

# ZLEPŠOVÁNÍ PODLOŽNÍCH VRSTEV NÁSYPU ŠTĚRKOVÝMI PILÍŘI

Pavel Marek

## 1. Úvod

Štěrkové pilíře jsou jednou z metod vyztužování zemního tělesa. Tento způsob zlepšení mechanicko-fyzikálních parametrů soudržných i nesoudržných zemin se stal vhodnou konstrukční technologií zpevnění neulehlých násypů a měkkých, málo únosných zemin. Oblast použití vyztužení zemin pilíři je rozmanitá od rozsáhlých, pro zakládání málo vhodných území určených pro výstavbu průmyslových budov a zařízení (např. válcových nádrží) až po lokální přirozené nebo umělé deprese vyrovnané nahodile uloženými materiály jako jsou jíly, písky, průmyslové popílky, výsyvky nebo stavební suť v různých mocnostech, kde dojde instalací pilířů k určité homogenizaci podloží. Významnou kapitolu tvoří užití štěrkových pilířů v silničním stavitelství, kde jsou štěrkové pilíře budovány buď pod celými násypy, jejichž podloží je tvořeno „nevhodnými“ zeminami, nebo jsou instalovány pouze v přechodových oblastech mostů, kde eliminují sedání násypů přilehlých k mostním opěrám. Štěrkové pilíře lze užít i ke snížení koeficientu filtrace a tím k zajištění nižších přítoků do stavební jámy.

V případě násypu nebo podloží z kyprých až středně ulehlých nesoudržných zemin dochází k jeho zlepšení působením vodorovné vibrace (vibroflotace) s přidáváním hrubozrného nesoudržného materiálu a tím zvýšení ulehlosti zeminy.

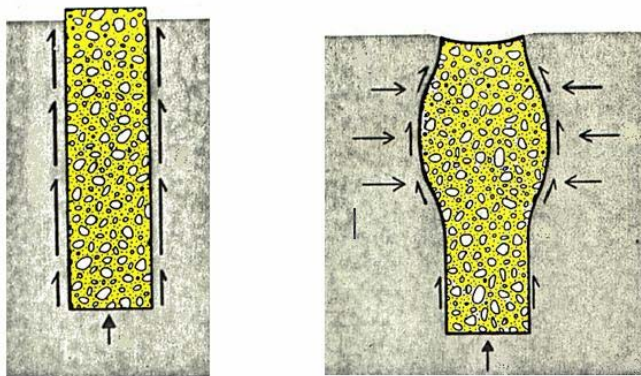
V našich podmínkách se prakticky užívají dvě technologie, a to metoda předrážení a metoda vibrace (technologie displacement s vytěsněním zeminy do boku bez těžení). Při instalaci pilířů lze užít i technologii replacement, kdy je zemina vytěžena z vrty a nahrazena nesoudržným materiálem.

## 2. Působení pilířů a mechanismus porušení osamělého pilíře

Štěrkové pilíře zvyšují deformační charakteristiky základové půdy, a také urychlují průběh primární konsolidace díky zvýšenému odvodu vody. Charakter přenosu zatížení je zcela závislý na schopnosti okolní zeminy vzdorovat vyboulení obvodu pilíře.

Oproti pilotám vykazují štěrkové pilíře také rozdílné mechanismy porušení (obr.1). Mechanismus porušení piloty může nastat překročením únosnosti podél pláště i pod patou piloty (piloty plovoucí) resp. pouze pod patou (u pilot opřených).

U dostatečně dlouhého štěrkového pilíře, který je zatížen pouze v hlavě pilíře, se možný mechanismus porušení projeví vyboulením do stran do úrovně cca 2-3D pod hlavou pilíře (D je průměr pilíře). Spodní partie pilíře o porušení prakticky „neví“ a jejich význam spočívá převážně v urychlení konsolidace zlepšovaných vrstev ve větších hloubkách.

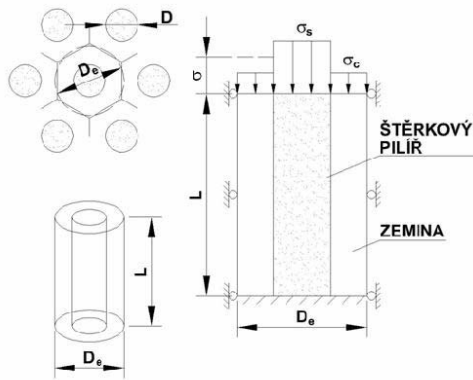


Obr. 1. Princip působení piloty a štěrkových pilířů

## 3. Empirické metody výpočtu

Pro výpočet únosnosti zeminy vyztužené štěrkovými pilíři se užívají v podstatě dva přístupy:

- 1) metoda bez uvažování skupinového účinku, která se omezuje na působení nestlačitelného pilíře uloženého v plastickém poloprostoru
- 2) metoda s uvažováním skupinového chování, která řeší chování komplexu pilíře a okolní zeminy s okrajovými podmínkami („unit cell“). Tento model je obdobný oedometrickému vzorku s centrálním umístěním pilíře a poskytuje racionálnější podklad pro výpočet (obr.2). Ze skupinového chování pilířů vychází např. metody dle Štěpánka a Priebeho. Metoda dle Van Impeho převádí prostorový problém na rovinný a nahrazuje pilíře tzv. „náhradními stěnami“. Společným rysem těchto metod je předpoklad stejné deformace pilíře i okolní zeminy, což může být splněno při zatížení tuhou deskou resp. pod vnitřními partiemi násypových těles.



Obr. 2. Idealizace tzv. „unit cell“

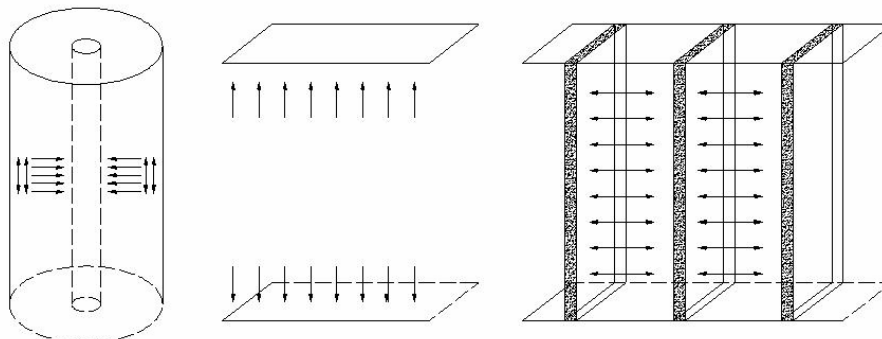


Obr. 3. Příklad instalace ŠP pilířů

#### 4. Konsolidační působení šterkových pilířů

Konsolidační působení šterkových pilířů spočívá v kombinaci vertikálního a radiálního odvodnění zeminy mezi jednotlivými pilíři. Proto je pro korektní řešení odvodnění potřeba znát součinitel konsolidace pro vodorovný i pro svislý směr. Součinitele konsolidace ve svislém směru lze určit z oedometrické zkoušky. Součinitel propustnosti ve vodorovném směru je nevhodnější stanovit z polní zkoušky propustnosti, kdy mohou radiální propustnost ovlivnit i čochy nesoudržných zemin, které mohou být v geologické vrstvě přítomny a které zvyšují propustnost a tedy urychlují konsolidaci. Pokud se vychází jen z jistého násobku svislé propustnosti, tak následně vypočtený čas na konsolidaci resp. opatření vedoucí k jeho snížení mohou být předimenzována. Naopak polní zkoušky propustnosti mohou návrh opatření zlevnit. Konsolidační působení šterkových pilířů je prostorový problém. Při modelování ve 2D programech je nutné převést problém na rovinný při zachování stejného konsolidačního účinku. Existují 2 resp. 3 možnosti převedení (Obr.4):

- 1) celé zlepšované vrstvě se přiřadí ekvivalentní vertikální propustnost
- 2) šterkové pilíře se nahradí prvky typu „geodrain“, které nahrazují přítomnost šterkových pilířů a stanoví se náhradní horizontální propustnost mezi těmito prvky
- 3) pilíře se modelují „náhradními“ stěnami dle Van Impeho a parametry zemin i „stěny“ zůstávají nezměněny



Obr.4. Převedení konsolidace šterkových pilířů na rovinné řešení

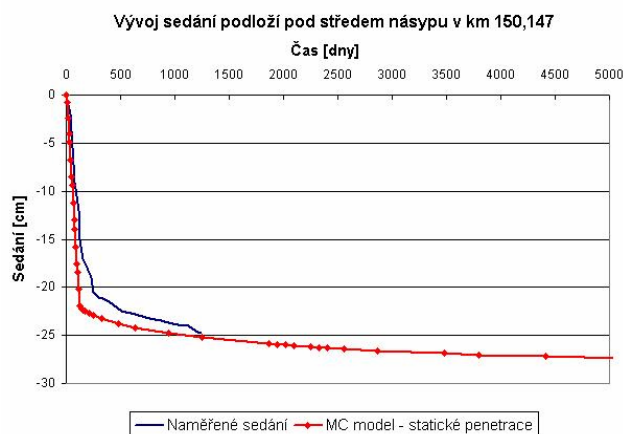
#### 5. Zpětná analýza sedání násypového tělesa v km 150,147 na stavbě R3509

Násypové těleso, které sloužilo jako podklad pro model, bylo vysoké 10,0 m, jeho šířka v koruně násypu činila 30,0 m a sklon svahů byly v poměru 1:2. Sypání bylo výpočtově rozděleno na 5 vrstev o mocnosti 2,0 m. Ve výpočtu je s ohledem na konsolidaci počítáno s tím, že na vybudování každé vrstvy bylo třeba 25 dnů; celková doba sypání je tedy 125 dnů.

Podloží násypu je tvořeno cca 1,0 m mocnou vrstvou fluválních hlín tuhé konzistence a dále vrstvou středně ulehlých fluválních šterků. Neogenní podloží je tvořeno jíly tuhé až pevné konzistence s nepravidelnými polohami prachovitých písků. Podloží bylo zlepšeno rastrem šterkových pilířů průměru 0,4 m a délce 15,0 m v trojúhelníkovém uspořádání o délce strany 2,2 m. Na stavbě silnice R3509 – Obchvat Olomouce byl prováděn geotechnický monitoring, který sloužil ke srovnání naměřených a vypočtených deformací uprostřed profilu.

V rámci analýzy bylo nutno stanovit i deformační vlastnosti neogenních jíly, hlavně přírůstek deformačního modulu v závislosti na hloubce. Proto byly zpracovány a vyhodnoceny statické penetrace v rámci celého silničního úseku R3509 a výsledkem je lineární přírůstek 1,10 MPa/m (pro srovnání bylo totéž provedeno i pro oedometrické zkoušky a zde byl výsledkem přírůstek 0,4 MPa/m). Na Obr.5 je znázorněno naměřené sedání i hodnoty vypočtené pro přírůstek ze stat. penetrací (konečné sedání pro přírůstek z oedometrických zkoušek bylo cca 45 cm).

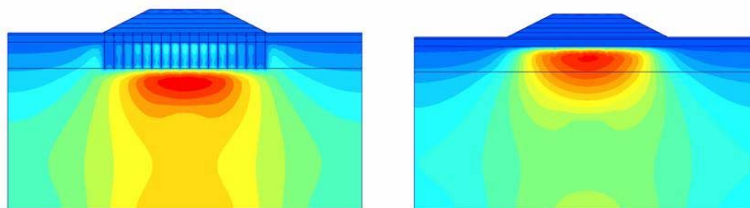
Výsledky potvrzují, že statické penetrace poskytují reálnější odhad než zkoušky stlačitelnosti. Rozdíly ve velikostech deformačních modulů spočívají v možném rozvolnění vzorku, ale hlavně v nepřítomnosti bočního napětí při oedometrické zkoušce.



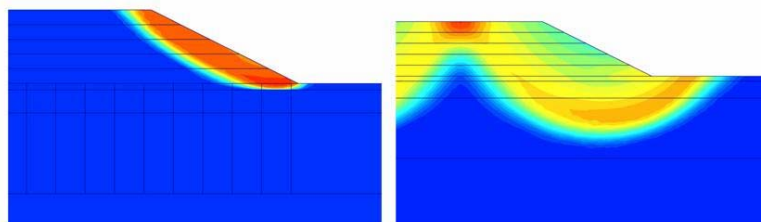
Obr.5. Vývoj sedání násypu v km 150,147 – naměřené i vypočtené hodnoty

Konsolidační působení pilířů bylo modelováno prvky typu „geodrain“ s ekvivalentní horizontální propustností. Zvýšení deformačního modulu nebylo uvažováno s ohledem na skutečnost, že pro pilíře o průměru 0,4 m v rastru 2,2 m by zlepšení oedometrického modulu vrstvy činilo jen cca 10%.

Na Obr.6 jsou znázorněny velikosti pórových tlaků po dosypání násypu. Je patrné, že nejvyšší nárůst pórového tlaku se „přesunul“ pod paty pilířů a i v absolutní hodnotě je nižší než v případě s pilíři. Rovněž stabilní analýza na Obr. 7 poukazuje na zvýšení stupně stability krajních partií násypu při užití štěrkových pilířů. Při jejich použití se mechanismus porušení vytvoří v samotném tělese násypu (stupeň stability 1,5); zatímco bez užití pilířů zasahuje možný mechanismus porušení do soudržných vrstev v podloží (stupeň stability 1,35).



Obr.6. Vývoj pórových tlaků



Obr.7. Mechanismus porušení

## 6. Závěr

Článek krátce seznamuje s využitím štěrkových pilířů v dopravním stavitelství. Více se zaměřuje na řešení komplexních úloh sedání násypů, jejichž podloží je zlepšeno rastrem štěrkových pilířů a to pomocí metody konečných prvků. Upozorňuje na možnosti převedení obecně prostorového problému konsolidace na rovinný problém při zachování stejného konsolidačního účinku. Výsledné vypočtené sednutí modelu je srovnatelné s naměřeným v rámci monitoringu stavby (pokud se vychází z deformačního modulu získaného ze statických penetračí, kdy je modul ovlivněn působením bočního napětí).

## 7. Literatura

- [1] Jiří Záruba - Stavba R3509 – Monitoring (zpráva č. 32) (SG – Geotechnika, a.s., Praha, prosinec 2003)
- [2] Achterchonden bij numerieke modellering van geotechnische constructies, deel 2 (CUR, 1997, Gouda, NL)
- [3] Výsledky statických penetračních zkoušek (Podrobný geotechnický průzkum - R35, stavba 3509 Slavonín – Přáslavice, km 142,600 – 157,100, Brno, duben 1997)
- [4] Jan Masopust – Speciální zakládání staveb, díl 2 (CERM, s.r.o. Brno, prosinec 2006)
- [5] Pavel Marek – Spolupůsobení konstrukce a horninového prostředí – zlepšování vlastností základových pūd pomocí štěrkových pilířů (doktorandská disertační práce, Brno, listopad 2005)