

Tomáš PETŘÍK¹, Martin STOLÁRIK²

NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ DYNAMICKÝCH ÚČINKŮ OD VIBROVÁNÉ PILOTY

NUMERICAL MODELLING OF DYNAMIC INFLUENCE OF VIBRATED PILE

Abstrakt

Tato práce se zabývá analýzou dynamických účinků způsobených realizací vibrovaných pilot (v průmyslové zóně Poříčany). Pro numerické modelování bylo použito software s názvem Plaxis 2D. Pro tvorbu výpočtových modelů je využito dat z experimentálních měření provedených Ústavem geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava. Získané výsledky dokumentují, do jaké vzdálenosti dochází k ovlivnění horninového prostředí vlivem rozkmitání vibrátoru.

Abstract

In this work, we deal with the problem of analyzing the dynamic effects caused by the realization of a vibrated pile (in the industrial zone Poříčany). Software named Plaxis 2D is used for numerical modelling. Experimental measurements carried out by Institute of Geonics AS CR are used for model creation, especially seismic loading. Obtained results document impact of vibrated pile realization on the geological mediums.

Keywords: Vibrated pile, model, Plaxis 2D, dynamic effects.

1 ÚVOD

V dnešní době jsou piloty jedním z nejrozšířenějších prvků hlubinného zakládání staveb. Slouží k přenesení zatížení konstrukce budovy do únosných vrstev podloží. Z hlediska zhotovení se piloty dělí do dvou skupin. Piloty vyrobené předem a zahloubené na místě budoucí stavby a piloty provedené přímo v terénu. Jednou z možností výstavby pilot v terénu je technologie budování pomocí vibračního vpěchování, jejíž historie se datuje od třicátých let dvacátého století. Při této technologii však dochází mj. ke vzniku seizmických efektů. Ty mohou mít nepříznivé účinky na okolní horninové prostředí a přilehlou zástavbu. Tyto účinky jsou ovlivněny mnoha faktory, především pak velikostí dynamických parametrů vibrátoru, vlastnostmi horninového prostředí a vzdáleností posuzovaného místa od místa vibrování. Proto je nutné tyto seizmické účinky monitorovat a v případě potřeby přizpůsobit technologii tak, aby seizmický projev nepřekročil přípustnou hranici.

V tomto příspěvku jsou prezentovány výsledky dynamických účinků při výstavbě vibrovaných pilot, kterých bylo dosaženo s využitím výpočetního programu Plaxis V8.2 2D.

2 SPECIFIKACE PROBLÉMU

V předkládaném příspěvku se zabýváme modelovou analýzou dynamických účinků vyvolaných výstavbou šterkových pilot. Vstupní hodnoty pro dynamické zatížení vychází z reálné situace. Jde o výstavbu strojírenského závodu v průmyslové zóně Poříčany poblíž dálnice D11 (Obr. 1). Piloty byly realizované na jaře 2008, při výstavbě bylo provedeno experimentální měření Ústavem geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava [1]. Měření seizmicity vyvolané vibrováním bylo

¹ 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.

² Ing. Martin Stolárik, Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika, tel.: (+420) 596 979 242, e-mail: stolarik.martin@seznam.cz.

provedeno pro 5 pilot při různých vzdálenostech umístění senzorů ViGeo 2 (Obr. 2), záznam byl realizován měřicí aparaturou Gaia 2T.



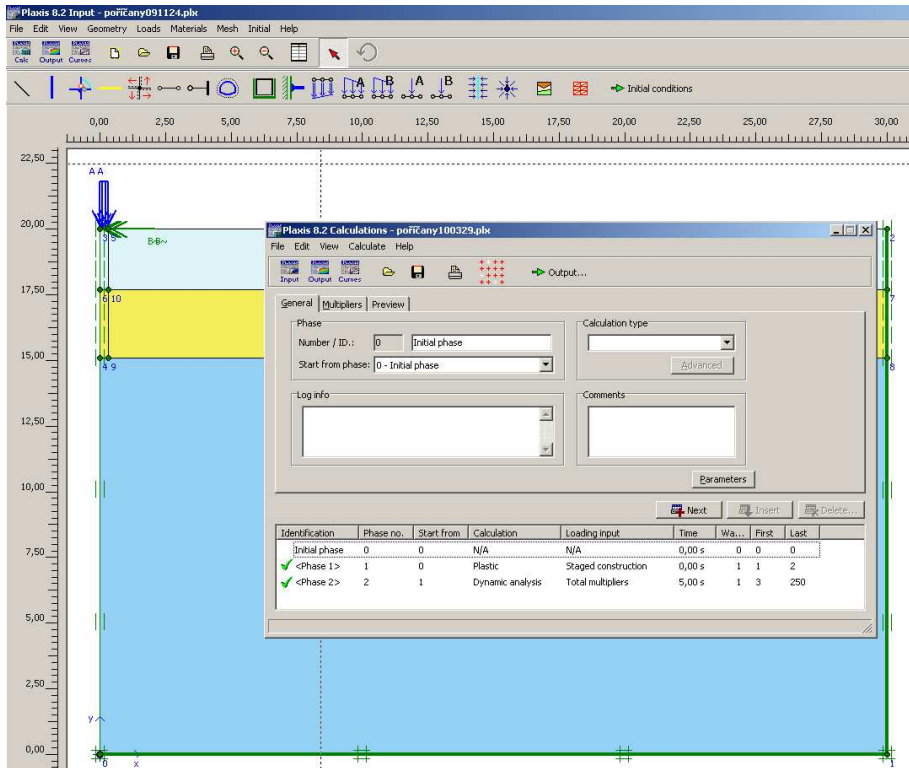
Obr.1: Družicový snímek Poříčan s lokací stavby (Google Earth)



Obr.2: Senzor ViGeo 2 (foto Stolárik M.)

2.1 Výpočetní software

Pro modelování je použit výpočetní program PLAXIS V8.2 ve 2D rozhraní (Obr. 3), který je produktem holandské společnosti PLAXIS BV. Program je vyvinutý pro deformační a stabilitní analýzu geotechnických úloh. Založen je na numerické metodě konečných prvků (dále jen MKP).



Obr. 3: Uživatelské prostředí programu Plaxis V8.2 2D

Plaxis V8.2 2D disponuje výpočetním dynamickým modulem, který umožňuje řešení dynamických úloh pomocí MKP [3]. Dynamická analýza vychází z Newtonova pohybového zákona, kde:

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

kde:

F – je síla [kN],

m – hmotnost tělesa [kg] a

a – zrychlení [m/s^2].

Základní rovnice pro výpočet časově závislých objemových změn pod vlivem dynamického zatížení je v programu Plaxis definována pomocí maticového zápisu pro celou uvažovanou oblast takto:

$$M \ddot{e} + C \dot{e} + K e = F \quad (2)$$

kde:

M – hmotnostní matice,

e, \dot{e}, \ddot{e} – vektor posunů, rychlostí a zrychlení,

C – matice tlumení,

K – matice tuhosti a

F – vektor zatížení.

Posuny e , rychlosti \dot{e} a zrychlení \ddot{e} jsou vzájemně závislé proměnné. Matice tlumení C reprezentuje materiálové tlumení. Ve skutečnosti je toto tlumení způsobené viskózními vlastnostmi,

třením a plasticitou materiálu. Materiálové tlumení je definováno pomocí Rayleighových součinitelů tlumení α_R a β_R , které jsou v praxi obtížně stanovitelné. Matice C je formulována jako funkce hmotnostní matice M a matice tuhosti K takto:

$$C = \alpha_R M + \beta_R K \quad (3)$$

Parametr α_R zohledňuje vliv objemu: čím větší tento parametr je, tím více jsou nižší frekvence pohlcovány. Parametr β_R určuje vliv tuhosti systému: čím větší je hodnota tohoto parametru, tím více jsou vyšší frekvence pohlcovány [3].

2.2 Vstupní data

Pro sestavení modelu se vycházelo z reálné situace v místě měření. Navážka zeminy o mocnosti 2,3 m je tvořena ze světle hnědé písčité zeminy slabě až středně hlinité s přibližně 10% šterku do průměru zrn 3-5 cm. V navážce je obsažena příměs textilu, plastu a dřeva. Vrstva zemin pod navážkou je složena z tuhých jíílů o mocnosti 2,6 m, které přechází do vrstvy tmavě šedého, navětralého a silně rozpukaného slínovce. Parametry zemin jsou v tab. 1 (m p.t. je hloubka pod původním terémem, m n.m. je nadmořská výška). Pro daný případ modelování vlastností zemin byl použit Mohr-Coulombův konstitutivní model.

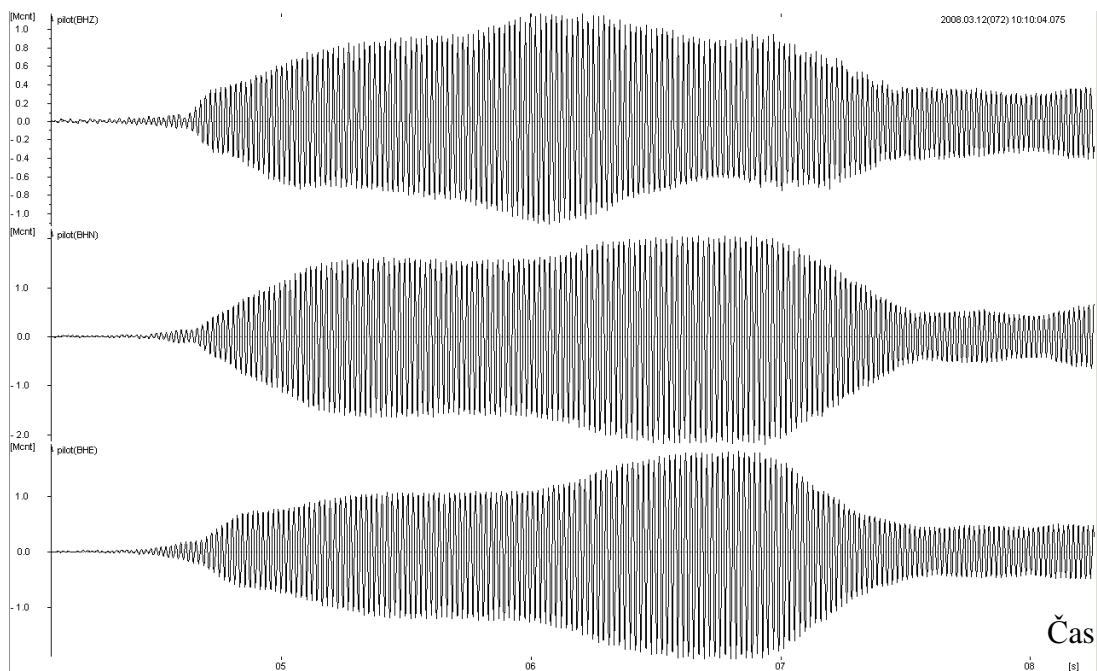
Pro zhotovení základů haly bylo zhotoveno přibližně 1150 šterkových pilot o průměru 600 mm v pravidelném čtvercovém rastru 3x3 m. Tyto piloty jsou uvažovány z povrchu upraveného terénu do hloubky okolo 4,9 m na vrstvu tmavě šedého, navětralého a silně rozpukaného slínovce.

Tab.1: Litologický profil místa stavby

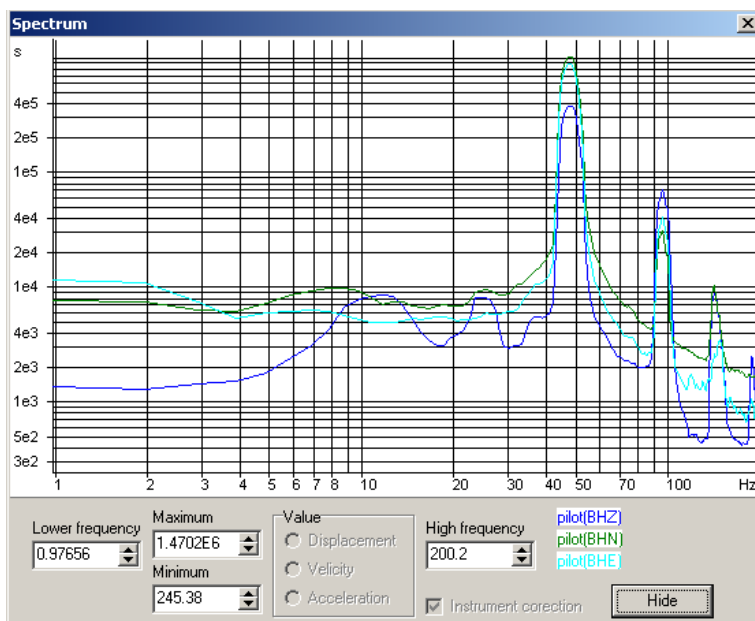
STROJÍRENSKÝ ZÁVOD V PRŮMYSLOVÉ ZÓNĚ POŘÍČANY: interpretovaný litologický profil v místě měření indukované seismicity v důsledku stavebních prací									
strop		báze		popis	v	γ	Edef	cef	φef
[m p.t.]	[m n.m.]	[m p.t.]	[m n.m.]		[-]	[kNm-3]	[MPa]	[kPa]	[°]
0	203,4	2,3	201,1	navážka - písek světle hnědý	0,35	19,5	12	5	30
2,3	201,1	4,9	198,5	tuhý jííl	0,32	19,9	10	10	20
4,9	198,5	9,5	193,9	slínovec tmavě šedý, navětralý, silně rozpukaný	0,28	20,5	35	14	15
Úroveň původního terénu 202,49 m n.m. HPVMAX 200,52 m n.m. HPVMAX 1,97 m p.t.									

Pro samotnou stavbu je využita metoda vibračního vpěchování, kdy se s původní zeminou mísí těžené nebo drcené kamenivo a vytvářejí se tak nosné sloupy. Piloty jsou zhotoveny pomocí vibrátoru. Zatížení je složeno z účinků přítlačné síly a ustáleného harmonického kmitání v horizontálním směru. Přítlačná síla vychází z vlastní tíhy vibračního zařízení a tíhy materiálu, který je v něm uložen (přibližně 10 t). To odpovídá hodnotě 100 kN. Kmitání vibrátoru vzniká elektricky poháněným excentrem vibrátoru o frekvenci 2800 ot/min (to odpovídá 47 Hz, viz. výsledky měření Obr. 4, 5).

Rychlost kmitání



Obr.4: Ukázka vlnového záznamu seizmického projevu in-situ (shora dolů – osa svislá, osa vodorovná ve směru ke zdroji dynam. zatížení, osa vodorovná kolmo na směr ke zdroji dynam. zatížení)



Obr.5: Spektrální analýza daného vlnového záznamu

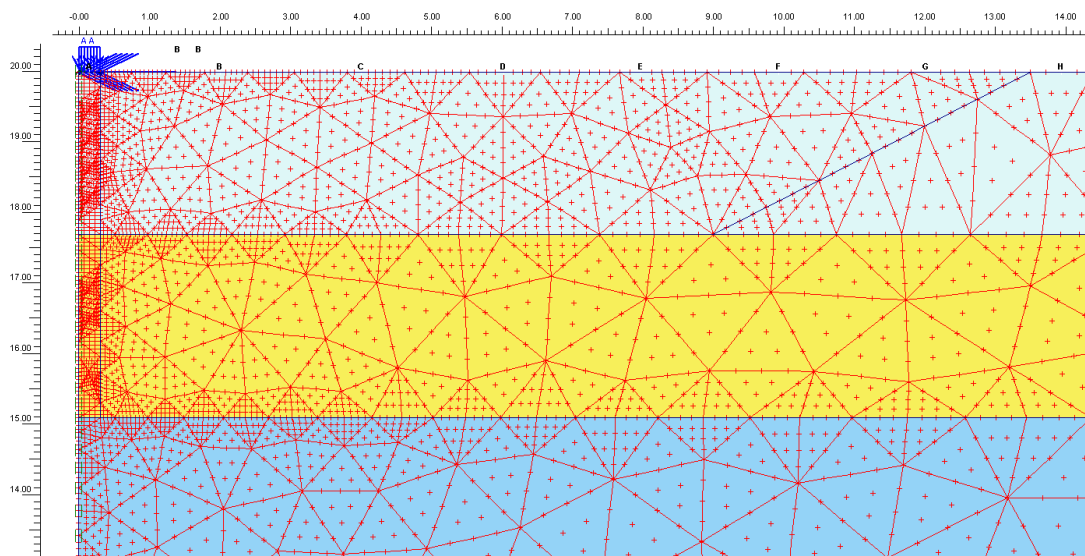
2.3 Charakteristika modelu

Rotálně symetrický numerický model, ve kterém jsou zanedbány materiálové parametry tlumení, je proveden v rozsahu 30 x 20 m (délka x hloubka). Štěrková pilota, která je umístěna při levém okraji modelu, má celkový průměr 0,6 m a délku 4,9 m. Pro celkový model a výsledky je toto však nepodstatné, modelujeme samotný počátek zavibrovávání budoucí piloty, kdy štěrková pilota jako taková fakticky v zemním tělese ještě není. Horninové prostředí bylo tvořeno třemi vrstvami s horizontálním rozhraním, schéma modelu je znázorněno na obr. 4. Fyzikální a mechanické vlastnosti zemin jsou zavedeny podle tabulky 1 [1]. Vliv podzemní vody, z důvodu zjednodušení modelu, není uvažován. V modelu je nutné kromě klasických geometrických okrajových podmínek, omezujících na hranici posuny v příslušném směru, zadat i tzv. absorpční podmínku. Touto podmínkou dosáhneme absorpci přírůstků napětí na hranicích modelu, které jsou způsobeny dynamickým zatížením a které by jinak byly odraženy zpět do modelu. Tím by docházelo ke zkreslení a nereálným výsledkům numerického modelu. V případě rotačně symetrického modelu se tento typ okrajových podmínek zadává pro pravou a spodní hranici modelu. Dále je nutné zadat hranice modelu, mimo levé osové hranice, tak daleko od zdroje zatížení, aby nemohlo dojít ke zkreslení výsledků zadanými deformačními okrajovými podmínkami. Na druhou stranu příliš velký model prodlužuje dobu výpočtu a zvyšuje nároky na paměťovou kapacitu počítače.

Přítlačná síla bude v modelu zavedena jako statická. Parametrickými výpočty a srovnáním shody mezi naměřenými a namodelovanými hodnotami byla stanovena horizontální síla odpovídajícího seizmického působení 40 kN/m^2 . Primární napjatost je generována programovým systémem automaticky na základě vlastností uvažovaných zemin a hloubky uložení díla.

Pro výpočet není uvažováno dynamické zatížení harmonickým kmitáním vibrátoru v celém časovém rozmezí jeho působení, ale pouze po dobu prvních 5 sekund. Pro zvýšení citlivosti modelu pro odečet frekvence vlnění bylo nutno snížit časový krok a to zvýšením dodatečných kroků (additional steps). Výpočet a modelová analýza probíhaly ve dvou fázích. Odečet hodnot maximálních amplitud rychlosti kmitání byl proveden v určitých intervalech od dynamického zatížení. Na základě těchto hodnot byla sestrojena útlumová křivka pro dané prostředí.

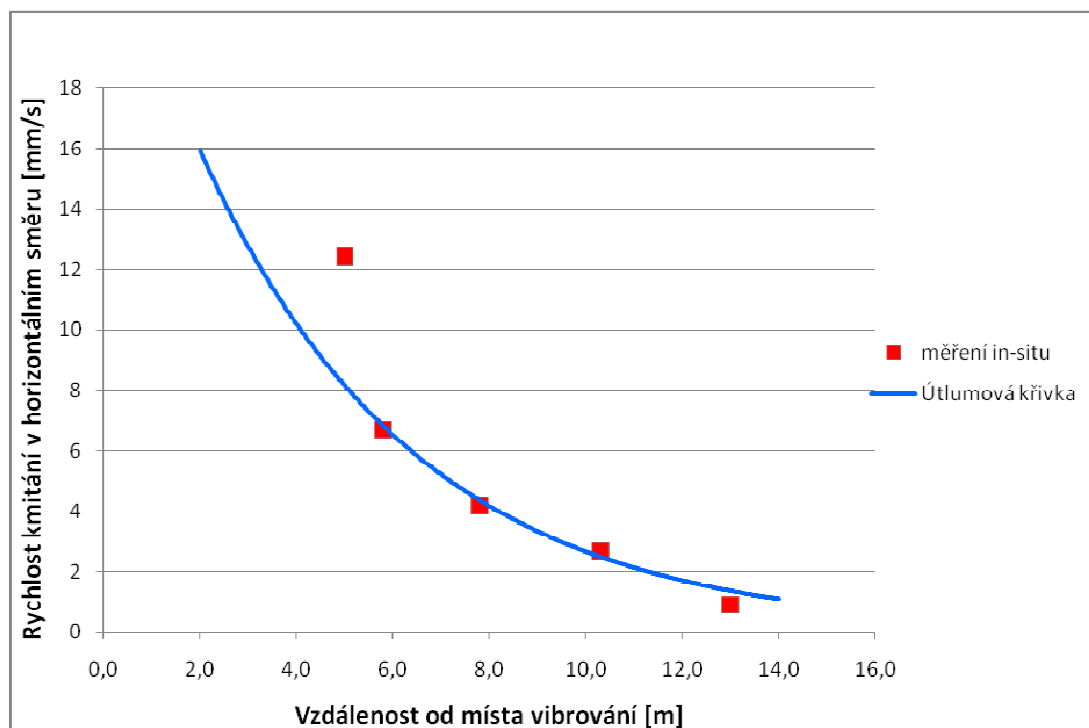
Fáze odpovídají situaci, při níž uvažujeme jen statické a dynamické zatížení původní zeminy. První fáze výpočtu je fází iniciační, ve které je definován vliv statického působení tíhy vibrátoru. V druhé fázi bylo aktivováno dynamické zatížení od vibrátoru, které působilo po dobu 5 sekund.



Obr.6: Schéma numerického modelu

3 VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

Základním cílem je stanovení velikosti dynamických účinků od vibrované piloty v geologickém prostředí s reálnými parametry. Experimentální měření vyvolaných vibrací v masívu bylo provedeno ve vzdálenostech 5 m, 5,8 m, 7,8 m, 10,3 m a 13 m od vibračního zařízení. Z vlnových záznamů měření in-situ byly odečteny hodnoty maximálních amplitud rychlosti kmitání v prvních 5 sekundách vibrování, pro každý záznam bylo spočteno frekvenční spektrum. Hodnoty naměřených maximálních rychlostí kmitání byly konfrontovány s namodelovanou útlumovou křivkou, která byla spočtena pro dané zeminové prostředí ve stejném vzdálenostním intervalu (Obr. 7).



Obr.7: Konfrontace namodelované útlumové křivky s hodnotami naměřenými in-situ

4 ZÁVĚR

Cílem příspěvku bylo představit výsledky numerického modelování dynamických účinků vyvolaných při zahájení výstavby piloty metodou vibračního vpěchování. Model vycházel z reálných hodnot geologického prostředí a použitých parametrů vibrování. Výsledky byly získány pomocí rovinného rotačně symetrického modelu realizovaného programem Plaxis V8.2 2D.

Analýza výsledků poskytla tyto hlavní závěry:

Dynamické účinky, způsobené při vibrování šterkových pilot, jsou v modelu posuzovány pomocí maximálních amplitud rychlosti kmitání v závislosti na vzdálenosti od místa vibrování. Maximální hodnoty rychlosti kmitání naměřené v terénu jsou přibližně srovnatelné s namodelovanou útlumovou křivkou zeminového prostředí. Největší nesrovnalost byla získána pro nejmenší vzdálenost, tj. 5 m. V malých vzdálenostech může mít lokální geologie velmi významný vliv na výsledek měření, také z matematického hlediska nejsou přesně definovány vibrační projevy v blízké zóně. Byla tímto ověřena použitelnost výpočetního programu Plaxis 2D pro modelování

dynamických účinků od zavibrované piloty. Pro kvalitnější zpracování dat z terénu by bylo třeba využít větší množství senzorů, především umístěných v malých vzdálenostech od vibrujícího tělesa.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS, specifického výzkumu SP/201022 a projektu GAČR 105/09/1415 „Studium seizmických projevů trhacích prací a dalších vibrací v blízké zóně vyvolaných při ražbě mělkých podzemních děl“.

LITERATURA

- [1] STOLÁRIK M. Stručná zpráva z měření technické seizmicity vyvolané vibrováním štěrkových pilot a vibračním válcem. Ústav geoniky AV ČR Ostrava, 2008, nepublikováno.
- [2] PLAXIS. Oficiální stránky společnosti PLAXIS BV[online]. Dostupné na:
- [3] <<http://www.plaxis.nl/>>
- [4] LUŇÁČKOVÁ, B. & HRUBEŠOVÁ, E. Stanovení vhodnosti SW vybavení pro modelování dynamických úloh, základní charakteristiky dynamického modelu. *Dílčí výzkumná zpráva CIDEAS za rok 2005*. FAST, VŠB-TU Ostrava.
- [5] MAREK, R.; LUŇÁČKOVÁ, B. & ALDORF, J. Vliv dynamických účinků tramvajové dopravy na ostění kolektoru. *Odborný časopis Tunel*. 2008, roč. 17, č. 2, s. 40-44. ISSN 1211-0728.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Petr Hradil, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně