

MODELOVÁNÍ VLIVU VLASTNOSTÍ ZEMINY NA AMPLITUDU RYCHLOSTI KMITÁNÍ

MODELING OF IMPACT OF SOIL PROPERTIES ON THE PEAK OSCILLATION VELOCITY

Tomáš Petřík¹, Eva Hrubešová²

Abstrakt

V tomto článku se zabýváme modelováním vlivu změn vlastností zeminy na velikost maximální amplitudy rychlosti kmitání buzeného zdrojem vibrací. Pro zachycení závislosti jsou vytvořeny zjednodušené matematické modely. K modelování je využit dynamický modul softwaru Plaxis, který je určen pro analýzu geotechnických úloh na základě numerické metody konečných prvků. Jako modelové prostředí je zvolena pouze jedna zemina, konkrétně se jedná o šterk hlinitý, s vlastnostmi podle směrných normových charakteristik. Proměnnými vlastnosti zeminy v modelech jsou deformační modul, soudržnost a úhel vnitřního tření. Modelovaným zdrojem vibrací je reverzní vibrační deska VDR22. Výpočty jsou provedeny v deseti různých povrchových vzdálenostech od místa působení dynamické síly. Výsledné hodnoty maximální amplitudy rychlosti kmitání jsou ve vzdálenostech 5, 10 a 20 m graficky vyhodnoceny. Z výsledných křivek je patrné, že s rostoucí hodnotou pevnostních parametrů horninového prostředí roste i maximální amplituda rychlosti kmitání a naopak s rostoucí hodnotou deformačního modulu horninového prostředí klesá maximální amplituda rychlosti kmitání.

Abstract

In this paper we explore the influence of parameters of soil to size of peak oscillation velocity induced by vibration source. To illustrate dependencies there are created mathematical models. The modelling is performed by application of Plaxis dynamic module. This software is designed for analysis of geotechnical problems and it is based on numerical finite element method. In the mathematical models only one type of soil is involved, particularly the silty gravel is selected, its properties correspond to the normative characteristic values ČSN 73 1001. Variable properties of soil in the models are the deformation modulus, cohesion and friction angle. In the presented model the vibration source corresponds to the impact of the reverse vibratory plate type VDR22. Calculations are performed in ten different surface distances from the point of action of dynamic loads. Peak oscillation velocities were graphically displayed for distance 5, 10 and 20 m. The resulting curves shows that with increasing strength parameters of the geological environment increases the peak oscillation velocity and conversely with increasing deformation module of the geological environment decreases the peak oscillation velocity.

Klíčová slova

matematický model, metoda konečných prvků, deformační modul zeminy, soudržnost zeminy, úhel vnitřního tření zeminy, amplituda rychlosti kmitání, dynamická odezva

Keywords

mathematical model, finite element method, deformation modulus of soil, cohesion of soil, friction angle of soil, peak oscillation velocity, dynamic response

1 Úvod

Na vlastní útlum seizmického vlnění má vliv mnoho parametrů. Velikost amplitudy ustáleného kmitání závisí na parametrech vibračního zařízení, době působení, geometrii prostředí a vlastnostech prostředí, kterým se vlnění šíří (Towhata, 2008)). Některé vlastnosti zemin tak mohou ovlivnit velikost seizmického zatížení stavebních konstrukcí v blízkosti zdroje vibrací. Snaha předcházet negativním vlivům seizmického vlnění vede k podrobnějšímu průzkumu vlastností horninového prostředí. Stanovení závislosti velikosti rychlosti kmitání pouze na jedné vlastnosti prostředí je pak velmi obtížné. Jednou z možností jak tuto závislost sledovat je využití matematických výpočtů či simulací v modelech. V dříve provedených výpočtech (Petřík a kol., 2012a; Petřík a kol., 2012b) bylo prokázáno, že se amplituda rychlosti kmitání v zemině mění v závislosti na frekvenci vibrování, kdy s rostoucí frekvencí vibrování klesá velikost maximální amplitudy rychlosti kmitání, či na typu zeminy, které byly charakterizovány ze středních hodnot směrných normových charakteristik podle dříve platné ČSN 73 1001. Cílem modelové studie je prokázání vlivu deformačního modulu a pevnostních parametrů na maximální amplitudu rychlosti kmitání horninového prostředí buzenou umělým zdrojem vibrací. Tento jev by byl v reálném prostředí obtížně sledovatelný, a proto je využito matematických modelů.

2 Charakteristika modelů

Pro tvorbu matematických modelů pomocí metody konečných prvků byl zvolen výpočetní program Plaxis, jehož charakteristika je uvedena v článku (Petřík a Hrubešová, 2012). Jsou vytvořeny jednoduché rotačně symetrické 2D modely, které jsou v rozsahu 100 m délky a 50 m hloubky. Dynamické zatížení v modelech odpovídá parametrům hutního stroje. V modelech je použit vždy jen jeden typ zeminy podle směrných normových charakteristik ČSN 73 1001. Okrajové podmínky jsou v modelech použity jak klasické tak i absorpční.

2.1 Vstupní parametry dynamického zatížení

Tab. 1 Parametry vibrační desky

Reverzní vibrační deska VDR 22	
Hmotnost	120 kg
Rozměry vibrační desky	400 x 630 mm
Frekvence	82 Hz
Odstředivá síla	22 kN

Dynamické zatížení je v modelu definováno jako spojitě zatížení vyvolané vibrační deskou VDR 22, kterou disponuje Katedra geotechniky a podzemního stavitelství. Parametry vibrační desky vstupující do matematických modelů, které jsou uvedeny v Tab. 1, vycházejí z prospektů výrobce (NTC, 2012) a experimentálního měření in-situ (Pinká a kol., 2012) na zkušebním standu v areálu Fakulty stavební, VŠB – Technické univerzity v Ostravě, kde bylo dosaženo frekvence 82 Hz.

2.2 Vstupní parametry prostředí

Vlastnosti zemín, které vstupují do matematických modelů, jsou rozděleny do třech skupin. V každé skupině je vždy jedna proměnná vlastnost. Jako proměnné vlastnosti zeminy jsou vybrány deformační modul, soudržnost a úhel vnitřního tření. Jako modelová zemina je zvolen štěrk hlinitý G4 (GM), který má objemovou tíhu zeminy $\gamma = 19 \text{ [kN.m}^{-3}\text{]}$ Poissonovo číslo $\nu = 0,3 \text{ [-]}$ a rozsahy deformačního modulu od 60 do 80 [MPa] (modely G4-E1 až G4-E11), soudržnosti od 0 do 8 [kPa] (modely G4-c1 až G4-c11) a úhlu vnitřního tření od 30 do 35 [°] (modely G4-Fi1 až G4-Fi11). Vstupní parametry zeminy pro jednotlivé modely jsou uvedeny v Tab. 2. Vliv hladiny podzemní vody není uvažován. Materiálové tlumení, které je ve výpočetním programu Plaxis zadávané pomocí Rayleighových součinitelů tlumení (α_R a β_R), není v těchto modelech uvažováno.

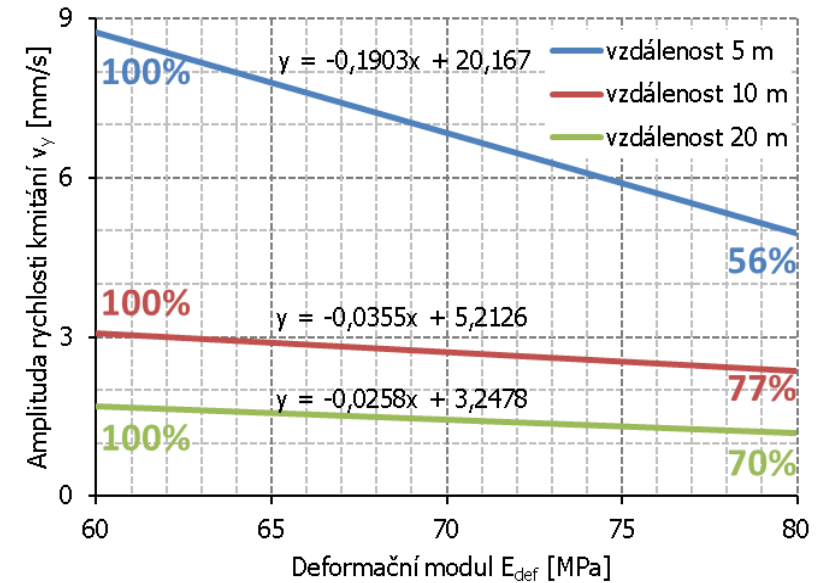
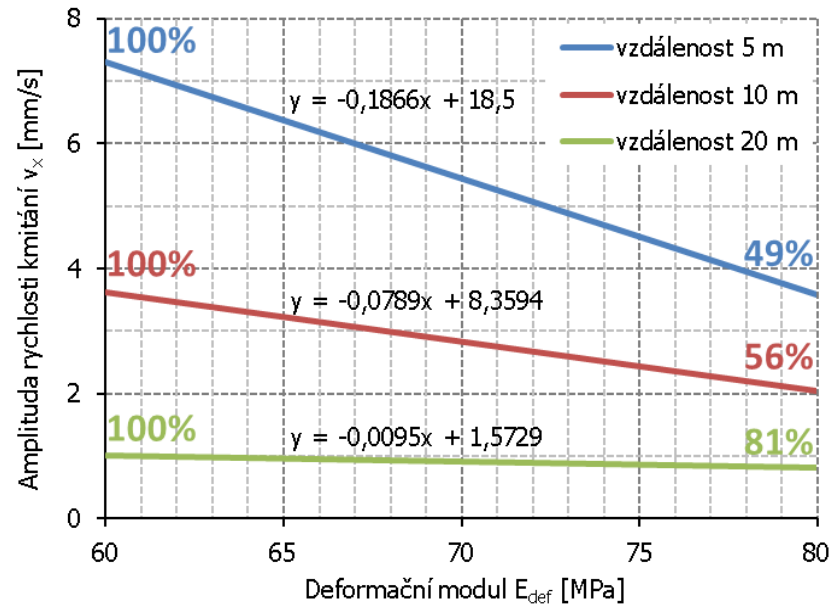
Tab. 2 Vstupní parametry zeminy G4 pro jednotlivé modely

Název modelu	E_{def} [MPa]	c [kPa]	ϕ [°]	Název modelu	E_{def} [MPa]	c [kPa]	ϕ [°]	Název modelu	E_{def} [MPa]	c [kPa]	ϕ [°]
G4-E1	60	4,0	32,5	G4-c1	70	0,0	32,5	G4-Fi1	70	4,0	30,0
G4-E2	62			G4-c2		0,8		G4-Fi2			30,5
G4-E3	64			G4-c3		1,6		G4-Fi3			31,0
G4-E4	66			G4-c4		2,4		G4-Fi4			31,5
G4-E5	68			G4-c5		3,2		G4-Fi5			32,0
G4-E6	70			G4-c6		4,0		G4-Fi6			32,5
G4-E7	72			G4-c7		4,8		G4-Fi7			33,0
G4-E8	74			G4-c8		5,6		G4-Fi8			33,5
G4-E9	76			G4-c9		6,4		G4-Fi9			34,0
G4-E10	78			G4-c10		7,2		G4-Fi10			34,5
G4-E11	80			G4-c11		8,0		G4-Fi11			35,0

3 Výsledky

Z výsledných modelových vlnových záznamů jsou při ustáleném stavu kmitání odečteny maximální amplitudy rychlosti kmitání a sestaveny křivky závislosti na proměnných vlastnostech. Na Obr. 1 a Obr. 2 jsou křivky závislosti na deformačním modulu pro štěrk hlinitý G4 ve vzdálenostech 5, 10 a 20 m od středu vibrační desky jak v horizontálním směru (v ose x výpočetního programu Plaxis), tak ve vertikálním směru (ose y výpočetního programu Plaxis). Jak je na grafech vidět, míra ovlivnění amplitudy rychlosti kmitání deformačním modulem se s rostoucí vzdáleností snižuje. Výraznějších projevů je v modelech dosaženo v prvních 10 metrech. Jak již bylo konstatováno

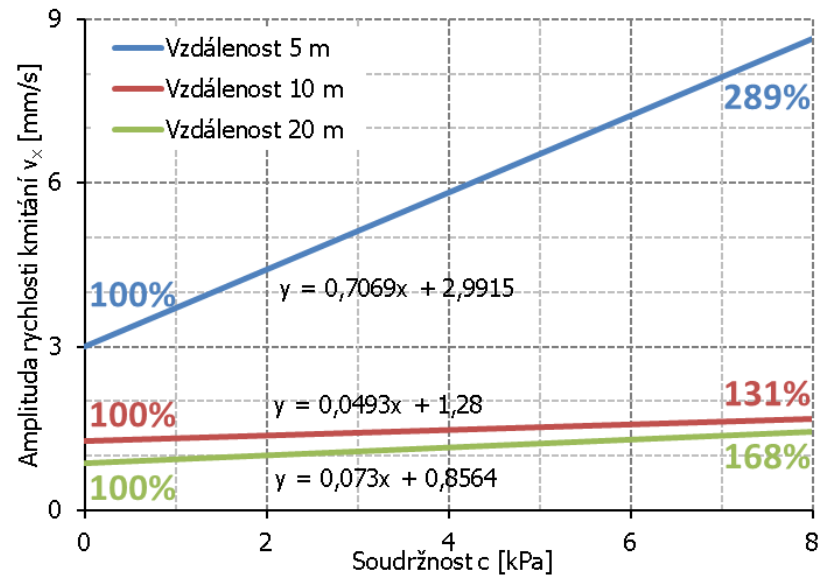
v článku (Petřík a Hrubešová, 2012) v případě, že Poissonovo číslo a objemovou hmotnost zeminy považujeme za konstantní, lze říct, že s rostoucím deformačním modulem zeminy rychlosti šíření seizmických vln rostou a maximální amplituda rychlosti kmitání naopak klesá. Gradient poklesu maximální amplitudy rychlosti kmitání vzhledem k modulu pružnosti je pro vzdálenost 5 m roven cca 19 %. V grafech na Obr. 1 a Obr. 2 je uvedeno i procentuální vyjádření podílu hodnoty amplitudy rychlosti kmitání pro maximální analyzovanou hodnotu modulu pružnosti (80 MPa) a odpovídající hodnotu pro minimální analyzovanou hodnotu modulu pružnosti (60 MPa).



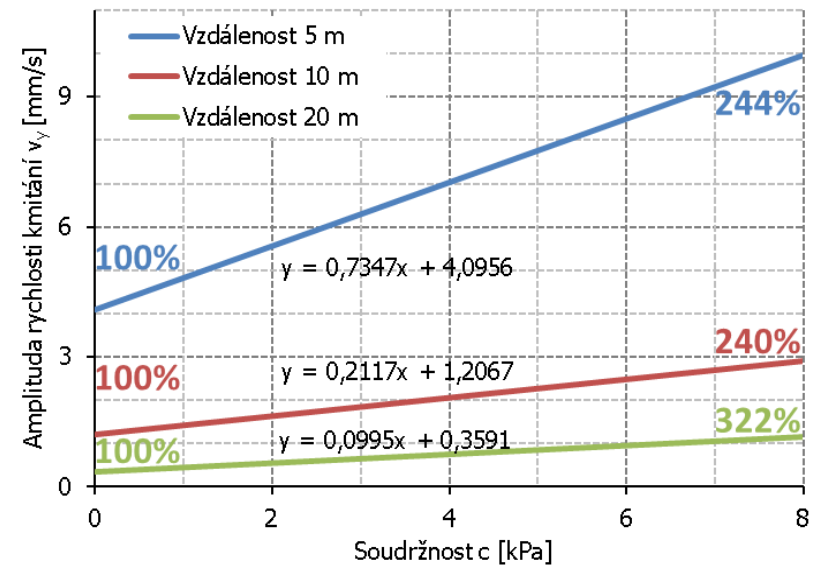
Obr. 1 Závislost amplitudy rychlosti kmitání v ose x na E_{def} **Obr. 2 Závislost amplitudy rychlosti kmitání v ose y na E_{def}**

Na Obr. 3 a Obr. 4 je patrné, že i soudržnost má určitý vliv na amplitudu rychlosti kmitání, a to především v blízkosti působícího dynamického zatížení (v prvních jednotkách metrů). Na rozdíl od deformačního modulu má vliv soudržnosti opačný charakter. Se stoupající soudržností roste i amplituda rychlosti kmitání. Gradient nárůstu maximální rychlosti kmitání vzhledem k soudržnosti je pro vzdálenost 5 m roven 71% (pro horizontální směr) resp. a 73% (pro vertikální směr). V grafech je opět doplněno procentuální vyjádření amplitudy rychlosti kmitání s referenční hodnotou v minimu soudržnosti.

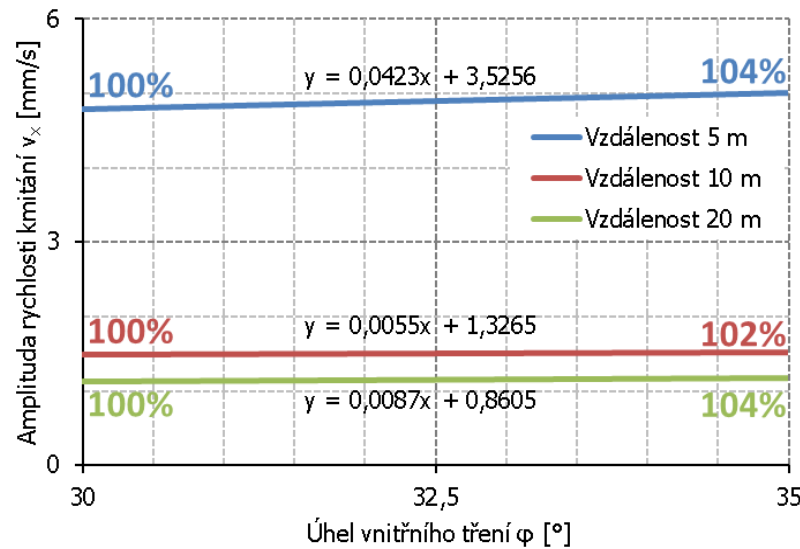
Vliv úhlu vnitřního tření zeminy má už jen nepatrný vliv na amplitudu rychlosti kmitání (viz Obr. 5 a Obr. 6). To je patrné i z procentuálního vyjádření amplitudy rychlosti kmitání s referenční hodnotou v minimu úhlu vnitřního tření. Stejně jako v případě soudržnosti i tady s rostoucí hodnotou úhlu vnitřního tření nepatrně roste amplituda rychlosti kmitání. Odpovídající gradient nárůstu maximální amplitudy rychlosti kmitání ve vertikálním směru pro vzdálenost 5 m vzhledem k úhlu vnitřního tření je 12 %.



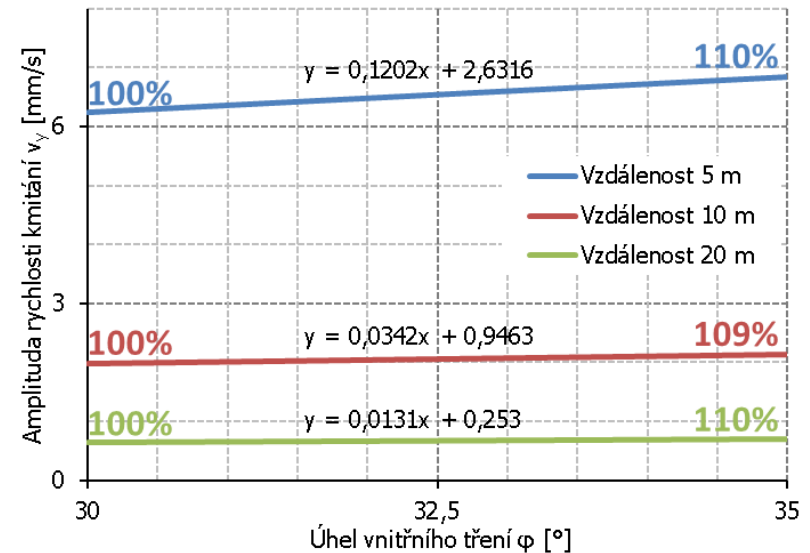
Obr. 3 Závislost amplitudy rychlosti kmitání v ose x na c



Obr. 4 Závislost amplitudy rychlosti kmitání v ose y na c



Obr. 5 Závislost amplitudy rychlosti kmitání v ose x na φ



Obr. 6 Závislost amplitudy rychlosti kmitání v ose y na φ

4 Závěr

Z výsledků matematického modelování je patrné, že všechny vlastnosti, které se v modelech mění, mají vliv na velikost amplitudy rychlosti kmitání. V modelech s proměnným deformačním modulem byly prokázány výsledky publikované v článku (Petřík a Hruběšová, 2012), ve kterém se konstatovalo, že s rostoucí hodnotou deformačního modulu klesá hodnota amplitudy rychlosti kmitání. Tento jev se výrazně projevuje v prvních desítkách metrů. Vliv pevnostních parametrů prostředí, konkrétně soudržnosti a úhlu vnitřního tření, má na rozdíl od deformačního modulu opačný charakter. S rostoucí hodnotou pevnostních parametrů horninového prostředí roste i amplituda rychlosti kmitání. V případě rostoucí soudržnosti dané zeminy je ovlivnění amplitudy rychlosti kmitání výrazné na rozdíl od ovlivnění rostoucím úhlem vnitřního tření. V tomto případě lze pro danou zeminu G4 (GM) konstatovat, že vliv rostoucího úhlu vnitřního tření na amplitudu rychlosti kmitání je ve vzdálenosti 10 m již nepatrný až zanedbatelný.

Pro ověření především kvantitativních výsledků matematického modelování by bylo vhodné realizovat experimentální monitorovací měření in-situ, která ovšem vzhledem k charakteru provedených parametrických výpočtů nebude snadné v celém rozsahu parametrické studie provést.

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován s podporou specifického vysokoškolského výzkumu-Studentské grantové soutěže VŠB – TU Ostrava pod identifikačním kódem: SP 2013/139.

Reference

- NTC – Profesionální stavební technika. *NTC – Profesionální stavební technika* [online]. 2012 [cit. 2012-09-13]. Dostupné na: <http://www.ntc.cz>.
- PETŘÍK, T., HRUBEŠOVÁ, E. Vliv změny deformačního modulu zeminy na šíření seizmického vlnění. *EGRSE. International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*. 2012, Vol. 19, No. 2, pp. 75–83. ISSN 1803–1447 [online].
- PETŘÍK, T., HRUBEŠOVÁ, E. a LEDNICKÁ, M. A comparison of numerical models results with in-situ measurement of ground vibrations caused by sheet pile driving. *Acta Geodynamica Et Geomaterialia*, 9(2), 2012a, 165–171. Dostupné na: www.scopus.com.
- PETŘÍK, T., HRUBEŠOVÁ, E., STOLÁRIK, M.; PINKA, M. Parametric Study on the Effects of Soil to Oscillation Velocity. *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava: Construction Series*. No. 2, 2012b, Vol. XII, pp. 1-10. Publisher Versita, Warsaw, ISSN 1804-4824 [online].
- PINKA, M., STOLÁRIK, M., FOJTÍK, R. a PETŘÍK, T. Experimental Seismic Measurement on the Testing Construction and The Analyze. *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava: Construction Series*, No. 1, 2012, Vol. XII, pp. 1-10. Publisher Versita, Warsaw, ISSN 1804-4824 [online].
- TOWHATA, I. (2008). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer Verlag- Berlin Heidelberg, 2008. 684pp. ISBN 978-3-540-35782-7.

Autoři

¹ Ing. Tomáš Petřík, FAST, VŠB-TUO, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava – Poruba, tel.: 597 321 362.

² doc. RNDr. Hruběšová Eva, Ph.D., FAST, VŠB-TUO, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava – Poruba, tel.: 597 321 373.