

Karel VOJTASÍK¹

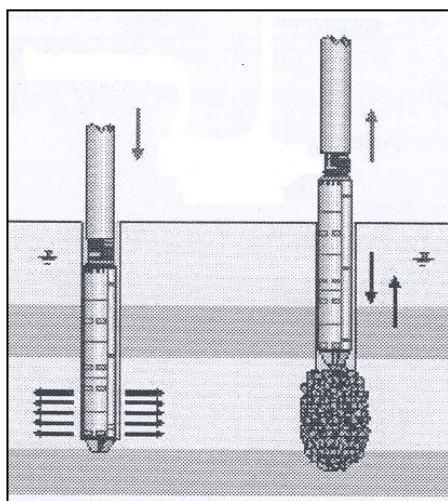
SLEDOVÁNÍ VÝVOJE ZHUTŇOVÁNÍ NAKYPŘENÝCH ŠTĚRKOPÍSKŮ PŘI HLOUBKOVÉM VIBRAČNÍM ZHUTŇOVÁNÍ S PODÁVÁNÍM MATERIÁLU MATEMATICKÝM DISKONTINUITNÍM MODELEM

Abstract

Article brings to the attention an application of mathematical surveying of deep Vibro Replacement Compaction (VRC) of loose granular ground. The mathematical implementation embraces two intrinsic operations of VRC both penetration and replacement. The non continuous mathematical model PFC is in use to cast the behavior of a granular ground in its physical substance.

1 ÚVOD

Nakypřené štěrkopískové zeminy jsou upravovány metodou vibračního hutnění s doplňováním štěrkového materiálu, podávaným vibrátorem (obr.1). Během tohoto procesu úpravy je zemina zhutňována, tj zvyšuje se stupeň ulehlosti (index relativní hutnosti I_d), snižuje se její pórovitost a dochází k dalším změnám (zrnitostní složení, apod.). Následkem tohoto zásahu se zlepšují její deformační parametry, snižuje se její sedání a dochází k zvýšení hranice vrcholové smykové pevnosti.



obr.1 - Schéma VRC

Praktické posouzení kvality hutnění prostředí je u tohoto postupu úpravy založeno především na nepřímých metodách, kdy jsou zaznamenávány technické parametry z procesu hutnění, jako například spotřeba elektrické energie aplikované při hutnění nebo množství materiálů dodaného do prostředí. Výsledný efekt zhutnění prostředí je na závěr ověřen v diskretních bodech penetračními zkouškami, které jsou prováděny před zahájením a po ukončení úpravy prostředí hutněním. Návrh hutnění je prováděn na základě empirických zkušeností a následně operativně modifikován dle výsledků penetračních in situ zkoušek.

¹ Doc.Ing.Karel VOJTASÍK, CSc., VŠB-TUO, FAST, katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Ludvíka Podéště 1875, 708 33 Ostrava - Poruba, e-mail: karel.vojtasik@vsb.cz

Uvedené přístupy hodnocení účinnosti hutnění nezpracovávají a nevyhodnocují základní kvalitativní parametr - pórovitost prostředí, modifikovaný během procesu hutnění. Obecně se předpokládá, po provedení hutnění, konstantní rovnoměrné snížení pórovitosti v celém zhuťňovaném objemu. Tento závěr je poněkud zjednodušen, neboť zejména u hloubkových metod hutnění (tloušťka oblasti hutnění je větší, než při hutnění přesně dimenzovaných vrstev při konstruování násypů), mezi které patří metoda vibračního hutnění s doplňováním šterkového materiálu, nemusí být prostředí rovnoměrně zhuťňeno. Výsledky penetračních zkoušek ukazují značnou proměnlivost v jakosti prohutnění, jak z pohledu vzájemné lokalizace penetrační sondy a hutnicí sondy, tak z hlediska časového, neboť penetrační odpor prostředí po určitou dobu od ukončení procesu hutnění zvolna stoupá.

Objasnění tohoto chování nelze provést na základě nepřímých metod sledování technických parametrů procesu hutnění, nýbrž je třeba proces hutnění zkoumat v jeho základní fyzikální podstatě, tzn. sledovat vývoj pórovitosti v prostředí, jak z hlediska geometrických podmínek, tak technických parametrů hutnění (průměr hutnicí sondy, schéma a rozteč hutnicích sond, rozteče horizontů podávání materiálu, množství podaného materiálu, průměr šterkového sloupce) a rovněž parametrů charakterizujících prostředí (počáteční pórovitost, křivka zrnitosti prostředí, součinitel vnitřního tření).

Článek uvádí návrh na postup sledování procesu hutnění prostředí, založený na matematickém modelování. Navržený postup umožňuje zachytit fyzikální podstatu zhuťňování prostředí a sledovat závislosti mezi technickými parametry hutnění (průměr hutnicí sondy, schéma a rozteč hutnicích sond, rozteče horizontů podávání materiálu, množství podaného materiálu, průměr šterkového sloupce) a parametry prostředí a jejich změny (křivka zrnitosti, pórovitost, přírůstky kontaktních normálových sil, dosah změn, apod.) během hutnění na lokalizovaných oblastech prostředí.

2 VÝPOČETNÍ MODEL

Proces zhuťňování prostředí VRC je tvořen dvěma etapami. První je etapa spouštění (penetrace) vibrační sondy do prostředí. V této etapě je materiál prostředí zatlačován patou vibrační sondy do podloží a v omezené míře pláštěm vibrační sondy do stran. Druhou je etapa podávání a pýchování plnicího materiálu. Plnicí materiál je transportován uvnitř vibrační sondy k její patě a odtud je vypouštěn a následně do prostředí patou pýchován. V této druhé etapě se předpokládá, že převážná část podaného materiálu se bude prostředím šířit v rovině kolmé k směru penetrace a nikoliv již směrem vertikálním do podloží.

Proces zhuťňování prostředí šterkovitých materiálů postupem VRC je sledován ve dvou základních rovinách – vertikální a horizontální. Lze předpokládat, že během první etapy – spouštění – zásadní změny v prostředí budou probíhat ve vertikální rovině. Ve druhé etapě - plnění a pýchování - rozhodující změny v prostředí budou probíhat v horizontální rovině.

Volba užít k sledování procesu hutnění numerický diskontinuitní model - výpočetní systém PFC (Particle Flow Code) plyne z fyzikální podobnosti mezi skutečným prostředím (zrnitý šterkovitý materiál) a prvky (koule, nebo disky) a typy okrajových podmínek s nimiž pracuje matematický model. Obojí, prvky i okrajové podmínky umožňují, jak kvantitativně vyjádřit charakteristické vlastnosti prostředí (zrnitostní složení, pórovitost, součinitel vnitřního tření), tak i simulovat etapy hutnění postupu VRC včetně kvantifikace technologických parametrů (průměr hutnicí sondy, schéma a rozteč hutnicích sond, rozteče horizontů podávání materiálu, množství podaného materiálu, průměr šterkového sloupce).

Navržený způsob modelování problému je determinován použitým výpočetním systémem, který pracuje s 2D prostředím. Z podmínek 2D modelování plynou určitá omezení, která problematiku zjednodušují. Hlavní omezení spočívá především v tom, že navržený postup je složen ze dvou na sobě nezávislých dílčích řešení. Jedno pro vertikální a druhé pro horizontální rovinu, ačkoliv v reálné situaci se vývojové stavy ve vertikální i horizontální rovině navzájem ovlivňují.

Obě etapy procesu zhuťňování, spouštění – penetrace vibrační sondy i podávání a pýchování plnicího materiálu jsou modelovány z již uvedených příčin (model 2D) dvěma samostatnými mode-

ly. V prvním modelu je sledováno chování prostředí ve vertikálním - axiálním řezu (obr.2). Druhým modelem je sledováno chování prostředí v rovině kolmé k axiální ose vibrační sondy – v horizontální rovině – (obr.3).

Spouštění vibrační sondy je modelováno dvěma způsoby podle situace – roviny řešení. Ve vertikálním modelu situace vibrační sonda je modelována uzavřenou geometrickou oblastí, jejíž forma odpovídá zjednodušenému profilu vibrační sondy. Tato oblast je pak spouštěna do prostředí – jsou jí přiřazeny konstantní rychlost a směr pohybu. Po dosažení stanoveného horizontu je pohyb této oblasti - penetrační sondy ukončen (viz obr.2 a – c)). V horizontálním modelu situace vibrační sonda je modelována objemovou expanzí – postupným zvětšováním průměru jednoho elementů, kterému je přidělena role vibrační sondy. Obrázek 3 a) uvádí stav po ukončení objemové expanze - průniku vibrační sondy příslušným horizontem prostředí. Kompletní vývoj situace v modelu během objemové expanze – průniku vibrační sondy horizontem prostředí je uveden v článku [6].

Podávání materiálu je modelováno přidáváním nových elementů, které jsou vkládány na povrch ploch, které reprezentují vibrační sondu. Ve vertikálním modelu je to kónická část geometrické oblasti nad patou vibrační sondy (viz obr.2 d)). V horizontálním modelu jsou elementy přidávány v diskretních bodech, které jsou symetricky rozmístěny po obvodu elementu, jenž představuje vibrační sondu. Počet a lokalizace těchto bodů odpovídá počtu výpustí materiálů a jejich umístění u vibrační sondy (4, 6, 8). Obrázek 3 b) uvádí stav po ukončení podávání materiálu v příslušném horizontu prostředí. Kompletní vývoj situace v modelu během podávání materiálu je uveden v článku [6].

3 VÝSLEDKY

Graf na obr. 4 uvádí v modelu pro horizontální rovinu průběh hodnot pórovitosti, během obou technologických etap VRC - spouštění vibrační sondy a podávání materiálu.

Matematické modely, použité v tomto případě k sledování vývoje procesu hutnění nereprezentují skutečné prostředí (zrnitostní složení, pórovitost, skutečné geometrické podmínky), ale pouze zachovávají jeho základní charakteristické rysy (zrnitostní strukturu materiálu). Proces hutnění – spouštění vibračního tělesa a podávání materiálu jsou modelovány postupem, jehož okrajové podmínky jsou v souladu se skutečnou situací. Jde tedy analogické modely, které zachovávají fyzikální charakter stavby a chování prostředí i okolnosti technologie hutnění. Modely rovněž dovolují průběžně sledovat nejen vývoj procesu zhuťování prostředí, založený na vyhodnocování pórovitostí, ale umožňuje sledovat řadu dalších zajímavých parametrů prostředí, které mají významný vliv na smykovou pevnost a deformační chování prostředí. Mezi tyto parametry patří například: hodnoty kontaktních sil mezi elementy; průměrný počet kontaktů elementu se sousedními elementy; hodnoty hlavních napětí v prostředí; apod.

Uvedenými modely lze řešit i reálnou situaci, tj. prostředí charakterizované skutečnou křivkou zrnitosti a s okrajovými podmínkami, odrážejícími skutečné parametry technologie hutnění metodou VRC (rozměry vibrační sondy, množství - objem a zrnitost podávaného materiálu). Řešení skutečných situací je vázáno výkonem výpočetní techniky. Model prostředí skutečné situace tvoří řádově až 10^6 elementů/m² plochy (v závislosti na křivce zrnitosti).

Výsledky řešení procesu VRC z těchto dvou modelů dávají možnost poznat principy chování prostředí během VRC. Absolutní interpretace výsledků však z těchto modelů není možná. Například, hodnoty pórovitosti je nutno považovat pouze za relativní, neboť její výpočet je proveden pro specifické podmínky - 2D model a diskový typ elementů, což obojí zásadním způsobem ovlivňuje vypočtenou absolutní hodnotu pórovitosti prostředí. Jinou hodnotu pórovitosti dostaneme pro kulový typ elementů, a jiná bude hodnota pórovitosti počítaná pro 3D podmínky a kulové elementy, ačkoliv granulometrická skladba elementů charakterizujících prostředí ve všech třech uvedených situacích bude totožná. Pokud se chceme zcela ztotožnit se skutečnými podmínkami, je třeba pracovat s 3D modelem a plně respektovat geometrické podmínky situace. Obojí je obecně možné, ale naráží to na možnosti prostředků, které jsou k dispozici k řešení tohoto problému na pracovišti autora článku.

4 ZÁVĚR

Proces vývoje hutnění štěrkových zemin metodou vibračního hutnění s podáváním materiálu vibrační sondou lze sledovat pomocí matematického modelování.

Pro tento účel je vhodný PFC model, pracující s diskontinuitním prostředím, který dokonaleji než modely kontinuitní, vystihuje fyzikální charakter prostředí a okrajové podmínky plynoucí z technologie hutnění metodou VRC.

Výstupem řešení jsou, jak záznam procesu pohybu částic v prostředí obklopujícím vibrační sondu a stanovení dosahu vlivu zhutňování, tak kvantifikaci procesu zhutňování veličinami, kterými jsou determinovány smyková pevnost a přetvárné parametry štěrkových zemin.

LITERATURA

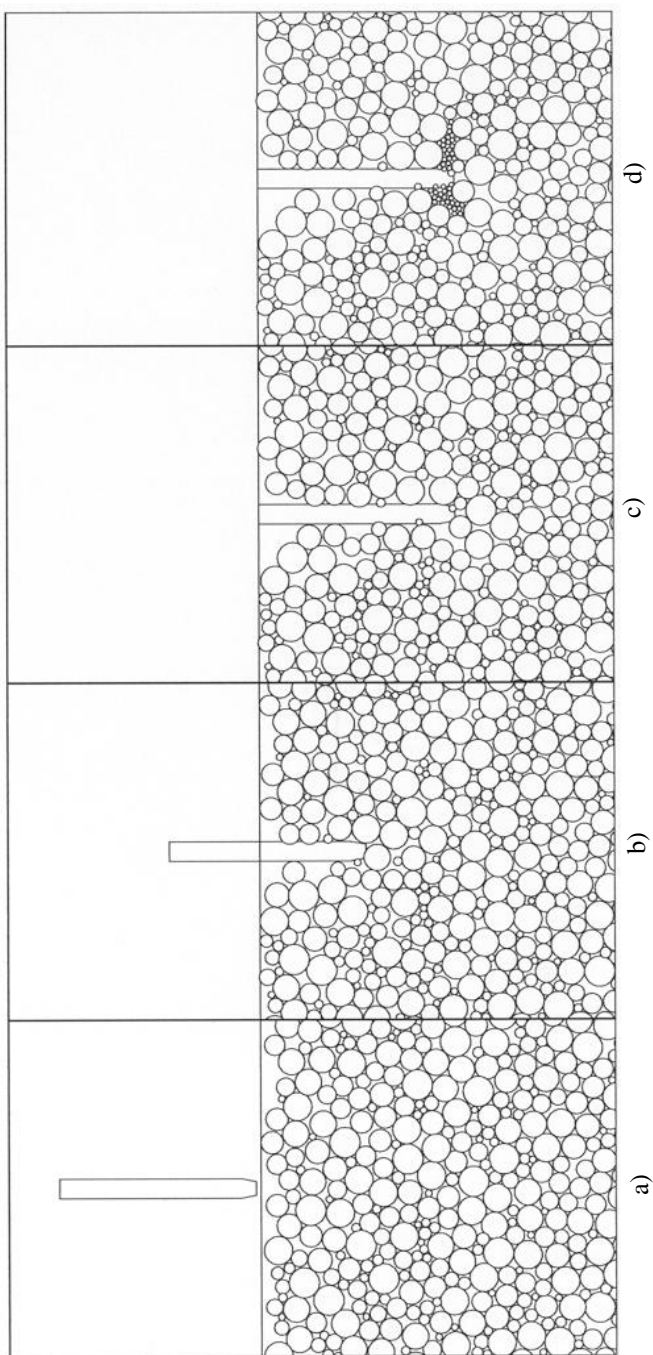
- [1] PFC 2D Manuals Itasca consulting Group, Inc.1999
- [2] VOJTASÍK, K., ALDORF, J., HRUBEŠOVÁ, E., LAHUTA, H.: Výzkum metod parciálního zpevnování horninového masivu v okolí podzemních děl jako prostředek optimalizace zatížení výztuže, Závěrečná zpráva grantového projektu č. 103/99/1495, Ostrava 2000
- [3] BELL, F. G.: Engineering treatment of soils, E&FN Spon, 1993
- [4] MOOSELEY, M.P., KIRSCH, K.: Ground improvement, Spon Press, 2004
- [5] VOJTASÍK, K.: Posouzení efektivity zhutňování prostředí metodami objemové zonální expanze, Sborník příspěvků 12. mezinárodního semináře „Zpevnování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2007“, 22.-23.2.2007, Ostrava, str. 200-208
- [6] VOJTASÍK, K.: Investigation of the replacement compaction of loose soil by a discontinuous mathematical model, Proceedings of the 8th international geotechnical conference „Improvement of soil properties“, 4.-5. 6.2007, Bratislava, Slovak Republic, page 212-217

PODĚKOVÁNÍ

Článek byl zpracován v rámci řešení úkolu GAČR 105/05/2712 Ražení kolektorů v oblastech dotčených hornickou činností

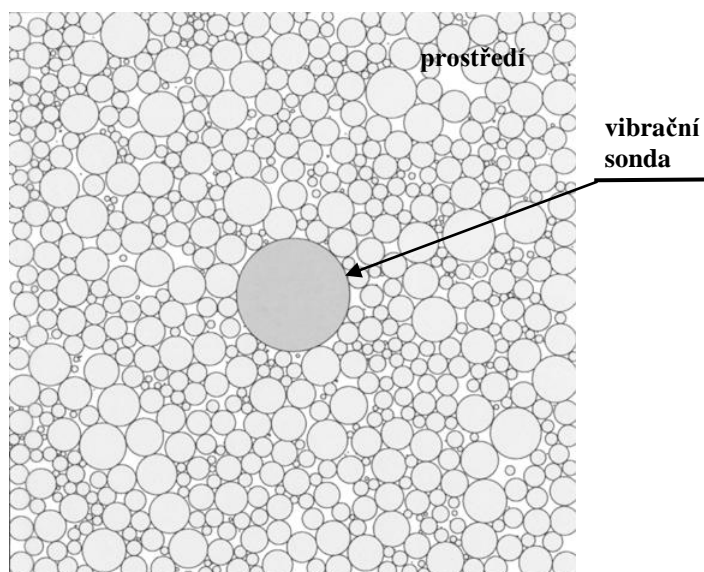
Recenzent:

Ing. Ivan SŘALKA, Dopravní projektování, spol. s r.o., OSTRAVA

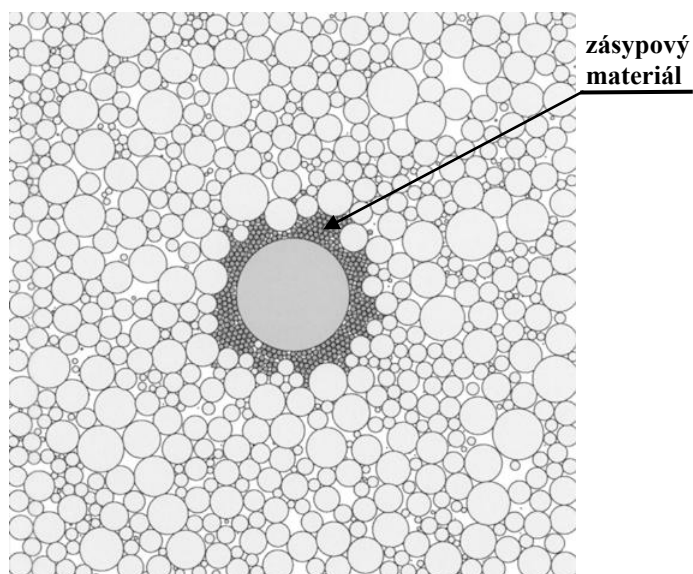


obr. 2 – Model řešení situace – vertikální rovina

Distribuce elementů: a) start; b) mezi stav - etapa spouštění (penetrace); c) ukončení etapy spouštění; d) ukončení etapy podávání materiálu (replacement)

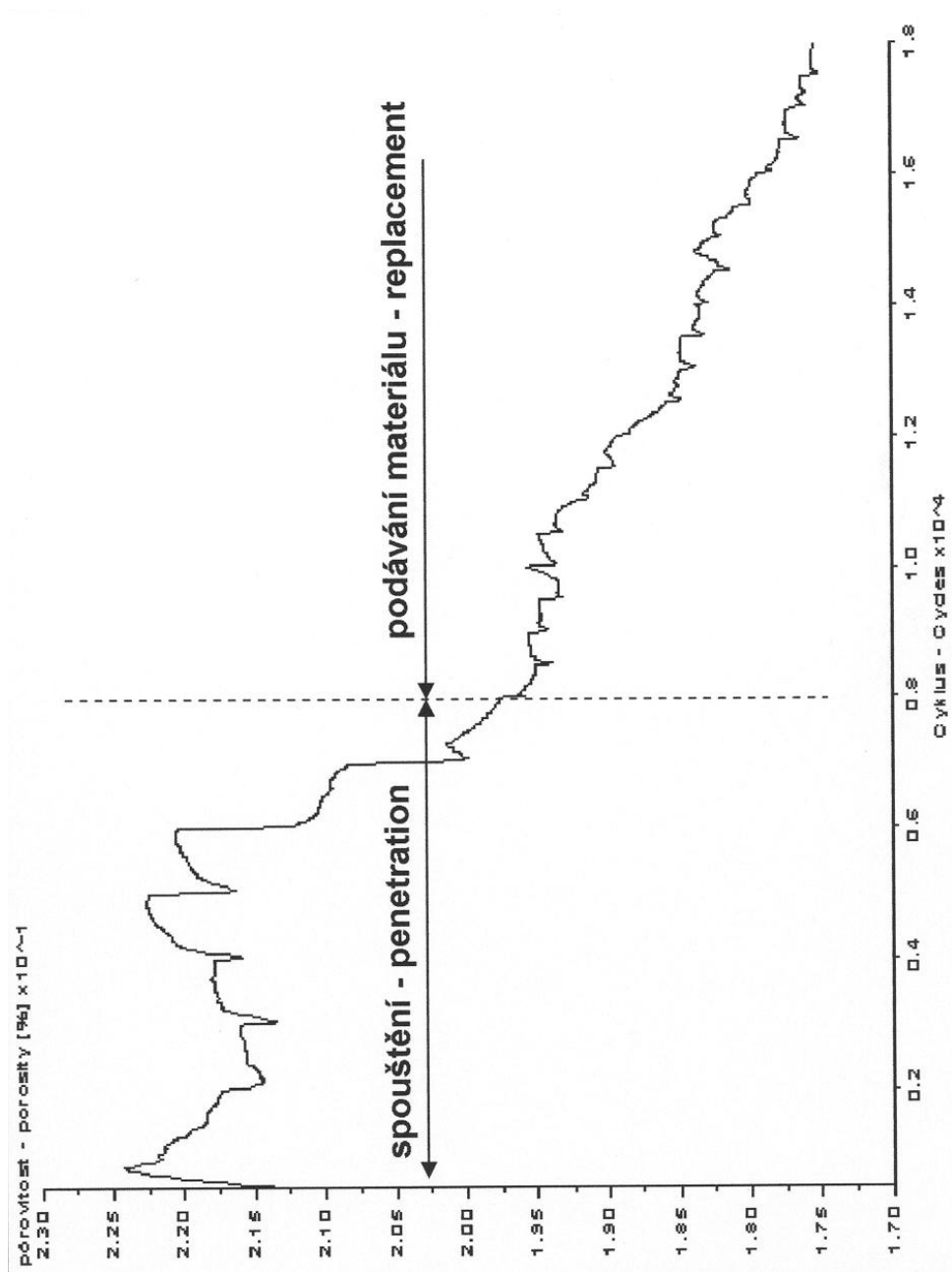


a)



b)

obr.3 – Model řešení situace - horizontální rovina
 Distribuce elementů: a) ukončení etapy spouštění (penetrace); b) ukončení etapy podávání materiálu (replacement)



obr. 4 - Záznam vývoje pórovitosti prostředí v průběhu VRC

