

VLIV ZMĚNY DEFORMAČNÍHO MODULU ZEMINY NA ŠÍŘENÍ SEIZMICKÉHO VLNĚNÍ

EFFECT OF SOIL DEFORMATION MODULUS TO DISTRIBUTION OF SEISMIC WAVES

Tomáš Petřík¹, Eva Hruběšová²

Abstrakt

V tomto článku se zabýváme vlivem deformačního modulu zeminy na seizmické vlnění. Pro znázornění závislosti jsou vytvořeny zjednodušené matematické modely ve výpočetním programu Plaxis, který je určen pro analýzu geotechnických úloh na základě numerické metody konečných prvků. Do matematických modelů je zvolena pouze jedna zemina s vlastnostmi ze směrných normových charakteristik. Proměnou vlastností modelů je deformační modul zeminy. Dynamické zatížení je v matematických modelech simulováno jako zatížení od vibračního válce, pro který jsou zadávány charakteristiky podle prospektů výrobce. Výpočty jsou provedeny v deseti různých povrchových vzdálenostech od místa působení dynamické síly. Výstupem z matematických modelů jsou vlnové záznamy, na základě kterých jsou vytvořeny jednotlivé charakteristické křivky. Výsledné křivky jsou následně srovnány a okomentovány.

Abstract

In this paper we explore the influence of soil deformation modulus to seismic waves. To illustrate dependencies there are created mathematical models based on software Plaxis. This software is designed for analysis of geotechnical problems and it is based on numerical finite element method. Only one soil is selected for the modelling, the soil is determined by normative characteristics. Variable properties in the models are the deformation modulus of soil. Dynamic loading in the models is simulated by the load from the vibratory roller. The characteristics of the vibratory rollers are awarded according to the manufacturer's brochure. Calculations are performed in ten different surface distances from the point of action of dynamic loads. The outputs of the models are the wave records. Based on wave records there are created each characteristic curve. The resulting curves are then compared.

Klíčová slova

Plaxis, deformační modul, amplituda rychlosti kmitání, seizmická vlna

Keywords

Plaxis, deformation modulus, the amplitude of the oscillation velocity

1 Úvod

V současné době je snaha stavitelů předcházet vzniku poruch na konstrukcích. Tyto poruchy jsou především způsobeny nesprávnou technologií výstavby a založení. V nemalé míře můžou být způsobeny i seizmickými vlivy, a to nejen působením samotné přírody, kterou se zabývá např. (Towhata, 2008), ale především činností samotného člověka (např. Sarsby, 2000).

Na parametry seizmických vln má vliv spousta vlastností prostředí, kterým se tyto seizmické vlny šíří. Při měření seizmických vln v terénu (např. Stolárik a Kaláb, 2011) jsou stanoveny rychlosti kmitání pro celé prostředí s rozdílnými vlastnostmi. Pro stanovení závislosti účinků seizmického vlnění pouze na jedné vlastnosti prostředí můžeme využít matematického modelování. V článku se zabýváme vlivem změny deformačního modulu na amplitudu rychlosti kmitání. Pro samotnou tvorbu matematických modelů je využito výpočetního programu Plaxis. Do modelů je vždy zvolen pouze jeden typ zeminy s vlastnostmi vybranými ze směrných normových charakteristik. Pro článek jsou zhotoveny dva typy modelů a to pro dvě rozdílné zeminy. Výsledky modelů by měly dokázat předpoklady o vlivu deformačního modulu zeminy na účinky seizmického vlnění.

2 Charakteristika modelů

Pro matematické modelování byla tedy zvolena dvoudimenzionální varianta výpočetního programu Plaxis, která byla v rámci projektu „Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB-TUO“ (CZ.1.07/2.3.00/20.0013) up-gradovaná na novější verzi (Plaxis 2D, 2010). Matematické modely jsou z důvodu časové a datové úspory zjednodušeny např. tím, že jsou provedeny v homogenním prostředí (pouze jedna vrstva zeminy), nebo zanedbáním vlivu podzemní vody. Modely jsou vytvořeny jako rotačně symetrické v rozsahu 100 x 50 m (délka x hloubka). Celkem bylo zhotoveno 19 modelů pro dva typy zemin.

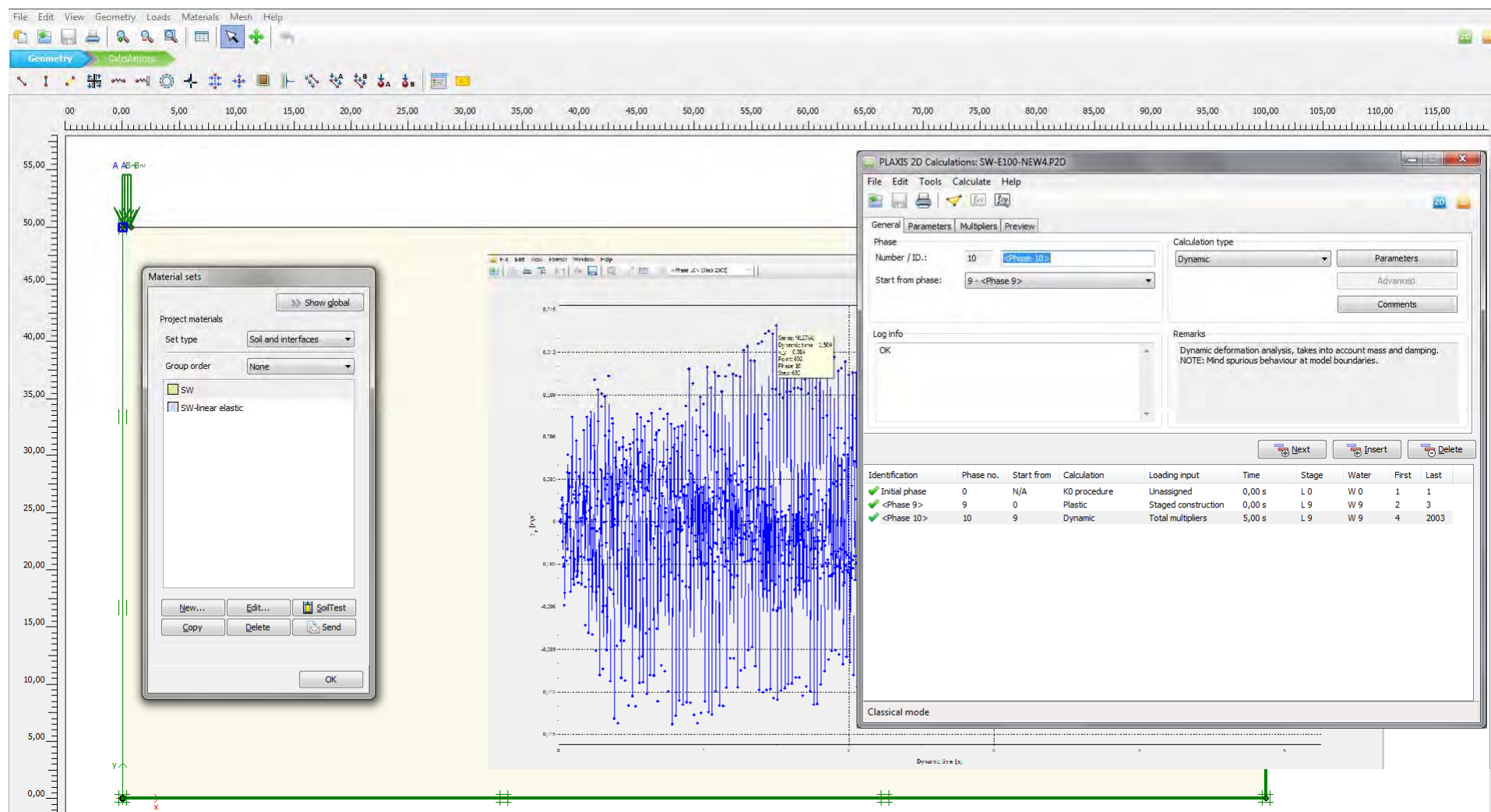
2.1 Zvolený výpočetní program

Plaxis je výpočetní program určený pro dvojdimenzionální a trojdimenzionální deformační a stabilitní analýzu geotechnických úloh. Tento program je založen na numerické metodě konečných prvků a je produktem holandské společnosti PLAXIS BV. Pro analýzu dynamických úloh pomocí MKP disponuje tento výpočetní program výpočtovým dynamickým modulem. Samotný výpočetní program se vyznačuje jednoduchým vizuálním prostředím (viz. Obr. 1), které se skládá ze tří hlavních komponent, a to ze zadávacího modulu (tzv. Input), výpočetního modulu (Calculation) a výstupního modulu (Output).

Dynamická analýza ve výpočetním programu Plaxis vychází z Newtonova pohybového zákona (1); (Brinkgreve, 2002).

$$F = m \times a_g, \quad (1)$$

kde: F – je síla [kN];
m – hmotnost tělesa [kg];
a_g – zrychlení [m.s⁻²].



Obr. 1 Ukázka výpočetního programu Plaxis

Základní rovnice pro výpočet časově závislých deformačních změn pod vlivem dynamického zatížení je pak definována pomocí maticového zápisu pro celou uvažovanou oblast podle vztahu (2).

$$a \times M + v \times C + u \times K = F, \quad (2)$$

kde: M – hmotnostní matice;
u, v, a – posun, rychlost a zrychlení v závislosti na čase;

- C – matice tlumení;
K – matice tuhosti;
F – vektor zatížení.

Posuny u , rychlosti v a zrychlení a 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:

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

kde : α_R, β_R – Rayleighovy součinitele tlumení.

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. Ve standardním nastavení Plaxisu je $\alpha_R = \beta_R = 0$ (nastaveno i pro tento případ modelování). Jinak pro stanovení α_R a β_R je zapotřebí znát dvě existující hodnoty poměrného tlumení ξ_i , které odpovídají dvěma frekvencím vibrování ω_i . Ke stanovení Rayleighových součinitelů tlumení tedy využijeme vztahu mezi α_R, β_R, ξ_i a ω_i , který můžeme zapsat vztahem:

$$\alpha_R + \beta_R \times \omega_i^2 = 2 \times \omega_i \times \xi_i, \quad (4)$$

kde: ξ_i – poměrné tlumení;
 ω_i – frekvence vibrování.

Tab. 1 Fyzikální a mechanické vlastnosti písku dobře zrněného

Číslo modelu	Zemina	Objemová tíha [kN.m ⁻³]	Poissonovo číslo [-]	Úhel vnitřního tření [°]	Soudržnost [kPa]	Deformační modul [MPa]
1	SW	20	0,28	38	1	30
2						40
3						50
4						60
5						70
6						80
7						90
8						100

Tab. 2 Fyzikální a mechanické vlastnosti štěrku dobře zrněného

Číslo modelu	Zemina	Objemová tíha [kN.m ⁻³]	Poissonovo číslo [-]	Úhel vnitřního tření [°]	Soudržnost [kPa]	Deformační modul [MPa]
1	GW	21	0,20	40	1	250
2						275
3						300
4						325
5						350
6						375
7						400
8						425
9						450
10						475
11						500

2.2 Vstupní parametry modelů – zemina

Fyzikální a mechanické vlastnosti zeminy vycházejí ze směrných normových charakteristik. Pro případ modelování jsou zvoleny zeminy písek dobře zrněný SW (viz Tab. 1) a štěrk dobře zrněný GW (viz Tab. 2). Proměnou charakteristikou zemin v modelech je deformační modul pohybující se v rozsahu 30 – 100 [MPa] pro SW a 250 – 500 [MPa] pro GW. Výpočetní program Plaxis nedokáže počítat s nulovou soudržností, proto je jako minimální hodnota soudržnosti pro modely zvolena 1 [kPa]. Podélná a příčná rychlost šíření seismických vln jsou pro jednotlivé zeminy ve výpočetním programu stanovena automaticky ze zadaných parametrů (přetvárných parametrů a objemové hmotnosti) podle vztahů (5) a (6). Materiálové parametry tlumení, jež se do výpočetního programu zadávají pomocí Rayleighových součinitelů tlumení, nejsou v modelech uvažovány. Hladina podzemní vody se v modelu nenachází.

$$V_P = \sqrt{\frac{E_{oed}}{\rho}}, \quad E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta} = \frac{E_{def} \times (1 - \nu)}{(1 + \nu) \times (1 - 2 \cdot \nu)}, \quad (5)$$

kde: E_{oed} – Edometrický modul [MPa];

E_{def} – Deformační modul [MPa];

ρ – Objemová hmotnost prostředí [kg.m⁻³];

ν – Poissonovo číslo [-].

$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad G = \frac{E_{def}}{2 \times (1 + \nu)}, \quad (6)$$

kde: G – Smykový modul [MPa];
 E_{def} – Deformační modul [MPa];
P – Objemová hmotnost prostředí [kg.m⁻³];
 ν – Poissonovo číslo [-].

2.3 Vstupní parametry modelů – dynamické zatížení

Dynamické zatížení je v modelu zadáno jako spojité zatížení vyvolané vibračním válcem. Na základě předchozích zkušeností (např. Petřík, 2011) byl zvolen vibrační válec firmy BOMAG. Toto zatížení je složeno z vlastní tíhy celého vibračního válce (statická síla) a odstředivé síly běhounu (dynamická síla). Parametry válce, které jsou potřebné pro zadání do modelu, jsou zvoleny podle charakteristik udávaných výrobcem (BOMAG worldwide, 2012) a uvedeny v Tab 3.

Tab. 3 Parametry vibračního válce

BOMAG BW 177 DH4		
Statická lineární síla	24,9	kN.m ⁻¹
Šíře běhounu	1686	mm
Frekvence	30 / 40	Hz
Odstředivá síla	135 / 120	kN

2.4 Vstupní parametry modelů – okrajové podmínky

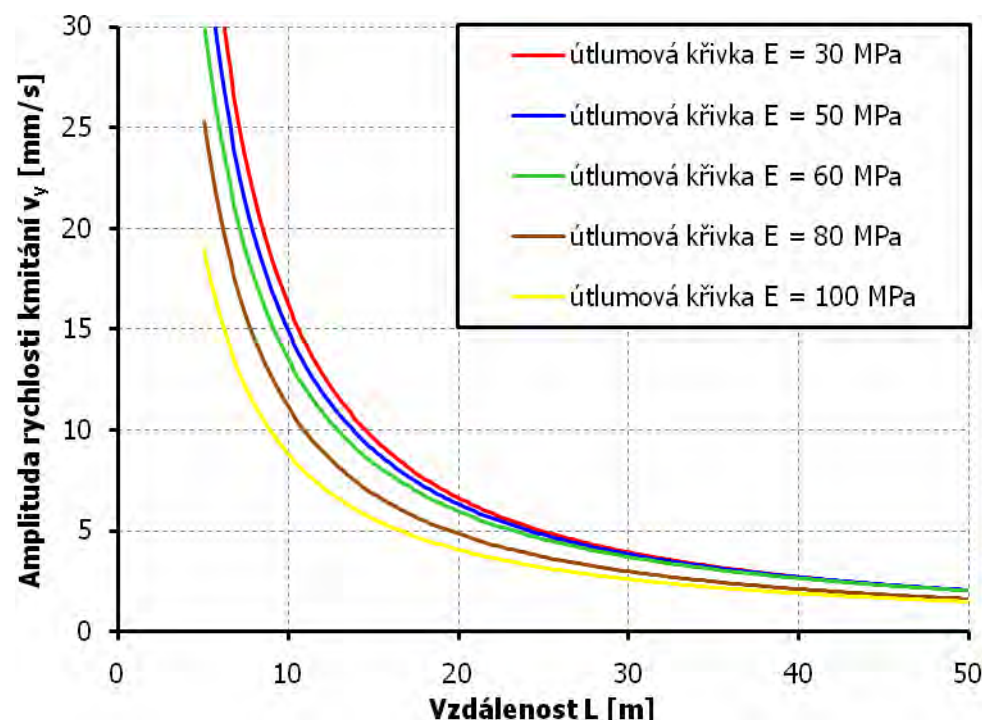
V modelech jsou zadány mimo klasických geometrických okrajových podmínek, které omezují na hranici posuny v příslušném směru, také tzv. absorpční podmínky na spodní a pravé vertikální hranici. Těmito absorpčními podmínkami dosáhneme absorpci přírůstků napětí na hranicích modelu, které jsou způsobeny dynamickým zatížením a které by se jinak odrážely zpět do modelu. Primární napjatost je generována programovým systémem automaticky na základě vlastností uvažovaných zemin a hloubky. Dále je nutné správně zvolit velikost jednotlivých kroků. To ovlivní nejen dobu výpočtu, ale i objem a přesnost samotných dat. Pro modely 1SW – 9SW je zvoleno 2000 kroků a pro modely 1GW – 11GW je zvolený počet kroku roven 10000. U výpočtu je též nutno stanovit dobu, po kterou bude dynamické zatížení působit. Tato doba má též vliv na dobu výpočtu a objem dat. Pokud budeme provádět měření ve větších vzdálenostech (desítkách metrů) je nutné přiměřeně prodloužit dobu, po kterou působí zatížení. Pro dané modely působí dynamické zatížení po dobu 5 sekund. Dále bylo na modelu určeno 10 povrchových bodů (omezeno výpočetním programem), ve kterých probíhal výpočet. Pro modely

1 SW – 9SW jsou body zvoleny od místa vibrování ve vzdálenosti 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75 a 99 [m] a pro modely 1GW – 11GW jsou zvoleny v 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 a 50 [m].

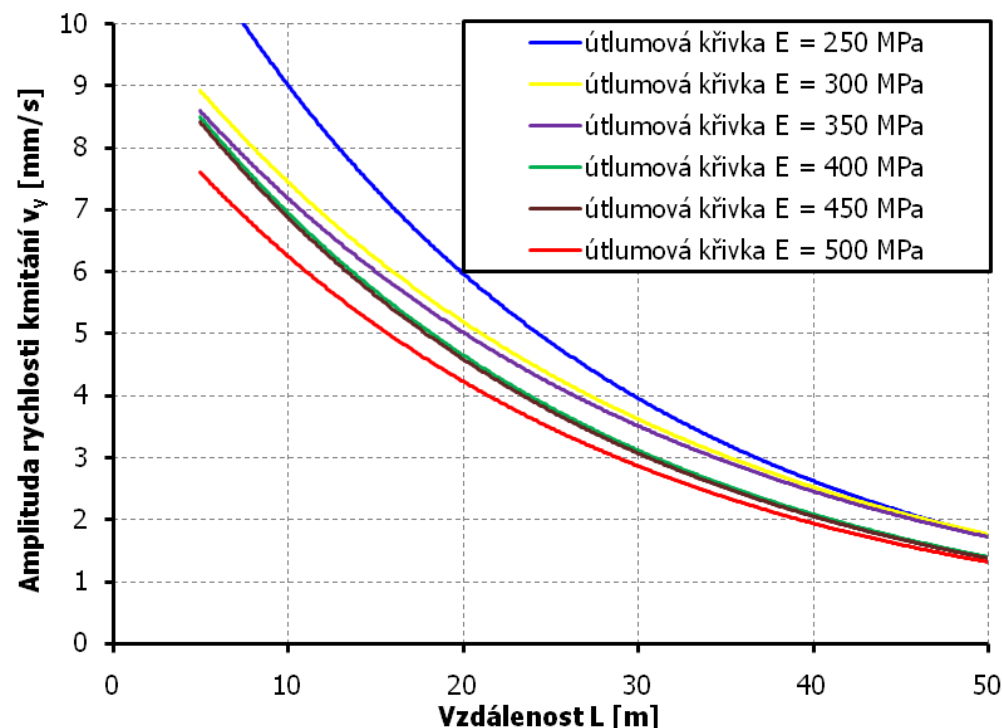
3 Výsledky

Výstupem z matematických modelů vytvořených ve výpočetním programu Plaxis jsou vlnové záznamy. Pomocí těchto vlnových záznamů jsou následně sestaveny křivky závislosti amplitudy rychlosti kmitání na vzdálenosti, též nazývané jako útlumové křivky. Pro tento článek je vyhodnocena vertikální složka kmitání (v_y). Z grafu na Obr. 2 a Obr. 3 je patrné, že s rostoucí vzdáleností rychlost kmitání klesá, což již bylo prokázáno např. (Petřík a Stolárik, 2011).

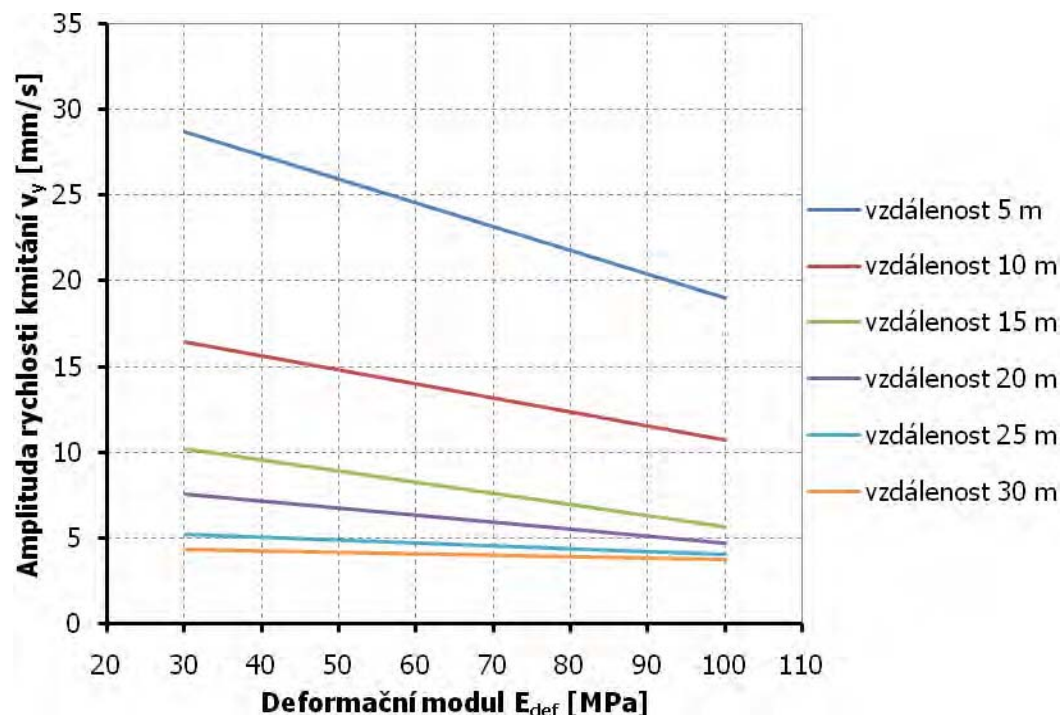
Jak je již patrné ze vztahů (5) a (6) jsou rychlosti šíření funkcí deformačního modulu, Poissonova čísla a objemové hmotnosti zeminy. V případě, že Poissonovo číslo a objemová hmotnost zeminy je konstantní, jak je zadáno v modelech, lze říct, že s rostoucím deformačním modulem se rychlosti šíření seizmických vln zvyšují a naopak. Amplituda rychlosti kmitání s rostoucím deformačním modulem klesá, jak je patrné i z grafů na Obr. 4 a Obr. 5. Na těchto grafech je i patrné, že s rostoucí vzdáleností od místa působení dynamického zatížení se míra ovlivnění amplitudy rychlosti kmitání deformačním modulem snižuje.



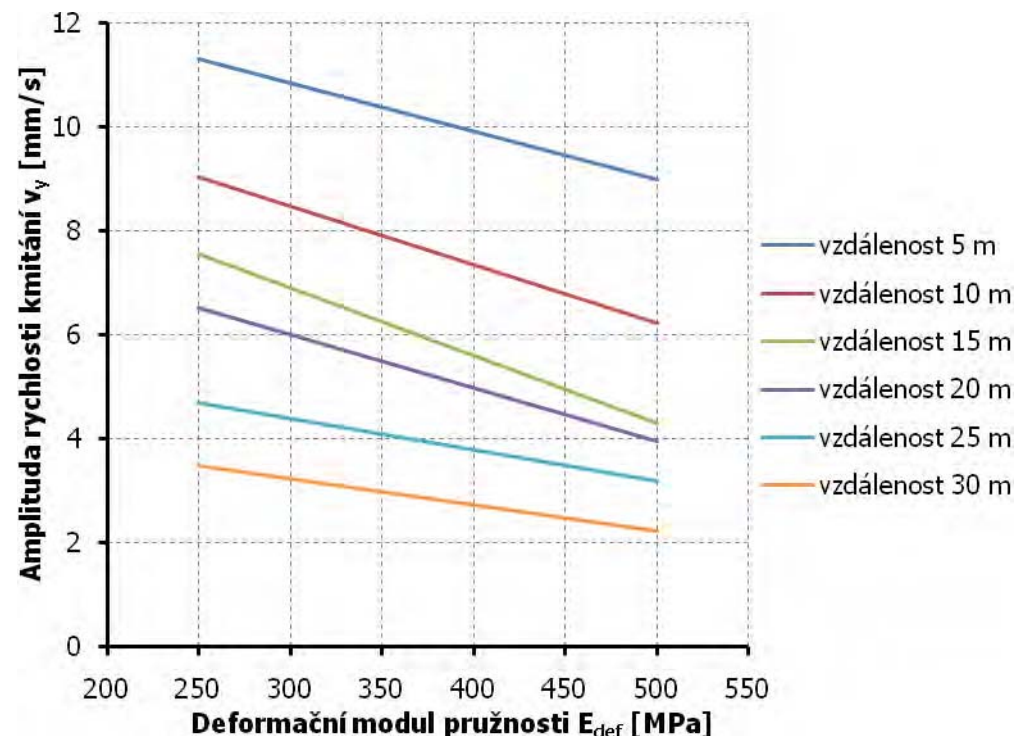
Obr. 2 Ukázka útlumových křivek pro SW



Obr. 3 Ukázka útlumových křivek pro GW



Obr. 4 Závislost E_{def} na v_y pro SW



Obr. 5 Závislost E_{def} na v_y pro GW

4 Závěr

Dynamický modul výpočetního programu Plaxis se ukázal jako vhodný prostředek pro realizaci parametrických studií závislosti účinků seizmického vlnění na deformačním modulu zeminy. Matematické modely tak prokázaly předpoklad, že amplituda rychlosti kmitání se s rostoucím deformačním modulem snižuje na rozdíl od rychlosti šíření seizmických vln. Zároveň bylo zjištěno, že s rostoucí vzdáleností se vliv deformačního modulu na amplitudu rychlosti kmitání snižuje.

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. Vliv jednotlivých vlastností zemin na seizmické vlnění bude i nadále zkoumán především pro účely disertační práce Ing. T. Petříka.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován v rámci řešení projektu SP2012/59 – Experimentální měření a modelová analýza odezvy vlivu technické seismicity v horninovém prostředí.

Reference

- BOMAG worldwide. Oficiální stránky společnosti BOMAG [online]. Dostupné na <<http://www.bomag.com/worldwide/>>
- BRINKGREVE, R. B. J. *PLAXIS 2D – version 8 (manual)*, Delft University of Technology & PLAXIS b. v., A.A. Balkema Publisher, 2002.
- PETŘÍK, T. Analýza vlivu technické seizmicity od vibračního válce. *Juniorstav 2011 – 13. Odborná konference doktorského studia [CD-ROM]*. VUT Brno, 2011, roč. 13, s. 205. ISBN 978–80-214–4232-0.
- PETŘÍK, T., STOLÁRIK, M. Experimentální měření a numerický model dynamických účinků vibračního válce. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební*. 2011, roč. XI, č. 1, s. 97–102. ISSN 1213–1962.
- SARSBY, R. *Environmental Geotechnics*. Thomas Telford Limited, 2000, London.
- STOLÁRIK, M., KALÁB, Z. Seizmická experimentální měření v blízké zóně na tunelech IV. železničního koridoru, *Proceedings of the 5th International Conference on the Dynamics of Civil Engineering and Transport Structures and Wind Engineering*, 67–70, 2011, Žilina. ISBN 978–80-554–0354-0.
- TOWHATA, I. *Geotechnical earthquake engineering*. Springer Verlag-Berlin Heidelberg, 2008, Berlin, 684 pp

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