

Eva HRUBEŠOVÁ¹, Zdeněk KALÁB²

VLIV LOKÁLNÍ GEOLOGIE NA SEISMICKOU ODEZVU POVRCHU HORNINOVÉHO
PROSTŘEDÍ

IMPACT OF THE LOCAL GEOLOGY ON THE SEISMIC RESPONSE OF THE ROCK MASS
SURFACE

Abstrakt

Příspěvek se týká problematiky vlivu místních geologických podmínek na odezvu povrchu na důlně indukovaný dynamický jev. Inženýrská praxe a realizovaná experimentální měření potvrzují, že místní geologické podmínky modifikují určitým způsobem seismickou odezvu povrchu horninového prostředí a stavebních konstrukcí. V příspěvku jsou uvedeny některé výsledky numerické analýzy realizované s využitím dynamického modulu programového systému Plaxis 2D, dokumentující zesilující účinky měkkých sedimentárních vrstev v podloží konstrukce na deformační odezvu povrchu horninového prostředí.

Abstract

This paper deals with influence of local geological conditions on response of surface after mining induced seismic event occurring. Engineering experience and performed measurements document that local geology modifies seismic response of rock massif and structures by some means. Some results of numerical analysis using dynamic module in programming system Plaxis 2D are presented in this paper. These results document intensification of soft sedimentary layers in basement of structure on deformation response of surface of rock medium.

1 ÚVOD

Stavební objekty a konstrukce jsou po dobu výstavby a následně po dobu jejich dalšího využívání vystaveny různým druhům zatížení. V oblastech možného působení přirozené nebo důlně – indukované seismicity a v souvislosti s působením účinků technické seismicity je nutno mezi určující typy zatížení zahrnout zatížení dynamická. Kvantitativní i kvalitativní odezva stavební konstrukce na uvažované seismické zatížení závisí na mnoha faktorech. Mezi tyto faktory patří jak parametry samotného dynamického zatížení (maximální amplituda, převládající frekvence, doba působení dynamického zatížení), materiálové a konstrukční parametry samotné stavební konstrukce a rovněž geologické a hydrogeologické podmínky v dané zájmové lokalitě a vlastnosti zemin v podložním geologickém profilu (např. Kaláb, 2004). Bez znalosti těchto místních geologických a hydrogeologických podmínek (tzv. site effect), které mohou mnohdy výrazným způsobem modifikovat účinky působení dynamických zatížení, nelze objektivně posuzovat možné negativní dopady působení dynamických zatížení ([2], [4]).

¹ Doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321373, e-mail: eva.hrubesova@vsb.cz.

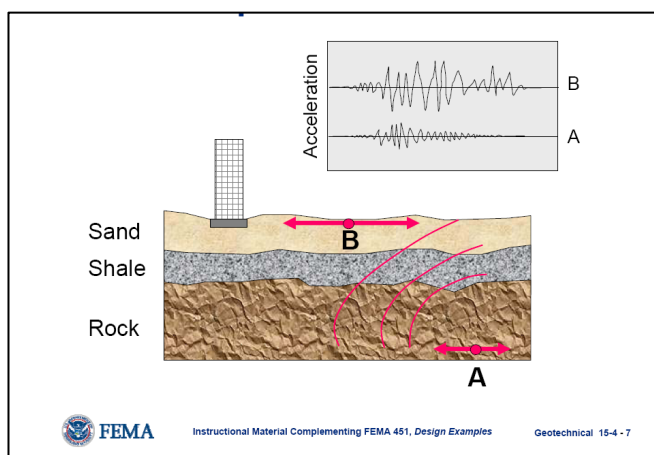
² Doc. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava – Poruba; též Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava, tel: (+420) 596 979341, e-mail: kalab@ugn.cas.cz

2 ZÁKLADNÍ FAKTORY LOKÁLNÍHO GEOLOGICKÉHO VLIVU

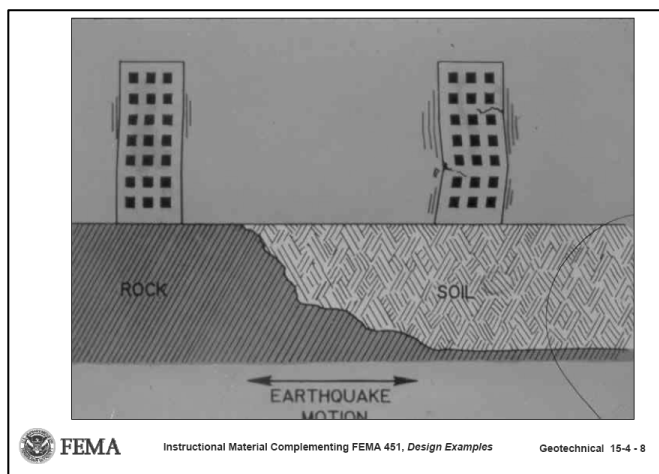
Obecně lze mezi základní faktory geologického site effectu zahrnout:

- modifikaci (zesílení resp. zeslabení) účinků seismického zatížení průchodem nadložními měkkými sedimentárními vrstvami
- topografické vlivy
- sedání suchých písků v podloží
- ztekucení saturovaných nesoudržných zemin

Tento příspěvek je zaměřen na problematiku prvního výše uvedeného bodu, tj. modifikaci dynamické odezvy povrchu v důsledku lokalizace měkkých podložních vrstev v podloží. Praktická pozorování a realizovaná monitorovací měření ukazují, že přítomnost měkkých sedimentárních vrstev v podloží má zesilující účinek na seismickou odezvu vlastního zeminového prostředí, a tudíž i samotné konstrukce (obr. 1 a 2).



Obr.1: Zesilující vliv kvartérních vrstev vyjádřený velikostmi zrychlení (FEMA).



Obr.2: Intenzita porušení konstrukce v závislosti na charakteru podloží (FEMA).

3 MODELOVÁ ANALÝZA VLIVU LOKÁLNÍ GEOLOGIE

3.1 Základní geometrické a materiálové charakteristiky modelu

Modelová analýza pro vyhodnocení vlivu lokální geologie na seismickou odezvu na povrchu byla provedena s využitím dynamického modulu softwarového systému PLAXIS 2D metodou konečných prvků [1]. Rovinný model má šířku 100 m a výšku 70 m. Modelová analýza byla provedena za předpokladu izotropního horninového prostředí a Mohr-Coulombova konstitutivního modelu. V podložním geologickém profilu se vyskytují jednak podložní skalní horniny a jednak kvartérní vrstvy. Geotechnické parametry vrstev odpovídají parametrům charakteristickým pro oblast Karvinska (Müllerová, Müller, Grmela, 2008, [5]), v níž je v důsledku projevů důlně-indukované seismicity problematika dynamické odezvy aktuální. Konkrétní hodnoty použitých geotechnických parametrů karbonských a kvartérních horninových útvarů jsou uvedeny v tabulce č. 1, v posledních dvou řádcích tabulky jsou pak uvedeny vypočtené rychlosti šíření vln V_p , V_s dle vztahů:

$$V_p = \sqrt{\frac{E_{oed}}{\rho}}, \quad E_{oed} = E \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}, \quad \rho = \frac{\gamma}{g}, \quad V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

kde

E – modul pružnosti

μ – Poissonovo číslo

γ – objemová tíha

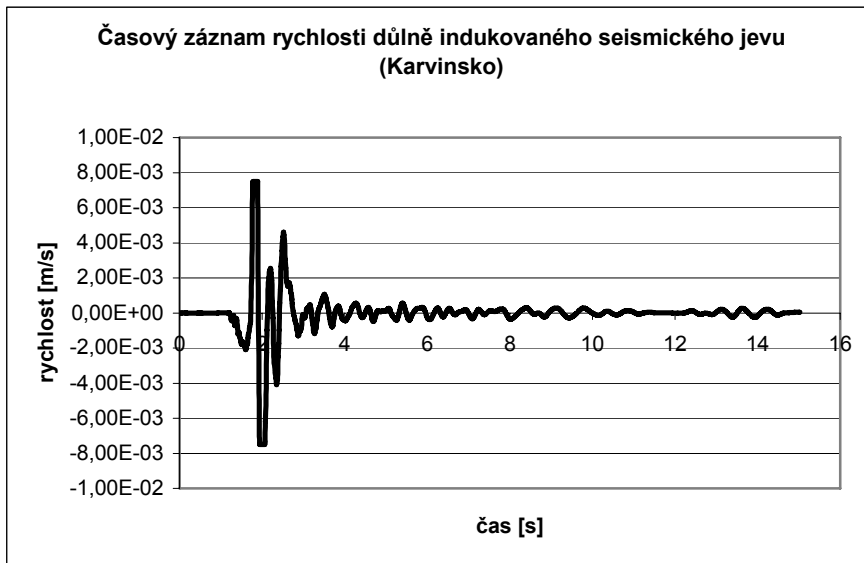
g – tíhové zrychlení

Tab.1: Geotechnické parametry karbonských a kvartérních horninových útvarů.

parametr	jednotky	kvartér	karbon
objemová hmotnost	kg /m ³	1800	2300
Poissonovo číslo	-	0.3	0.2
modul pružnosti	MPa	3.4	9000
soudržnost	kPa	15	100
úhel vnitřního tření	°	11	25

3.2 Základní charakteristiky dynamického zatížení modelu

Realizovaným modelovým výpočtem byl analyzován vliv reálně monitorovaného projevu důlně-indukované seismicity v oblasti Karvinska (obr.3), doba trvání tohoto jevu byla cca 15 s, maximální hodnota amplitudy rychlosti 0.0075 m/s. Tento jev byl zaznamenán soliterní seismickou stanicí ve Stonavě, která je provozována v rámci výzkumného úkolu Ústavem geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava.



Obr.3: Časový záznam rychlosti kmitání důlně indukovaného seismického jevu (Stonava, Karvinsko).

3.3 Výchozí matematická formulace metody a základní okrajové podmínky modelu

Implementovaná dynamická analýza vychází z Newtonova pohybového zákona $F=m \cdot a$, z něhož plyne maticový zápis výchozí soustavy rovnic:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F,$$

kde M je hmotnostní matice, u je vektor posunů, C je matice tlumení, K je matice tuhosti a F je zatěžovací vektor. Posuny u , rychlosti \dot{u} a zrychlení \ddot{u} se mění s časem.

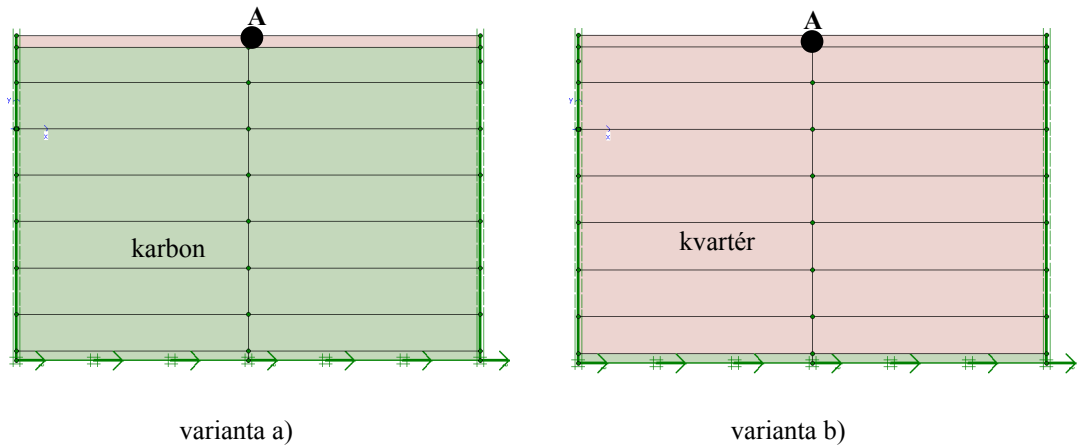
Matice tlumení C je lineární kombinací Rayleighových tlumících parametrů α_R a β_R , zohledňujících materiálové tlumení, a hmotnostní a tuhostní matice.

$$C = \alpha_R M + \beta_R K$$

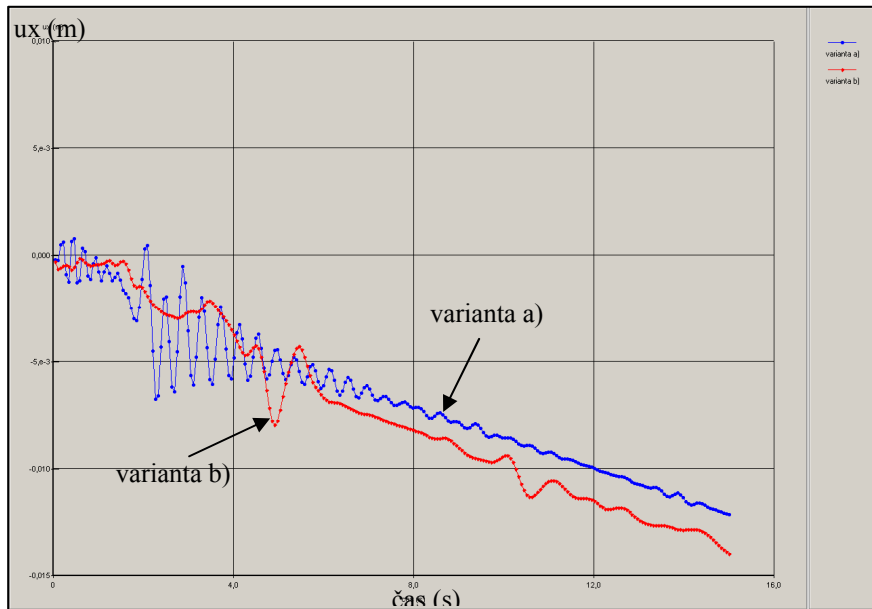
Realizovaný dynamický výpočet vycházel ze dvou typů okrajových podmínek. Tzv. absorbční okrajové podmínky umožňují absorbovat přírůstky napětí, která vznikají v důsledku dynamického zatížení na hranici modelu. Tyto podmínky znemožňují nereálný odraz seismických vln zpět do modelu a jejich vzájemnou interakci. Druhý typ okrajových podmínek se zadává na spodní hranici modelu a odpovídá velikostem naměřených hodnot rychlostí seismického jevu v jednotlivých časových krocích.

3.4 Vyhodnocení výsledků matematického modelování

V následující části příspěvku jsou vyhodnoceny modelové výsledky deformační dynamické odezvy pro dvě varianty podloží (obr. 4). V případě varianty a) je podloží tvořeno kvartérními zeminami pouze do hloubky 2.5 m pod povrchem, pod touto vrstvou kvartérních zemin se již nacházejí karbonské podkladní vrstvy. V případě varianty b) tvoří podloží kvartérní vrstvy o mocnosti 68 m, karbonské vrstvy o mocnosti 2 m jsou lokalizovány pouze při spodní hranici modelu. Následující obrázek č. 5 ilustruje vyhodnocení horizontálních posunů v modelově monitorovaném bodě A na povrchu modelu.



varianta a) varianta b)
 Obr.4: Analyzované varianty podloží: a) kvartér o mocnosti 2.5 m, b) kvartér o mocnosti 68 m.
 (zelená barva označuje karbon, růžová kvartér)



Obr.5: Časový vývoj horizontálních posunů v modelově monitorovaném bodě A na povrchu.

Z výsledku modelování vyplývá, že:

- vyšších hodnot horizontálních posunů je dosahováno ve variantě b) ve srovnání s variantou a) – pro čas odpovídající konci působení seismického jevu $t=15.02$ s představuje toto zvýšení hodnot horizontálních posunů cca 17 %
- ve variantě s vyšší mocností kvartérních zemin v podloží dochází ke snížení frekvence

4 ZÁVĚR

Důlně indukovaná seismicita na Karvinsku představuje významný zásah nejen do životního prostředí, ale také významným způsobem ovlivňuje technický stav objektů. I přes útlum těžby černého uhlí v této oblasti nedochází k významnému snížení počtu či velikosti seismických jevů. To je důsledek těžby ve složitých geomechanických podmínkách a též postupu těžebních prací do větších hloubek. Jako příklad uveďme nejsilnější seismický jev z 4. prosince 2008 (lokální magnitudo 3,2), při němž byla na stanici Darkov naměřena hodnota rychlosti kmitání přesahující $20 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Takovéto hodnoty již mohou způsobovat poškození stavebních objektů.

Matematické modelování má za úkol poskytnout zpřesňující podklady pro stanovení seismického zatížení v místech, v nichž se připravuje nová výstavba, případně možný projev kmitání na existujícím objektu (např. Pitilakis, 2007, [6]). Uvedený příklad ukazuje, jaký vliv má lokální geologická stavba na velikost seismického projevu na povrchu (zesilující účinky kvartérních vrstev).

Z hlediska matematického modelování je dynamická modelová analýza ve srovnání se statickými výpočty náročnější jak po stránce obsahové, tak i časové. Problematická se jeví především charakteristika dynamických parametrů horninového prostředí, včetně parametrů materiálového tlumení, a dále charakteristika samotného dynamického zatížení. Použitý dynamický modul programového systému Plaxis 2D prokázal svou vhodnost aplikace v oblasti rovinných dynamických úloh. Firma Plaxis však dosud nevyvinula dynamický modul pro prostorové modelování a je tedy třeba v případech prostorových dynamických výpočtů využít jiných softwarových systémů – např. CESAR LCPC, MIDAS GTS. Jejich využití se předpokládá v dalších fázích výzkumu katedry geotechniky a podzemního stavitelství FAST.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl realizován za finančního přispění Grantové agentury ČR, projekt 105/07/0878.

LITERATURA

- [1] BRINKGREVE, R.B.J. *PLAXIS 2D- version 8 (manual)*. Balkema, 2002. ISBN 90-5809-508-8.
- [2] DOWRICK, D. J. *Earthquake Resistant Design*. 2 nd ed. New York : Wiley, 1987. ISBN 0-471-91503 3.
- [3] KALÁB Z. Impact of Seismicity on Surface in Mining Affected Areas: General Description. *Acta Geodyn. Geomater.*, 2004, Vol. 1 (133), Prague, pp. 35-39. ISSN 1211-1910,
- [4] KEY, D. *Earthquake Design Practice for Buildings*. 1 st ed. London: Telford., 1988. ISBN 0-7277 1315 9.
- [5] MÜLLEROVÁ ,J. & MÜLLER, K. & GRMELA, A. Geologické a hydrogeologické poměry vybraných lokalit Karvinska. *Sborník vědeckých prací VŠB-TU Ostrava, řada stavební*. 2008, VIII. Nr. 2, pp. 151-164. ISSN 1213-1962.
- [6] PITILAKIS, K.D.-ed. (2007): *Earthquake Geotechnical Engineering*. Proceedings of 4th Int. Conf., Springer, 487 pp., ISBN 978-1-4020-5892-9.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc. , GEOTest a.s., Brno.