

## 1. ÚVOD

V posledním desetiletí dochází ke stále výraznějšímu uplatnění metod hloubkového zlepšování základových půd pomocí hloubkové vibrace. Vývoj nových vibrátorů s vysokým horizontálním účinkem na zeminu umožnil překonání předchozích hranic využitelnosti.

Účelem zlepšení základové zeminy je vytvoření nového mohutného kompozitního bloku základové půdy, jenž vykazuje vyšší pevnostní a zejména deformační parametry. Tyto vylepšené vlastnosti jsou výsledkem součinnosti dvou faktorů:

- Vyztužením prvky speciálního zakládání. Nejčastěji se uplatňují různé druhy piliřů z nově instalovaného materiálu (např. šterkové piliře), ale mnohdy se vytváří jen prvky z původní zeminy intenzivněji ztuhnuté (např. vibroflotace).
- Vylepšeným chováním spolupůsobící zeminy mezi těmito prvky. Ke zlepšení vlastností této zeminy dochází při procesu instalace výztužných prvků.

## 2. VIBRAČNÍ METODY A SOLETANCHE ČR

Článek uvádí přehled technologií hloubkového zlepšování zemin se zaměřením na **vibrační metody**. Jedná se o výběr z technologií realizovaných společností **SOLETANCHE Česká republika s.r.o.**, která v dané oblasti úzce kooperuje se svou sesterskou specializovanou firmou **The Vibroflotation Group** v rámci mateřské společnosti **Soletanche Bachy Group**.

Technologie společnosti The Vibroflotation Group jsou podloženy tradicí mnohaletého inovativního úsilí inženýrů rodiny Degenů, spoluvlastníků firmy, kteří neustále rozvíjejí svůj původní originální vynález hloubkového vibrátoru a udržují jej daleko na špici této technologie. Speciální znalosti v oboru konstrukce a výroby hloubkových vibrátorů vedly k sestavení řady různých účelových zařízení s nadstandardními výkonovými parametry, zaměřenými na odlišné podmínky základové půdy a okolnosti provádění. Kromě nejužívanějších typů V23 je k dispozici i supervýkonný typ V48.

Efektivní vývoj je umožněn trvalým zpětným proudem informací z praktických realizací na stavbách po celém světě, mnohdy v unikátních podmínkách a mimořádných rozměrech. Nezbytnou součástí je dlouhodobé soustředování, studium a kritická aplikace teoretických návrhových postupů metod zlepšování zemin. K tomu se přidává široké zázemí know-how mateřské společnosti

Soletanche Bachy Group, soustředující zkušenosti z desítek svých poboček a stovek akcí.

## 3. VIBROFLOTACE

Vibroflotací se ztuhují písčité kypré zeminy ponorným vibrátorem za podpory vody, a to až do hloubek 40 až 50 m.

Působením vibrací a vody dochází u písčítých zemin k přeskupení struktury z kypré do ztuhnuté polohy zrn. Pro efektivní fungování tohoto procesu musí mít ztuhovaná zemina vhodnou granulometrii a další parametry jako úhel vnitřního tření a další. Efektivita vibroflotace závisí rovněž na volbě vhodného zařízení. Úspěšnější je vibroflot na elektrický pohon, jehož štíhlejší profil zaručuje účinnější hutnění, a u něhož lze také spolehlivě měřit účinek vibrace a odezvu zeminy. Moderní elektrický vibroflot má výkonové parametry s dynamickou silou 300 – 450 kN a amplitudou 10 – 20 mm, existují již i výkonnější stroje.

Kromě ztuhnutí dochází k dalším změnám v zemině, propustnost se snižuje v řádu 100 až 1000, úhel vnitřního tření narůstá průměrně o 10 stupňů, okamžité sednutí vlivem ztuhnutí je 2 až 15 %.

Zavedení technologie ponorného vibrátoru je vlivem jeho intenzivního horizontálního působení pro účinnost zlepšení zemin převratné. Je tak možno vpravit potřebné množství hutnicí energie selektivně do nejslabších horizontálních vrstev zeminy.



Proces vibroflotace

\*) SOLETANCHE Česká republika s.r.o.

#### 4. ŠTĚRKOVÉ PILÍŘE PROVÁDĚNÉ PONORNÝM VIBRÁTOREM

Z metody vibroflotace byla odvozena technologie zhotovování šterkových pilířů, kde kromě hloubkového zhutnění je neúnosná zemina i vyztužena dodatečným šterkovým materiálem. Nejprve byla používána tzv. „mokrý metoda, s horním plněním“ šterku, dodávaného postupně do ústí otvoru na povrchu.



Provádění šterkových pilířů suchou cestou

Moderní modifikací je pak spodní plnění otvoru na špičku vibroflotu paralelní plnicí rourou. Vibrátor nejprve za podpory vzduchu dosáhne požadované hloubky pilíře. Poté je celý násypný systém naplněn šterkem nebo jiným podobným materiálem. Následně se vibrátor při cyklických pohybech nahoru-dolů v postupných krocích vytahuje vzhůru. Pilíř se tak odspodu plní šterkem, který je vibrátorem zhutňován a radiálně rozlačován do okolní zeminy. V násypném systému je šterk průběžně doplňován a popsáný proces probíhá až do úplného zhotovení pilíře. V průběhu hutnicího procesu je kontinuálně sledována odezva zeminy, tak aby bylo dosaženo maximálního zhutnění jak v pevnějších tak méně únosných partiích profilu.



Provádění šterkových pilířů suchou cestou

Podle konkrétních geologických poměrů se obvykle volí metoda „mokrý“ s vodním výplachem pro písčité zeminy, anebo „suchý“ se vzduchovým výplachem pro jílovité zeminy. V některých zeminách je nutné provádět pro překonání tvrdých mezivrstev předvrty.

Obvyklé rozměry šterkových pilířů jsou průměr 0,5 – 1,0 m a hloubka 15 – 20 m.

#### 4. VIBRO-BETONOVÉ PILÍŘE

Ve vhodných podmínkách může být použití vibro-betonových pilířů výhodné a efektivní.

Postup při zřizování těchto prvků je téměř shodný s prováděním šterkových pilířů suchou cestou s plněním odspodu, ale namísto výplně šterkem se použije polosuchý beton. Vzniká tak zlepšení zeminy s přídáním hodnotou. Zatímco vylepšení mezilehlé spolupůsobící zeminy je na stejné úrovni jako u šterkových pilířů, betonový pilíř má oproti šterkovým pilířům výrazně vylepšené pevnostní vlastnosti. Pro optimalizaci požadovaných vlastností lze pilíře realizovat s rozšířenou patou, tzn. s podstatně vyšší únosností, popř. v některých případech udělat část pilíře ze šterku a část z vibro-betonu.

#### 5. NÁVRH A KONTROLA PROVÁDĚNÍ

Z geotechnického hlediska má obvykle návrh, provádění a kontrola vibračních metod následující společné rysy:

- Základem je empirický nebo semi-empirický návrh, založený na speciální zkušenosti z provádění určité technologie. Nověji se uplatňuje u některých metod **analýza metodou konečných prvků**, obvykle s pomocí programu PLAXIS.
- **Observační postup** řízení prací, kdy se vyhodnocuje odezva zeminy v procesu technologie a tento proces se podle výsledků observační analýzy doladuje.
- Součástí observačního postupu je **provozní monitoring** hlavních faktorů technologického procesu, který je prováděn automaticky z elektronické instrumentace výrobního zařízení
- Kontrola zlepšení zemin in-situ se realizuje zejména metodami **penetrační sondáže**, se srovnávací analýzou výsledku před a po procesu zlepšování. K tomu se často přidružuje průkazné a kontrolní zatěžovací zkoušky, obvykle kompozitního elementu prvek-spolupůsobící zemina
- Použití **statistického vyhodnocení** dat získaných z monitoringu a kontrolních měření se ukazuje jako obzvláště potřebné. Zejména je nutné správně ohodnotit a odladit podružné makrorozměrové variace vlastností zeminy, zachycené podrobným měřením, ve vztahu k rozhodujícímu megarozměru celého kompozitního bloku zlepšované základové půdy.

## 6. ZAJÍMAVÉ PŘÍKLADY

Pro ilustraci uvedme tři zajímavé příklady realizované společností The Vibroflotation Group (TVG):

- **Světový rekord v hloubce zhutnění:** při rekultivaci povrchových dolů v Lausitz, SRN, provedla TVG vibroflotaci až do hloubky 68 m.
- **Světový rekord v rozsahu zlepšení zeminy:** na stavbě umělého poloostrova Penny's Bay, v Hongkongu, bylo nasazeno současně 12 obřích souprav TVG a bylo zhutněno více než 40 mil. m<sup>3</sup> písčitých zemin.
- **Světově unikátní technologické řešení:** Na stavbě přístavu Patras, Řecko, realizovala TVG z hladiny moře na dně v hloubce 32 m šterkové pilíře s plněním odspodu o průměru 1 m, délky 20 m, s pomocí speciální šterkové pumpy.

## 7. ZÁVĚR

Zlepšování základových půd metodami je výhodné zejména v podmínkách velkého plošného zatížení, jako jsou např. násypy dopravních staveb nebo podlahy ve velkorozměrových halách. V našich podmínkách se hodí obzvláště pro heterogenní souvrství zemin jako jsou povodňové náplavy nebo lidskou činností vzniklé různé navážky, násypy apod.

Při volbě konkrétního postupu je třeba přihlédnout k rozdílu jednotlivých metod a ke konkrétním geologickým poměrům. Z hlediska požadavků na zlepšení zeminy se zvažuje význam faktoru vyztužení a faktoru zlepšení spolupůsobící zeminy, ale velmi důležitým parametrem je i ekonomicko-technická efektivita technologie.

Konkrétním příkladem je aplikace šterkových pilířů pro založení mostů a násypových těles úseků dálnice D8 jdoucí přes výsypky bývalých povrchových dolů. Založení v této oblasti je velmi obtížné, protože se jedná o vysoce stlačitelné až 30 m mocné vrstvy s rizikem půdní agresivity a negativního plášťového tření. SOLETANCHE Česká republika s.r.o. pro tyto výjimečné podmínky poskytla návrhové konzultace a realizovala v rámci projektové přípravy výstavby dálnice terénní velkopokus založení na skupině šterkových pilířů. Dlouhodobá měření jednoznačně potvrdila vhodnost volby tohoto typu založení.