstrukcí tak, aby se jednotlivé konstrukční vrstvy nedeformovaly (nesedaly) vlivem zatížení od provozu, nebo aby jejich sednutí nebylo na závalu účelu, kterému mají sloužit. Zhutňování zemin je základním technologickým procesem při zakládání staveb, při stavbě dopravních komunikací nebo při jejich úpravě [1, 2, 3]. Např. při stavbě komunikací slouží zhutňovací stroje nejen pro zhutňování podloží nebo při stabilizacích, ale i při dokončovacích pracích při úpravě konečných povrchů. Lze tedy říci, že zhutňování je technologický proces, při němž umělým způsobem zvyšujeme objemovou hmotnost zeminy působením statického nebo dynamického zatížení [4].

Zhutňování je prováděno na malých plochách vibračními dusadly, 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. Zhutňování těmito prostředky se ve stejné míře provádí jak ve volném terénu, tak v zastavěných oblastech, velmi často přímo v centrech obcí či měst. Použití těžké stavební techniky při výstavbě nových objektů může být zdrojem intenzivnějších, časově omezených vibrací. Tyto vibrace mají charakter déletrvajících vlnění nebo samostatných impulsů [5, 6, 7, 8]. Experimentální měření prováděné na konstrukci standu bylo zaměřeno na posouzení technické seizmicity vyvolané reverzní vibrační deskou na základovou konstrukci. Cílem experimentu bylo poukázat na to, že vibrační technika, která je běžně používána při zhutňování zemin, může mít jakožto zdroj technické seizmicity nezanedbatelný vliv. Součástí příspěvku je také sestavení příslušných útlumových křivek a vyhodnocení záznamů v amplitudové i frekvenční oblasti.

Vibrace také mohou způsobit nedovolené zrychlení vlastních konstrukcí a jejich případné praskliny a jiné poruchy [9, 10]. Proto je v příspěvku realizován také následný návrh analýzy odezvy konstrukce na účinky vibrací za pomoci 3D matematického modelování. Návrh slouží především k vzájemnému propojení měření vibrací a posuzování jejich účinků na objekty.

2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Experimentální měření in-situ na konstrukci stand bylo prováděno seizmickou aparaturou GAIA 2T české firmy Vistec a rychlostním senzorem ViGeo 2 (Vistec). ViGeo 2 je kompaktní, aktivní, krátkoperiodický, tříšložkový, rychlostní seismometr, pro terénní i staniční použití. Seismometr obsahuje tři mechanické kmitavé systémy (snímače) s vlastní frekvencí 2 Hz a frekvenční rozsah je od 2 Hz do 200 Hz. Používaná seizmická aparatura pracuje jak ve spouštěném tak kontinuálním režimu. Pro zpracování seizmických dat včetně frekvenční analýzy je používán program Swiproject (Vistec).

Jako zdroj dynamického zatížení byla použita reverzní vibrační deska VDR 22 firmy NTC. Tato vibrační deska má danou frekvenci vibrování až 100 Hz a hmotnost 120 kg (Obr. 1).



Obr. 1: Reverzní vibrační deska VDR 22



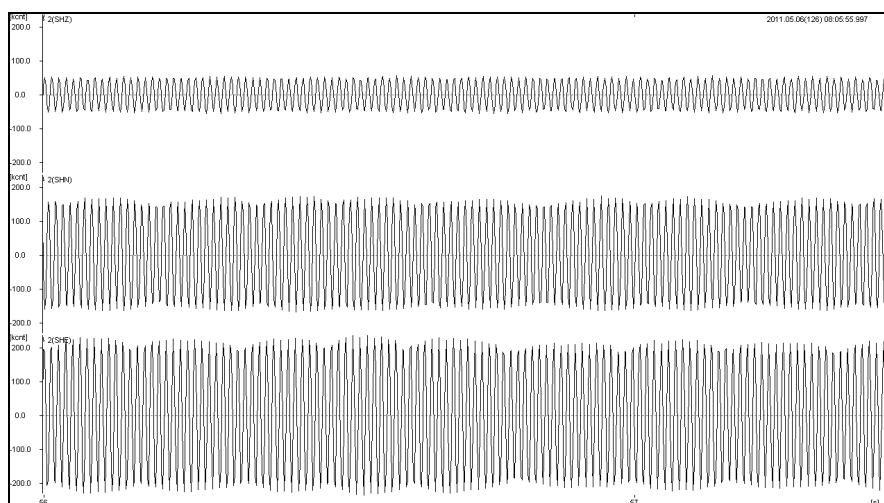
Obr. 2: Vytyčený profil

K realizaci seizmického měření byl vytyčen 14 metrů dlouhý profil s krokem 2 m (Obr. 2). Po tomto profilu byla následně přemístována vibrační deska. Na základu standu byl ustaven senzor seizmické aparatury.

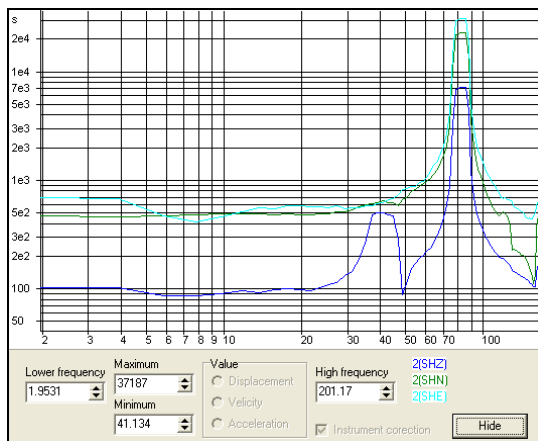
Pro popsání geologie na měřeném stanovišti byl využit vrtný profil získaný z Geofondu. Do hloubky 0,3 m se jedná o ornici. Pod ní do hloubky 6 m se střídají různé vrstvy pevné písčité jílovité hlíny. Od 6,0 m do 6,4 m se nacházejí pevné hlíny s přítomností jílovitého písku. Do 7 m se nachází vrstva ulehlé hlíny s přítomností drobného štěrku. Od 7 m do 7,3 m je lokalizován ulehlý silně hlinitý písek. Do 8 m je písek velmi ulehlý. Až do 13,7 m, kde skončil vrtný průzkum, jsou lokalizovány různé vrstvy drobného štěrku, který je promísený s křemičitým pískem. Hladina podzemní vody byla lokalizována v jiném vrtu až na úrovni 15,8 m.

3 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Výstupem seizmického měření jsou vlnové obrazy záznamu vibrování v různých vzdálenostech od základové konstrukce (Obr. 3). Na obrázku je shora zobrazena složka vertikální /Z/, dále složka horizontální radiální /N/ a transversální /E/, vodorovná osa je čas v sekundách (osy jsou ve stejném amplitudovém i časovém měřítku). Zpracovatelský SW neumožňuje přepočtení hodnot amplitud kmitání na fyzikální jednotky [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$], proto jsou v obrázcích svislé osy vyneseny v kvantovacích úrovních [cnt]. Dalším výstupem jsou frekvenční spektra záznamu vibrování (Obr. 4). Jak je patrné ze spektra, vibrováno bylo frekvencí 82 Hz.



Obr. 3: Příklad vlnové obrazu záznamu vibrování vibrační deskou

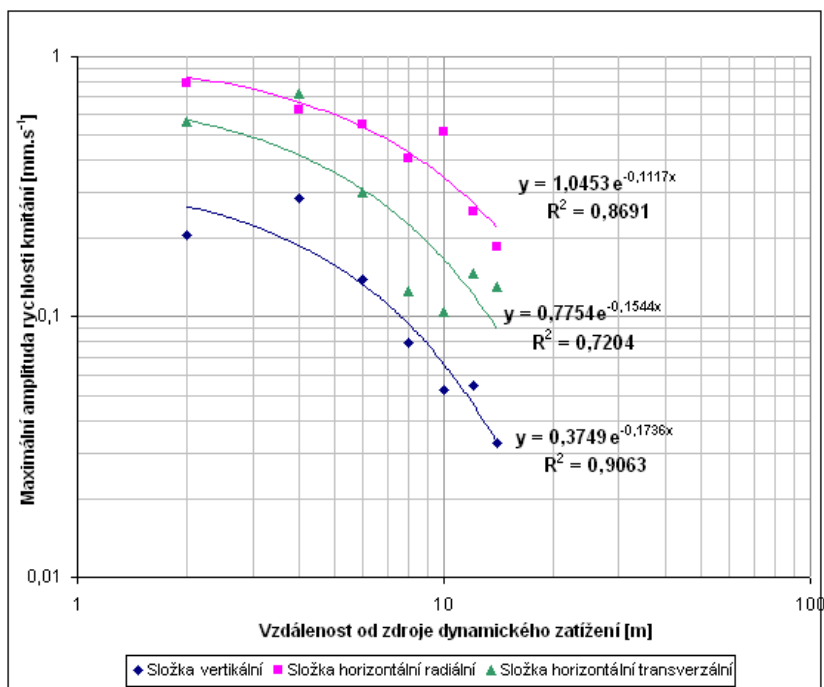


Obr. 4: Příklad frekvenčního spektra záznamu vibrování vibrační deskou

Z vlnových obrazů byly odečteny maximální amplitudy rychlosti kmitání v daných vzdálenostech (Tab. 1) a na základě těchto hodnot byly sestaveny pro tři na sebe kolmé směry tři útlumové křivky pro dané prostředí ve vzdálenosti prvních metrů od zdroje dynamického zatížení (Graf 1).

Tab. 1: Maximální složkové amplitudy rychlosti kmitání

Vzdálenost od zdroje dynamického zatížení [m]	Maximální amplituda rychlosti kmitání [mm.s ⁻¹]		
	Složka vertikální	Složka horizontální radiální	Složka horizontální transverzální
2	0,20	0,79	0,56
4	0,29	0,62	0,72
6	0,14	0,55	0,30
8	0,08	0,41	0,12
10	0,05	0,51	0,10
12	0,06	0,25	0,15
14	0,03	0,18	0,13



Graf 1: Útlumové křivky pro dané prostředí získané na základě měření in-situ

4 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT Z POHLEDU VLIVU VIBRACÍ NA STAVEBNÍ OBJEKTY

Podle normy ČSN 73 0040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“ [11] se posouzení technické seizmicity s výjimkou odezvy od trhačích prací provádí podle tabulky 2.

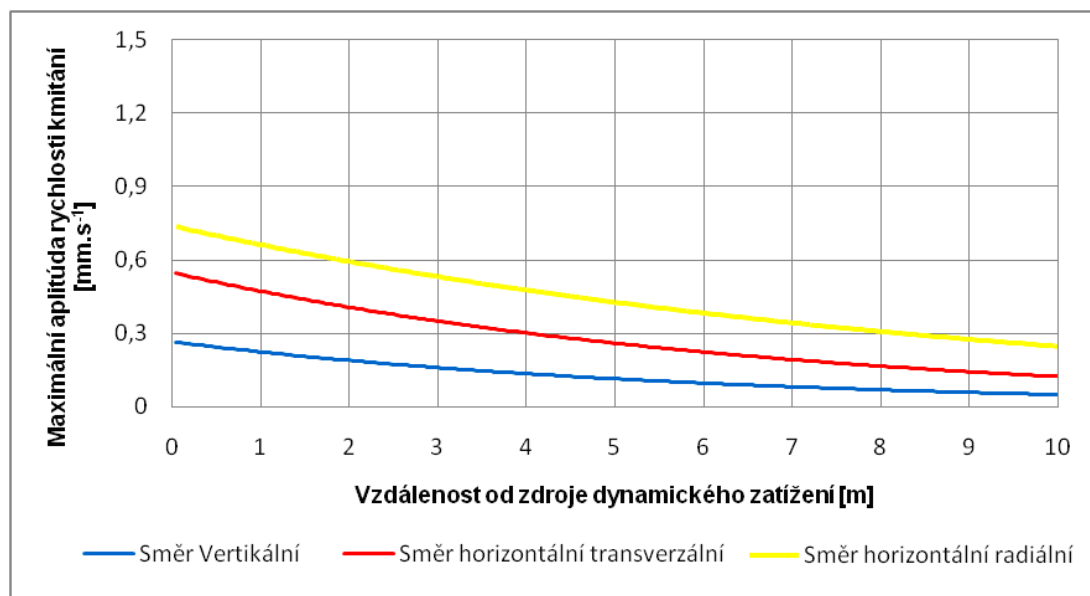
Tab. 2: Mezní hodnoty efektivní rychlosti

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	1,8
C	0,7	1,5	2	2,8
D	0,9	2	2,5	3,5
E	1,1	2,5	3	4
F	1,5	3	4	5

Odezva na zatížení technickou seizmicitou se posuzuje zpravidla hodnotou efektivní rychlosti kmitání na referenčním stanovišti, tj. v nejnižším podlaží objektu nebo na jeho základech. Pokud jsou na referenčním stanovišti naměřeny menší hodnoty než uvedené v tabulce 2, není potřeba z hlediska mezního stavu únosnosti dále posuzovat konstrukci. Pro posouzení na základě dané normy je třeba stavební objekt zařadit do třídy významu a třídy odolnosti. Podle třídy významu (ČSN 73 0031 [12]) jsou objekty rozděleny do čtyř tříd, a to U, I, II, III. Jako třída U jsou označeny objekty s mimořádným a/ nebo společenským významem, třída I má význam velký, třída II střední a třídou III jsou označeny objekty omezeného významu.

Podle třídy odolnosti jsou objekty rozděleny do 6 tříd (A – objekty nejvíce náchylné k poškození, neodpovídající dnešním stavebním předpisům např. historické památky; B – běžné cihelné stavby; C – velké budovy z cihel a tvárnic, kamenné mosty, kamenné obklady podzemních objektů, potrubí kameninové; E – ŽB a ocelové konstrukce, ŽB inženýrské sítě, betonové monolitické konstrukce podzemních objektů, žilové a koaxiální sdělovací kabely; F – nejvíce odolné objekty, železobetonové a ocelové ostění tunelů, úkryty civilní obrany a ocelové potrubí) a dále do čtyř podskupin (objekty bytové, občanské, průmyslové a zemědělské; objekty inženýrské; objekty podzemní; podzemní inženýrské sítě a kabely).

V normě ČSN 73 0040 jsou vibrace charakteru déle trvajících rázového zatížení nebo ustáleného periodického zatížení posuzovány pomocí jejich efektivních hodnot. Zpracování naměřených záznamů probíhalo jako odečet maximálních rychlostí kmitání, proto byly převedeny pro posouzení tyto špičkové hodnoty na efektivní. Pro analýzu naměřených hodnot byly zvoleny rovnice útlumových křivek stanovené na základě Grafu 1 (exponenciální závislost). Na základě těchto rovnic byl vytvořen graf (Graf 2), který zohledňuje hodnoty ve všech třech měřených směrech, aby bylo jednoznačně určeno, ve kterém ze směrů jsou rozhodující nejvyšší hodnoty. Mimo určení velikosti efektivních hodnot, které rozhodují o posouzení, mohou grafy sloužit k orientačnímu získání minimální vzdálenosti, ve které nebude překročena hodnota mezní efektivní rychlosti kmitání pro posuzovanou stavbu. Na svislé ose grafu byla zvolena jako maximální hodnota rychlosti kmitání $1,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, která odpovídá třídě významu I a třídě odolnosti objektu C. Vyšší hodnoty efektivní rychlosti kmitání při daném zdroji dynamického zatížení nebylo dosaženo.



Graf 2: Grafické znázornění posouzení podle normy ČSN 73 0040

Po určení směru s maximálními efektivními hodnotami, v našem případě směr horizontální radiální, byl proveden výpočet vzdáleností, ve kterých jsou dosaženy hodnoty rychlosti kmitání podle tab. 2. Tyto hodnoty byly pro větší přehled vyneseny do tabulky (Tab. 3). Pokud by se posuzoval objekt podle normy v lokalitách obdobného geologického profilu a při provádění zhuťovacích prací obdobným zařízením, stačilo by po provedení zatřídění objektu vyhledat vypočtenou vzdálenost, ve které již objekt nemusí být posuzován dynamickým výpočtem.

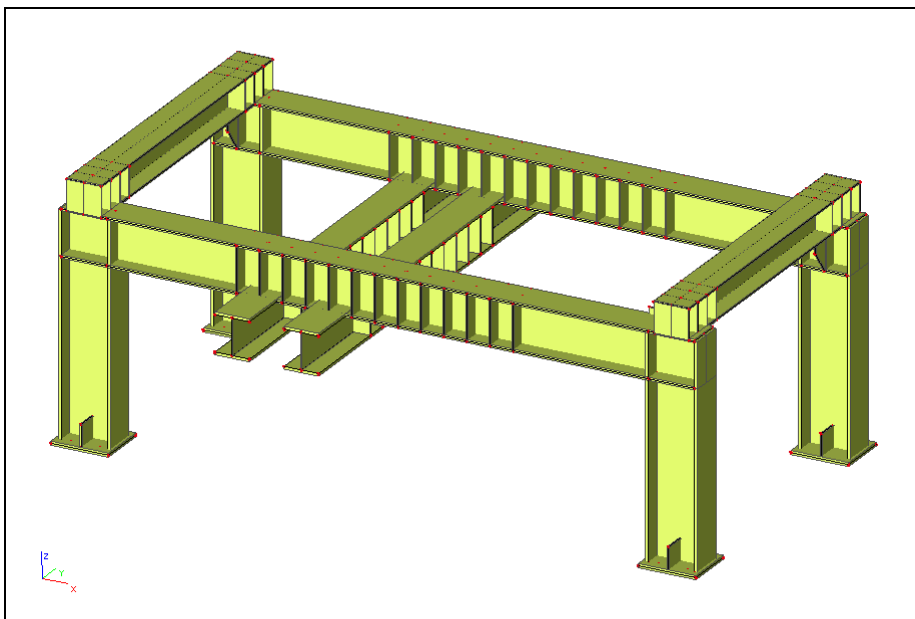
Tab. 3: Vypočtené vzdálenosti objektů při dosažení mezních rychlostí kmitání pro provedené experimentální měření

Třída odolnosti objektu	Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí kmitání [m]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	10,6	5,6	0,5	-
B	5,6	1,9	-	-
C	0,5	-	-	-
D	-	-	-	-
E	-	-	-	-
F	-	-	-	-

5 MOŽNÝ NÁVRH PŘÍSTUPU K ANALÝZE ODEZVY KONSTRUKCE NA ÚČINKY VIBRACÍ

5.1 Konstrukce „standu“

Protože se jedná o ryze praktickou úlohu, bylo pro stanovení odezvy použito jednoho z nejčastěji používaných softwarů pro řešení statických a dynamických úloh stavební praxe „SCIA Engineer 2011.1“ [13]. Jedná se o prostorovou rámovou konstrukci, jejíž účelem je mimo jiné vytvoření protizávaží pro geotechnické experimentální měření statickou zatěžovací deskou. „Stand“ je v podélném směru tvořen dvěma ocelovými rámy s profily HE450B a ve směru příčném je konstrukce ztužena dvěma profily HE300B. Všechny použité prvky jsou vyztuženy ocelovými příložkami pro zajištění stability jednotlivých profilů a také pro zvýšení tuhosti „standu“ (Obr. 5). Konstrukce prostorového rámu je navíc ztužena dvěma posuvnými příčníky určenými pro roznos zatížení na zkušební vzorek. Kotvení konstrukce je realizováno pomocí čtyř závitových tyčí umístěných mezi pásnicemi vyztužené patky.



Obr. 5: Numerický model konstrukce „standu“

5.2 Numerický model

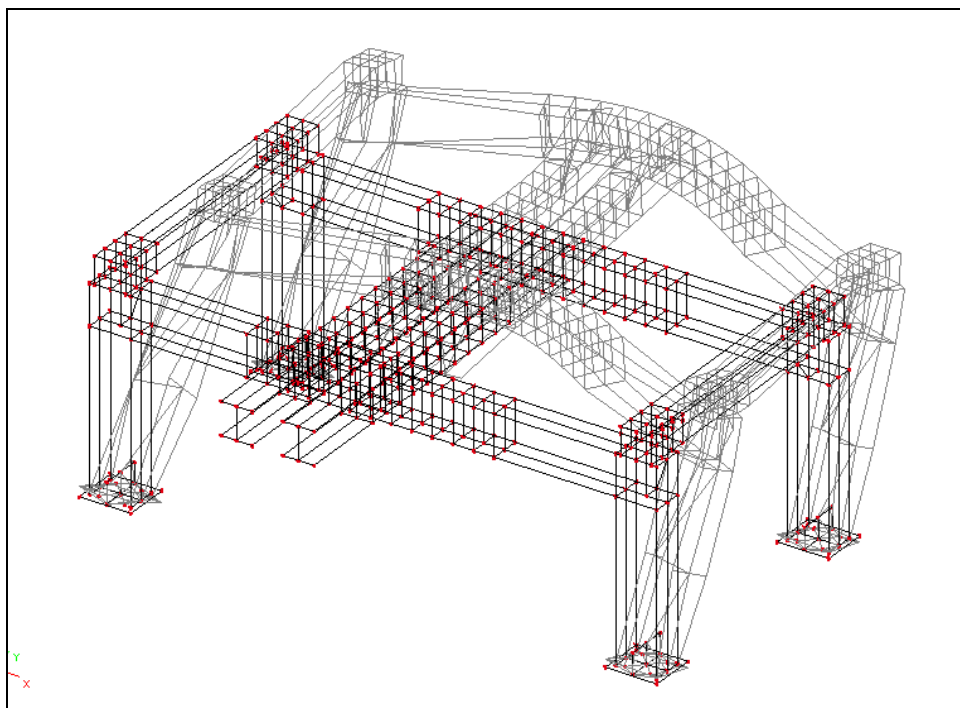
Nalezení nejvhodnějšího modelu konstrukce prostorového rámu, který by vhodně vystihoval dynamické vlastnosti konstrukce, bylo jedním z úkolů. Protože se jedná o prostorový rám, byl zvolen model 3D. Objekt je možné modelovat jako prutovou konstrukci nebo deskový systém.

Pro první odhad vlastních frekvencí postačí prutový model rozšířený o reálné rozložení hmotností na konstrukci. Tento zjednodušený modelem konstrukce standu je výhodný především z důvodu rychlosti a jednoduchosti provedení. Nevýhodou může být nepřesné rozložení hmotnosti a také tuhost (výztuhy).

Zadání okrajových podmínek v podporách je jedním z důležitých faktorů pro nalezení reálných dynamických parametrů konstrukce. I když jsou kotevní tyče v podporách umístěny mezi pásnicemi sloupů, dá se předpokládat, že díky výztuhám patky se uložení bude blížit vetknutí. Pro představu o vlivu okrajových podmínek byly zpracovány různé varianty kotvení. První varianta využila kloubové podpory v patách sloupů. Variantou opačnou je aplikace vetknutí. Reálné chování konstrukce se nachází mezi těmito dvěma variantami. Pro přiblížení výsledků skutečnosti, bylo kotvení provedeno přes deskový prvek, který simuluje tuhost patního plechu. Čtyři kotvy patního plechu byly nahrazeny kloubovými podporami. Rozdílné hodnoty, způsobené okrajovými podmínkami uložení, mezi jednotlivými modely jsou patrné z uvedené tabulky (Tab. 4).

Tab. 4: Porovnání vlastních frekvencí jednotlivých numerických modelů

model	podpory	hmotnost	vl.frek. podélná	vl.frek. příčná
typ	typ	[kg]	[Hz]	[Hz]
prutový	kloubové	4412	15,07	11,94
prutový	vetknutí	4412	15,6	15,76
prutový	deska	4412	15,14	13,78



Obr. 6: První vlastní tvar kmitání numerického modelu „standu“

Na základě vypočtených vlastních tvarů kmitání (3 druhy podpor) je naplánováno experimentální měření dynamické odezvy na vlastní konstrukci, které ukáže, zda numerické modely odpovídají naměřeným hodnotám. Nejdůležitější porovnanou hodnotou bude právě vlastní frekvence kmitání. Mezi další zjišťované parametry patří útlum a zrychlení konstrukce.

5.3 Odezva konstrukce

Kromě vlastních frekvencí je možné numericky stanovit i odezvu konstrukce na účinky dynamického buzení. Numerický deskový model „standu“ je proto nutné zatížit harmonickou silou, jejíž parametry vyvstávají z geotechnického měření odezvy betonového základu konstrukce. Pro zadání harmonické funkce do podpor konstrukce, je nutné nahradit použité podepření, které brání posunům konstrukce, podporami tuhostními.

Ocelová konstrukce „standu“ je uložena na dvou nezávislých základových pásech. S ohledem na provedené první experimentální měření nelze pro stanovení odezvy konstrukce vycházet jen z hodnot získaných na jednom základovém dílci, ale je nutné provést současně měření na obou základových pásech, protože odezva jednotlivých základových bloků bude fázově posunuta, což bude mít vliv na zrychlení konstrukce, které je požadovaným výsledkem. Získané poznatky budou uplatněny při dalším měření.

6 ZÁVĚR

Při stále větším rozvoji stavitelství v již dříve zastavěných oblastech hrozí poškození okolních objektů vlivem technické seizmicity. Poškození nejvíce hrozí při použití těžkých vibračních technologií, jako jsou tandemové a tahačové válce, ale nesmíme ztratit ze zřetele ani lehčí techniku jako jsou vibrační pěchy a desky. A právě měřením a posouzením účinků menší vibrační techniky na konstrukci se zabývá tento článek. Měření bylo realizováno jako experiment na konstrukci standu. Naměřené hodnoty byly zpracovány do formy útlumových křivek. Dále bylo měření zhodnoceno podle příslušné normy a byla vypracována tabulka se vzdálenostmi, ve kterých by při obdobné geologii a podobných pracích nemělo dojít k poškození objektu.

Na závěr byly zjištěny možnosti analýzy odezvy konstrukce na účinky vibrací za pomoci 3D modelování. Bylo vytvořeno několik typů modelů s různými druhy uložení a byly spočítány první vlastní tvary kmitání. Stanovení dynamických parametrů konstrukce „standu“ bude ověřeno experimentálním měřením přímo na ocelové konstrukci „standu“. Následně vyhodnocení a porovnání s numericky stanovenými hodnotami naznačí model, který se nejvíce přibližuje reálnému chování konstrukce. Pro modelování dynamického zatížení vyvolaného hutnicími zařízeními bude následně třeba provést experimentální měření se senzory ustavenými na obou základových pásech konstrukce.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl realizován za finančního přispění specifického výzkumu SP2012/59 „*Experimentální a modelová analýza odezvy vlivu technické seizmicity v horninovém prostředí*“.

Experimentální měření byla realizována v rámci projektu CZ.1.07/2.3.00/20.0013 „*Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB-TUO*“.

LITERATURA

- [1] STOLÁRIK, M. Studie seizmického zatížení při zhutňování zemin těžkou vibrační technikou, *Sborník referátů konference „JUNIORSTAV 2007“*, 2007, s. 190, Brno.
- [2] PETŘÍK, T., STOLÁRIK, M. Experimentální měření a numerický model seizmických účinků vibračního válce, *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, 2011. č. 1, s. 97-102. Ostrava.
- [3] ISAAC I. D. Effects of constructional vibrations upon an urban environment. In: *Earthquake, blast and impacts: Measurements and effects of vibration*, Elsevier Applied Science, 1991, 442-462.

- [4] SARSBY, R. *Environmental Geotechnics*. Thomas Telford Limited, 2000, London.
- [5] HORI, M. *Introduction to Computational Earthquake Engineering*. Imperial College Press, 2006, London.
- [6] KIM, D. S., LEE J. S. Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2000, č 19, s. 115–126, Amsterdam.
- [7] KALÁB, Z., ČAJKA R., HORKÝ, J., KOŘINEK, R. Dynamické účinky stavebního stroje na zděný objekt, *Konstrukce*. 2005, č. 2, s. 15-17. KONSTRUKCE Media, s.r.o. Ostrava.
- [8] KALÁB, Z. *Seizmická měření v geotechnice – monografie*, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008, 125 s, Ostrava.
- [9] VILLAVERDE, R. *Fundamental Concepts of Earthquake Engineering*. CRC Press Taylor&Francis Group, 2009, Boca Raton.
- [10] ČADA, Z.; SALAJKA, V.; HRADIL, P.; KANICKÝ, V. Účinky přírodní a technické seizmicity na stavební konstrukce v ČR. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava*, 2010, roč. 10, č. 2, s. 173-182, Ostrava.
- [11] ČSN 73 0040 – *Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva*, Český normalizační institut, 1996, Praha.
- [12] ČSN 73 0031 – *Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových půd. Základní ustanovení pro výpočet*. Český normalizační institut, 1988, Praha.
- [13] FOJTÍK, R. a ROSMANIT, M. A New Pre-Stressed Bracing System for Buildings. CC2009: *The 12th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, Funchal, Madeira, Portugal, September 2009, Proceedings and CD.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Petr Hradil, Ph.D., Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.
 Doc. RNDr. Blažej Pandula, CSc., Ústav geovied, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach.