



METODIKA ZKOUŠENÍ KVALITY A MÍRY ZLEPŠENÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY ŠTĚRKOVÝMI PILÍŘI



2015
Geostar spol. s r.o.
Vysoké učení technické v Brně

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu „**Kontrola a zkoušení podloží zlepšeného štěrkovými pilíři**“ ev. č. **TA 02030829** realizovaného za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci programu Alfa. Na řešení projektu se podílela firma Geostar spol. s r.o. a Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební (ústav geotechniky).

Autoři: Ing. Karel Zdražil, CSc. (Geostar spol. s r.o.)

Ing. Alena Kotačková (Geostar spol. s r.o.)

Ing. Radek Fiala (Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební)

Ing. Jiří Boštík PhD. (Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební)

Oponenti: Mgr. Václav Mráz (Ředitelství silnic a dálnic ČR)

Ing. Jan Zajíček (APT servis, Jaromírova 19, 779 00 Olomouc)

Ing. Petr Zedník (Centrum dopravního výzkumu v. v. i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno)

Obsah

Termíny a definice.....	1
Úvod.....	2
Cíl metodiky.....	2
Popis uplatnění certifikované metodiky.....	2
Ekonomické aspekty.....	3
Srovnání novosti postupů.....	3
1 Popis metodiky.....	4
2 Zkušební pole.....	4
2.1 Realizace zkušební pole.....	4
2.1.1 Umístění zkušební pole.....	5
2.1.2 Velikost zkušební pole.....	5
2.1.3 Záznam z provádění pilířů zkušební pole.....	5
2.1.4 Konečná úprava zkušební pole.....	6
2.2 Kontrola kvality pilířů zkušební pole.....	6
2.2.1 Pozice pilíře.....	7
2.2.2 Kamenivo pilíře.....	7
2.2.3 Délka pilíře.....	8
2.2.4 Průměr pilíře.....	8
2.2.5 Kvalita zhutnění pilíře.....	9
2.2.6 Míra zlepšení.....	10
3 Kontrolní zkoušky.....	11
3.1 Pozice pilíře.....	12
3.2 Kamenivo.....	12
3.3 Délka pilíře.....	12
3.4 Průměr pilíře.....	12
3.5 Kvalita zhutnění.....	12
3.6 Míra zlepšení.....	13
4 Přílohy.....	15
Související normy a předpisy.....	31
Seznam publikací, které předcházely metodice.....	31

Termíny a definice

Repenetrace	proces, při kterém se vibrátor začne pohybovat směrem dolů a hutnit kamenivo ležící pod jeho hrotem
Násypka	jednotka množství kameniva, které lze v jedné fázi vsypat do otvoru budoucího pilíře, u předrážených pilířů se častěji používá pojem „bak“
Systémový pilíř Zkušební pole	pilíř, který bude dle projektu plnohodnotnou součástí stavby sada pilířů vytvořených pod dohledem zástupce investora a zhotovitele prací.
Zkušební pilíř	pilíř ležící ve zkušebním poli
Úsek pilíře	u pilířů vibrovaných část pilíře vytvořená při spotřebování jedné násypky kameniva, u pilířů předrážených část pilíře délky jeden metr
Hrubý rastr	soubor pilířů vytvořených v první fázi výstavby pilířů
Jemný rastr	soubor pilířů vytvořených ve druhé fázi provádění pole pilířů, to je pilíře, které byly v první fázi výstavby vynechány

Úvod

Technologie hloubkového zlepšování zemin pomocí štěrkových pilířů (stone columns) je v současné době celosvětově používaná moderní metoda umožňující výstavbu i v méně vhodných lokalitách, kde bylo zastiženo málo únosné podloží dosahující i několikametrové mocnosti.

Podstatou celé technologie je realizace štěrkových pilířů prostřednictvím hloubkového vpěchování štěrkového materiálu do málo únosného podloží v předem daném rastru trojúhelníkového nebo čtvercového tvaru. Tuto metodu zlepšování zemin lze použít jak v jemnozrnných, tak i hrubozrnných zeminách a jejími primárními cíli jsou zvýšení únosnosti podloží, redukce sedání, u jemnozrnných zemin urychlení konsolidace podloží a u zemin hrubozrnných zabránění ztekucení podloží.

Ve srovnání s dalšími metodami je jednou z jejích předností použití přírodního hrubozrnného materiálu bez aplikace surovin, které by znehodnocovaly životní prostředí. Z ekonomického hlediska je výhodou této technologie rychlost provádění a možnost okamžité výstavby horní konstrukce. Díky své rychlosti a nižší ceně nahrazuje některé méně šetrné metody např. injektování nebo realizaci pilot. V neposlední řadě je technologie štěrkových pilířů velmi vhodná pro plošnou aplikaci, proto je hojně využívána pro zlepšování základové půdy pod podlahami průmyslových hal či v liniových dopravních stavbách.

Cíl metodiky

Cílem níže popsané metodiky je vnesení jednotných a jasně specifikovaných pravidel do problematiky zkoušení kvality podloží zlepšeného štěrkovými pilíři.

Stávající normativ neuvádí jasná pravidla a kritéria zkoušení kvality podloží zlepšeného štěrkovými pilíři, o které by se mohl při provádění těchto stavebních prací investor, stavební dozor potažmo samotný zhotovitel opřít. Norma, která se tímto tématem alespoň dílčím způsobem zabývá, je ČSN EN 14731 *Hloubkové zhutňování zemin vibrováním*. V 9. kapitole výše zmíněné normy, konkrétně v článku 9.1.1.1, je uveden pouze všeobecný požadavek na vhodný postup kontroly jakosti prací. Přesnější požadavky a doporučení nejsou specifikovány. Tato norma se navíc nezabývá předráženými štěrkovými pilíři.

Kvalita provedených prací tedy zůstává pouze na bázi nejednotného systému kontrolních zkoušek, jejichž typy, počty a především interpretace mohou být tématem diskuze, což může vést k četným sporům mezi investorem a zhotovitelem štěrkových pilířů.

Tento problém řeší níže uvedená metodika zkoušení kvality štěrkových pilířů. Navržena je komplexně s využitelností pro obě technologie provádění, tj. vibrované i předrážené pilíře (technologie Franki).

V rámci metodiky je specifikován soubor polních a laboratorních zkoušek, postup jejich realizace, četnost a interpretace z titulu zhodnocení kvality prováděných prací. Na základě získaných výsledků a postupů uvedených v metodice je taktéž možné ohodnotit míru zlepšení kompozitu štěrkový pilíř - zlepšovaná zemina.

Popis uplatnění certifikované metodiky

Z pohledu účelu je metodika určena jak pro štěrkové pilíře aplikované plošně např. pod vysokými násypy či podlahami výrobních hal, tak i lokálně, kdy jsou štěrkové pilíře provedeny v malé skupině a slouží jako základový prvek např. pod plošnými základy skeletových konstrukcí.

Sestavená metodika jasně definuje kritéria, která je nutné při kontrole kvality ověřit a která by současně měla být specifikována projektantem ve stavební dokumentaci. V případě absence těchto kritérií ve stavební dokumentaci pak poukazuje na způsob jejich dodatečného stanovení.

Níže popsaná metodika bude uplatňována ve fázi projekce jako technická podpora pro projektanta. Na jejím základě bude možné sestavit jednotné nároky na zkoušení podloží zlepšeného štěrkovými pilíři.

Ve fázi realizace stavby bude uplatněna pro potvrzení předpokladů projektu a ověření realizovatelnosti dané technologie v konkrétních geologických podmínkách lokality, což umožní včasné přijetí vhodných opatření. Současně bude sloužit pro jasnou a jednotnou specifikaci zkoušení kvality provedených prací.

Ekonomické aspekty

Nepředpokládají se žádné náklady na zavedení postupů uvedených v metodice.

V metodice jsou používána zařízení, kterými firmy zajišťující polní zkoušky a laboratoře mechaniky zemin již disponují.

Srovnání novosti postupů

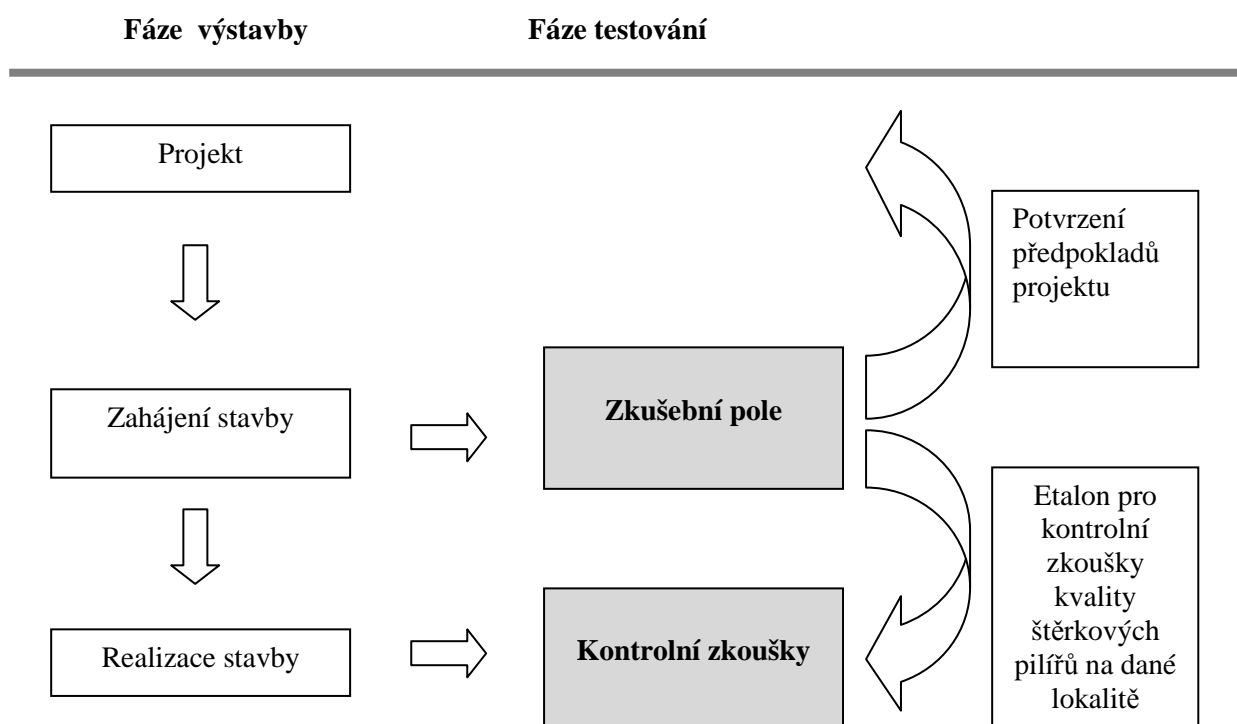
Kontrola kvality štěrkových pilířů je v České republice v současné době řešena pouze v rámci platné normy ČSN EN 14731. Tato evropská prováděcí norma zaměřená na hloubkové zhutňování zemin pomocí vibrací se v 9. kapitole věnuje kontrole provedených prací. Pro štěrkové pilíře v prostředí hrubozrnných zemin uvádí výčet použitelných zkoušek bez přesnějšího postupu, četnosti a vyhodnocení. Přitom v České republice tvoří převážnou část zlepšovaných zemin zeminy jemnozrnné, pro které ovšem ve výše zmíněné normě nejsou doporučení zkoušení uvedena. Tato norma se navíc nezabývá předráženými štěrkovými pilíři.

V tomto směru jde o zcela novou metodiku, která vnáší do problematiky kontroly kvality štěrkových pilířů jasná pravidla. Využívá výsledků známých a lehce dostupných polních a laboratorních zkoušek a záznamů z provádění štěrkových pilířů

1 Popis metodiky

Kontrola kvality šterkových pilířů a stanovení míry zlepšení je založena na dvou základních souborech zkoušek prováděných v různých časových fázích výstavby (obr. 1):

- **Zkušební pole** – testovací fáze v úvodu stavby, kdy bude provedeno zkušební pole šterkových pilířů a soubor zkoušek na této skupině. Výsledky budou sloužit pro potvrzení předpokladů projektu a současně budou použity jako srovnávací při vyhodnocení kontrolních zkoušek v následující fázi výstavby.
- **Kontrolní zkoušky** – budou zhotoveny v předepsané četnosti v průběhu stavebních prací. Jejich výsledky budou sloužit jako potvrzení kvality provedených prací.



Obr. 1: Schéma zkoušení šterkových pilířů

2 Zkušební pole

2.1 Realizace zkušebního pole

Před zahájením stavebních prací bude provedeno přímo na dané lokalitě zkušební pole šterkových pilířů a toto bude odzkoušeno.

Zkušební pole reprezentuje skupina šterkových pilířů, jejichž provedení bude podrobněji prozkoumáno a zaznamenáno. Při jejich zhotovení musí být přítomen stavební dozor investora a odpovědný zástupce zhotovitele prací.

Cílem je získat objektivní údaje o možnostech provedení šterkových pilířů v daném typu podloží, o možnostech jejich zhutnění, případně informovat o nedostacích a komplikacích oproti předpokladům

projektu, které se mohou během provádění vyskytnout. Na základě realizace pilířů zkušební pole je možné již v úvodní fázi stavby přijmout vhodná opatření.

2.1.1 Umístění zkušební pole

Štěrkové pilíře zkušební pole jsou pilíři systémovými, ale není vyloučeno i zkušební pole pilířů nesystémových. V zájmu kvalitní interpretace výsledků získaných při jejich provádění musí být umístění tohoto zkušební pole situováno v blízkosti sondy geologického průzkumu poskytující informaci o skladbě podloží do potřebné hloubky. Maximální vzdálenost geologické sondy od nejbližšího zkušební pilíře nesmí přesáhnout vzdálenost 10 m. V případě nedodržení této podmínky je nutné provést dodatečný geologický vrt, který tuto podmínku splní. Přesné umístění zkušební pole stanoví projektant s preferencí lokality vystihující převládající geologické podmínky staveniště.

2.1.2 Velikost zkušební pole

Aby informace získané z provádění zkušebních štěrkových pilířů byly co nejvíce objektivní, je nutné zajistit, aby podmínky při jejich provádění byly maximálně podobné podmínkám skutečným. Jedná se zejména o zohlednění vzájemného spolupůsobení pilířů. Rozteče pilířů zahrnutých do zkušební pole i harmonogram jejich provádění musí tedy zohledňovat předpoklady dané v projektu.

Počet pilířů zkušební pole v závislosti na rozsahu stavby, účelu štěrkových pilířů a jejich aplikaci, stanoví projektant. Návrh musí ovšem obsahovat minimálně 12 zkušebních pilířů. V případě malých skupin pilířů, např. pod základovými patkami skeletových hal, je za zkušební pole považována jedna z těchto skupin. Pokud nebude projektem zkušební pole přesněji specifikováno, je možné využít doporučené velikosti zkušební pole uvedeného v příloze č. 1.

V případě, že je na lokalitě naplánováno více typů rastrů lišících se at' geometrickým uspořádáním, tak osovou vzdáleností pilířů, musí být pro každý takový rastr provedeno samostatné zkušební pole.

2.1.3 Záznam z provádění pilířů zkušební pole

Při provádění pilířů zkušební pole musí být přítomni stavební dozor (zástupce investora) a zástupce zhotovitele prací. Pod jejich dohledem se provedou pilíře, které splňují kritéria uvedená v kapitole 2.2.5. Záznam z provádění těchto pilířů pak bude sloužit jako vzor při budování pilířů ostatních. Obsah, vzhled a formát záznamu musí být odsouhlasen přítomnými zástupci investora a zhotovitele prací. Protokoly musí být dobře čitelné a přehledné. Vzorový protokol je umístěn v příloze č. 2. Prováděcí protokoly ostatních pilířů musí tento odsouhlasený formát dodržovat.

Výrobní protokol musí obsahovat informace dle Tab. 1.

Tab. 1 Přehled požadovaných informací ve výrobním protokolu pilíře

Vibrované pilíře	Předrážené pilíře
Staveniště	Staveniště
Zákazník	Zákazník
Obsluha stroje	Obsluha stroje
Zhotovitel	Zhotovitel
Číslo pilíře	Číslo pilíře
Celková délka pilíře	Celková délka pilíře
Datum a celkový čas realizace pilíře	Datum a celkový čas realizace pilíře
Celková spotřeba kameniva	Celková spotřeba kameniva
Záznam spotřeby kameniva v čase	Záznam spotřeby kameniva na 1 m délky pilíře
Hmotnost a objem jedné násypky	Hmotnost a objem jedné násypky
Kontinuální záznam hloubky hrotu vibrátoru v čase	Průměr pažnice
Kontinuální záznam velikosti el. proudu/hydraulického tlaku po hloubce pilíře	Hmotnost beranu a výška jeho dopadu
Poznámky (neobvyklé události)	Počet dopadu beranu na 1 m délky pilíře při penetraci podloží i hutnění kameniva
–	Energie na posledních 0,25 m penetrace
–	Poznámky (neobvyklé události)

2.1.4 Konečná úprava zkušebního pole

Po zhotovení všech pilířů zkušebního pole je nezbytně nutné toto pole v celé jeho ploše začistit, což bude provedeno odstraněním svrchní vrstvy minimální mocnosti 0,5 m tak, aby bylo možné jasně identifikovat obvod jednotlivých šterkových pilířů zkušebního pole. Při začistění terénu je třeba dbát na maximální eliminaci nakypření hlavy šterkových pilířů. Tato úprava terénu slouží k ověření pozice středu pilířů i jako příprava pro realizaci dalších polních zkoušek blíže popsanych v kapitole 2.2. Pokud nebude úprava hlav systémových pilířů projektem definována, bude po provedení potřebných měření a zkoušek odstraněná 0,5 m vrstva nahrazena drceným kamenivem zhutněným povrchovými vibrátory.

2.2 Kontrola kvality pilířů zkušebního pole

Pro kontrolu kvality pilířů budou ze zkušebního pole vybrány pilíře, na kterých budou provedeny zkoušky a z jejichž prováděcích protokolů budou stanoveny parametry představující vzorový materiál pro pozdější porovnání s pilíři ostatními. Doporučený výběr těchto pilířů je uveden v příloze č. 5. Pokud by projekt předpokládal vytváření pole pilířů ve více fázích, jak blíže popisuje příloha č. 1,

vybrały by se ze zkušebního rastru ty, které byly provedeny v pozdější fázi, to znamená pilíře tzv. jemného rastru.

Kontrola kvality štěrkových pilířů je provedena na základě ověření následujících parametrů:

- pozice pilíře,
- kamenivo pilíře,
- délka pilíře,
- průměr pilíře,
- kvalita zhutnění pilíře,
- míra zlepšení.

2.2.1 Pozice pilíře

Ke stanovení pozice pilířů se využívají geodeticky zaměřené body. S jejich využitím jsou pomocí měřicího pásma určeny středy jednotlivých pilířů. Půdorysná odchylka středů pilířů od pozice předepsané projektem by dle ČSN EN 14731 neměla překročit 150 mm.

2.2.2 Kamenivo pilíře

Před provedením zkušebního pole musí dodavatel kameniva za účelem ověření vhodnosti materiálu dodávaného pro realizaci štěrkových pilířů poskytnout níže uvedené deklarované vlastnosti kameniva:

- čára zrnitosti kameniva,
- odolnost proti drcení.

Tyto vlastnosti musí být po dodání kameniva na stavbu ověřeny vlastními zkouškami a schváleny stavebním dozorem.

Pro stanovení kvality provedených pilířů je ještě nutné určit následující vlastnosti kameniva:

- sypaná objemová hmotnost kameniva ($\rho_{d,syp}$).

Čára zrnitosti kameniva

Zrnitost kameniva použitého pro vytvoření štěrkového pilíře musí vyhovovat několika kritériím. Splnění těchto kritérií umožní jeho kvalitní zhutnění, dostatečnou interakci s okolní zeminou a v případě drenážní funkce i jeho dostatečný průtok. Ke splnění těchto požadavků je nezbytné vycházet ze zrnitosti definované v ČSN EN 14731. Velikost vhodné frakce závisí na použité technologii:

Technologie	Zrnitost [mm]
Horní plnění bez vodního výplachu	40–70
Horní plnění s vodním výplachem	25–70
Dolní plnění bez vodního výplachu	8–50

V kamenivu dodaném na stavbu se mohou vyskytovat i menší zrna, přičemž ovšem musí platit, že obsah jemnozrné frakce nepřesáhne 5 % celkové hmotnosti kameniva. Současně musí být splněna podmínka, že i hmotnost zrn, jejichž velikost je menší než dolní hranice předepsaná v ČSN EN 14731, nesmí přesáhnout 25 % celkové hmotnosti kameniva. Tak například při použití technologie s dolním

plněním bez vodního výplachu může být max. 25 % hmotnosti kameniva zastoupeno zrný o velikosti menší než 8 mm.

Odolnost proti drčení

Kamenivo použité k vytvoření šterkového pilíře musí vykazovat dostatečnou pevnost, aby bylo schopné odolávat nadměrnému drčení zrn v průběhu jeho formování. Tento jev, který vzniká při zhutňování pilíře, způsobuje změnu křivky zrnitosti, čímž ovlivňuje i předpokládané chování pilíře. Při nadměrném drčení zrn dochází zejména ke snižování koeficientu filtrace pilíře a k redukci úhlu vnitřního tření. Z tohoto důvodu musí být odolnost kameniva proti drčení zaručena zkouškou Los Angeles, přičemž nesmí být překročena hodnota LA_{40} (ČSN EN 1097-2).

Sypná objemová hmotnost kameniva

Pro zvolený typ kameniva bude dle ČSN EN 1097-3 stanovena jeho sypná objemová hmotnost.

2.2.3 Délka pilíře

Délka pilíře je předepsána projektem, ale vzhledem k možné hloubkové variabilitě únosného podloží na lokalitě se může skutečná délka od projektované lišit, pokud bude dodržen předpoklad ukončení pilíře ve vrstvě obdobné únosnosti. Pro zohlednění této variability je nutné definovat kritérium únosnosti na patě, které vyplývá z realizace zkušebních pilířů, případně je definováno projektantem.

V případě, že projektant pro zeminu, jejíž únosnost pokládá za dostatečnou, předepíše u vibrovaných pilířů velikost elektrického proudu nebo hydraulického tlaku, resp. u pilířů předrážených počet dopadů beranu potřebný k zaražení výpažnice o délku 0,25 m, lze tyto hodnoty považovat za kritérium dosažení únosného podloží. Jestliže kritérium únosnosti na patě není projektem předepsáno, definuje projektant hloubku únosného podloží ve zkušebním poli na základě znalosti geologického profilu odvozeného z nejbližšího geologického vrtu. Při provádění pilířů zkušebního pole lze při propenetrování této únosné vrstvy zjistit velikost elektrického proudu, hydraulického tlaku, respektive počet dopadů beranu potřebných k zaražení výpažnice o délku 0,25 m, čímž bude kritérium délky pro danou lokalitu specifikováno. Dosažení těchto hodnot při provádění ostatních pilířů zajišťuje, že pilíř bude ukončen ve vrstvě s projektem požadovanou únosností.

2.2.4 Průměr pilíře

Průměr pilíře je dán projektem. Jeho skutečná velikost se však po délce mění, a to v závislosti na odporu okolního prostředí. Pro vystižení změny průměru po délce bude pilíř rozdělen na úseky a průměr počítán pro každý z těchto úseků zvlášť.

Vibrované pilíře

Při použití vibrační technologie odpovídá úsek, pro který bude průměr počítán, délce pilíře, na jehož provedení byla spotřebována jedna násypka kameniva. Tuto informaci lze získat z pracovního protokolu pilíře. Ze znalosti objemu jedné násypky kameniva, sypné objemové hmotnosti kameniva, objemové hmotnosti zhutněného pilíře a délky daného úseku lze dopočítat jeho průměr. Tento postup se aplikuje pro všechny úseky pilíře. Výpočet průměru jednotlivých úseků je obsažen v příloze č. 3.

Objem jedné násypky lze odečíst z výrobního protokolu. Sypnou objemovou hmotnost kameniva je třeba stanovit laboratorně. Tato charakteristika je zkouškou dokladována již v rámci kontroly kameniva v kapitole 2.2.2. Těchto výsledků lze použít i pro stanovení průměru pilíře. Objemovou

hmotnost zhutněného štěrkového pilíře lze zjistit použitím membránového objemoměru, respektive jamkovou metodou (ČSN 72 1010). Stanovení objemové hmotnosti zhutněného štěrkového pilíře bude provedeno po začištění zkušebního pole, jak je popsáno v kapitole 2.1.4, a po ručním odstranění dalších 10 cm kameniva zkoušeného zhutněného pilíře.

Předrážené pilíře

V případě technologie předrážení mají jednotlivé úseky délku jeden metr. Z prováděcího protokolu lze pro tyto úseky odečíst počet násypky, které byly při jeho formování spotřebovány. Opět ze znalosti objemu jedné násypky, sypné objemové hmotnosti kameniva a objemové hmotnosti zhutněného pilíře lze zjistit průměr tohoto úseku. Tento postup se aplikuje na všechny zbývající úseky pilíře. Výpočet průměru jednotlivých úseků předrážených pilířů je uveden v příloze č. 3.

Objem jedné násypky a počet násypky na jeden metr pilíře lze odečíst z výrobního protokolu. Sypnou objemovou hmotnost kameniva je třeba stanovit laboratorně. Tato charakteristika je zkouškou dokladována již v rámci kontroly kameniva v kapitole 2.2.2. Těchto výsledků lze použít i pro stanovení průměru pilíře. Objemovou hmotnost zhutněného štěrkového pilíře lze zjistit použitím membránového objemoměru, resp. jamkovou metodou (ČSN 72 1010). Stanovení objemové hmotnosti zhutněného štěrkového pilíře bude provedeno po začištění zkušebního pole, jak je popsáno v kapitole 2.1.4, a po ručním odstranění dalších 10 cm kameniva zkoušeného zhutněného pilíře.

Průměr jednotlivých úseků je stanovován minimálně pro tři pilíře zkušebního pole, tedy pro pilíře ve velmi podobné geologii. K redukci případných odchylek a nepřesností, které by se mohly u samostatných pilířů vyskytovat, bude výsledná hodnota průměru pilíře daného úseku stanovena zprůměrováním hodnot zjištěných na těchto třech pilířích. Výsledný průměr pilíře každého úseku se nesmí lišit o více jak 20 % od hodnot definovaných projektem.

2.2.5 Kvalita zhutnění pilíře

Vibrované pilíře

Kvalita zhutnění vibrovaných pilířů je podmíněna dobou setrvání vibrátoru v dané hloubkové úrovni a množstvím energie, kterou vibrátor zhuťovanému materiálu předá. Tato podmínka by měla být definována projektantem předepsáním velikosti elektrického proudu nebo hydraulického tlaku, kterého musí být při hutnění pilíře dosaženo. Pokud taková podmínka není v projektu definována, nahrazuje ji tzv. časové kritérium, které udává minimální dobu nutnou pro vytvoření kvalitně zhutněného úseku pilíře o délce jednoho metru. Doba realizace tohoto úseku nesmí klesnout pod 90 s. Současně musí být vždy splněna podmínka, že během vytváření tohoto úseku o délce 1 m budou provedeny minimálně tři repenetrace, které zajistí dostatečné zhutnění pilíře. Kontrola těchto dvou kritérií je možná na základě výrobního protokolu pilíře, kde je možné obě tyto informace odečíst.

Předrážené pilíře

V případě technologie předrážených pilířů je kvalita zhutnění zaručena splněním kritéria minimálního počtu dopadů beranu na jednu násypku kameniva. Pokud hrozí, že kamenivo bude z pažnice vytlučeno dříve než po 5 dopadech beranu, zdvih výpažnice se zastaví a do této úrovně musí být vsypána další násypka kameniva. Pokud ani poté není kritéria minimálního počtu dopadů dosaženo, musí být přehodnoceno stanovisko o vhodnosti technologie štěrkových pilířů.

S výjimkou případu nesplnění kritéria minimálního počtu dopadů beranu na jednu násypku měla by být výpažnice povytahována pokud možno plynule s maximálním zdvihem v jednom kroku

nepřevyšujícím 30 cm. Nikdy ovšem nesmí dojít k úplnému vyprázdnění výpažnice. Během vyrážení kameniva z výpažnice a jeho hutnění je výška pádu beranu výrazně menší než ve fázi zapenetrování výpažnice. Tato výška při hutnění kameniva ovšem nesmí nikdy klesnout pod 1,5 m.

Kontrolu minimálního počtu dopadů beranu a výšku pádu beranu při hutnění je možné odečíst, a tedy i zkontrolovat na základě informací uvedených ve výrobním protokolu. Kontrolu výšky maximálního zdvihu výpažnice v jednom kroku je možné provést pouze v průběhu realizace pilíře.

Součástí kontroly kvality zhutnění obou typů štěrkových pilířů je realizace těžké dynamické penetrační zkoušky u minimálně tří pilířů zkušebního pole, na jejichž základě bude vykreslen průběh parametru N_{10} vyjadřujícího počet úderů potřebných k 10 cm penetraci podloží. Pro další vyhodnocení budou vzhledem k nízkému odporu okolní zeminy použity pouze hodnoty N_{10} získané z hloubky větší nežli 0,5 m pod terénem. Z údajů každého testovaného pilíře bude stanovena průměrná hodnota \bar{N}_{10} a směrodatná odchylka. Pokud hodnota průměru \bar{N}_{10} ponížená o směrodatnou odchylku bude větší než nebo rovno hodnotě 2, lze kvalitu zhutnění štěrkového pilíře považovat za vyhovující. Pokud bude tato hodnota menší než 2, ale minimální N_{10} pilíře bude větší než hodnota 3, lze opět považovat kvalitu zhutnění štěrkového pilíře za vyhovující. V ostatních případech je kvalita zhutnění štěrkového pilíře nevyhovující.

2.2.6 Míra zlepšení

Zlepšování jemnozrnných zemin

Principem zlepšení jemnozrnného podloží pomocí štěrkových pilířů není změna geotechnických parametrů zlepšované zeminy, ale vytvoření kompozitu štěrkový pilíř - zlepšovaná zemina, jehož geotechnické parametry jakožto celku dosahují i několikanásobek hodnot původní zeminy nezlepšené.

Míra zlepšení jemnozrnné základové půdy štěrkovými pilíři je dána poměrem deformačního modulu kompozitu štěrkový pilíř - zlepšovaná zemina $E_{\text{def,sc}}$ a deformačního modulu původní základové půdy před zlepšením.

Deformační modul kompozitu štěrkový pilíř - zlepšovaná zemina bude stanoven na základě znalosti deformačního modulu po hloubce štěrkového pilíře, deformačního modulu zlepšované zeminy až do úrovně paty štěrkových pilířů a znalosti půdorysné plochy pilíře a plochy zlepšované zeminy odpovídající jednomu pilíři.

Půdorysná plocha pilíře a plocha zlepšované zeminy je dána průměrem pilíře a typem rastru. Tyto parametry udává projekt. Deformační modul zlepšované zeminy je jedním ze základních vstupních charakteristik pro návrh štěrkových pilířů, proto musí být stanoven a znám již ve fázi projekčních prací. Nicméně projektant může vyžadovat jeho ověření v rámci zkušebního pole. Pokud bude jeho ověření požadováno, je nutné toto provést ještě před zhotovením štěrkových pilířů. Za tímto účelem je možné použít v případě jemnozrnných zemin statickou penetrační zkoušku nebo presiometrickou zkoušku. Deformační modul po hloubce štěrkového pilíře bude stanoven pomocí dynamické penetrační zkoušky pilířem a statické zatěžovací zkoušky kruhovou deskou o ploše 0,2 m² v úrovni začištěné hlavy pilíře. Na upraveném štěrkovém pilíři bude nejprve provedena statická zatěžovací zkouška kruhovou deskou (postupem dle ČSN 721006 příloha A) a následně bude provedena dřikem stejného pilíře těžká dynamická penetrace. Tento postup bude aplikován celkem na tři pilíře zkušebního pole. Stanovení deformačního modulu kompozitu štěrkový pilíř - zlepšovaná zemina $E_{\text{def,sc}}$ je popsáno v příloze č. 6.

Zlepšování hrubozrnných zemin

Principem zlepšení podloží, tvořeného hrubozrnnými zeminami, pomocí šterkových pilířů je změna geotechnických parametrů zlepšované zeminy vlivem dohutnění. V tomto případě lze dle ČSN EN 14731 pro zhodnocení účinnosti vibrovaných šterkových pilířů u hrubozrnných zemin použít zkoušky uvedené v článku 9.2.2 výše zmíněné normy. Mezi doporučené zkoušky patří statická penetrační zkouška (ČSN EN ISO 22476-1).

Postup ověření míry zlepšení šterkovými pilíři spočívá v provedení statické penetrace před zhotovením pilířů a po jejich zhotovení. Míra zlepšení stanovená měřením in-situ prostřednictvím statické penetrační zkoušky je vyjádřena poměrem mezi dosaženým měrným penetračním odporem před ($q_{c,před}$) a po ($q_{c,po}$) a udává míru zlepšení v dané hloubkové úrovni. Poměr měrných penetračních odporů se porovná s mírou zlepšení předpokládanou projektem.

Nejdříve se provede v místě zkušebního pole statická penetrační zkouška před zhotovením pilířů. Po zhotovení šterkových pilířů se provedou statické penetrace mezi pilíři. Doporučené pozice penetračních vpichů po instalaci šterkových pilířů je v těžišti rastrové jednotky pilířů (tj. v těžišti trojúhelníka nebo v těžišti obdélníka). Minimální četnost penetračních vpichů před, respektive po instalaci šterkových pilířů je tři. Ze všech tří měření se stanoví průměrný měrný penetrační odpor $q_{c,prům,před}$, respektive $q_{c,prům,po}$ po hloubce. Poměr průměrných měrných odporů in-situ se porovná s poměrem zlepšení stanoveným teoreticky v návrhu projektu.

V případě písčitých a šterkovitých zemin s obsahem jemnozrnné frakce se doporučuje použít statickou penetrační zkoušku s měřením pórového tlaku (CPTU). Toto doporučení vychází z faktu, že přítomnost jemnozrnné frakce způsobuje v plně nasyceném prostředí zvýšené pórové tlaky, které se projeví na měrném penetračním odporu.

Alternativně lze použít k ověření míry zlepšení podloží šterkovými pilíři dilatometrickou zkoušku (ČSN CEN ISO/TS 22476-11 (721004)), presiometrickou zkoušku (ČSN EN ISO 22476-4 (721004)) či standardní penetrační zkoušku (ČSN EN ISO 22476-3 (721004)). Pro jejich použití pro stanovení míry zlepšení šterkovými pilíři platí stejné zásady jako pro statickou penetrační zkoušku.

Přehled všech zkoušek prováděných na testovacím poli je uveden v příloze č. 4 a doporučená poloha polních zkoušek v příloze č. 5.

3 Kontrolní zkoušky

V průběhu výstavby budou provedeny kontrolní zkoušky, které slouží pro ověření kvality vytvořených pilířů, a to na základě kritérií daných projektem a podložených výstupy ze zkušebního pole. Jejich typ a četnost jsou uvedeny v Tab. 2.

Polní zkoušky prováděné za účelem kontroly průměru pilíře, kvality zhutnění a míry zlepšení je nutné provádět na začistěných pilířích dle stejného postupu jako v případě zkušebního pole v kapitole 2.1.4.

Vzhledem k obdobné četnosti je možné více typů kontrolních zkoušek provést na stejném souboru vybraných pilířů s výjimkou kontroly průměru pilíře (konkrétně stanovení objemové hmotnosti pilíře) a míry zhutnění (konkrétně dynamické penetrační zkoušky pilířem). Naopak je vhodné vzhledem ke stejným požadovaným polním zkouškám provést kontrolu míry zlepšení a kontrolu kvality zhutnění na stejných pilířích.

3.1 Pozice pilíře

Pozice pilíře musí splňovat požadavky dané v kapitole 2.2.1.

Postup: na náhodně vybrané skupině třech pilířů se provede kontrola pozice pilířů v rastru. Měřená hodnota bude porovnána s předpoklady projektu. Půdorysná odchylka středů pilířů od pozice předepsané projektem by dle ČSN EN 14731 neměla překročit 150 mm.

3.2 Kamenivo

V průběhu stavby bude provedena kontrola kvality dodávaného kameniva zahrnující stanovení křivky zrnitosti a odolnosti proti drcení, které by měly splňovat kritéria dle definice v kapitole 2.2.2. V případě změny typu kameniva je nutné opětovné posouzení jeho vhodnosti nad rámec požadované četnosti.

3.3 Délka pilíře

Skutečná délka pilíře, uvedená ve výrobním protokolu, vyplývá z kritéria únosnosti na patě ve smyslu kapitoly 2.2.3, jehož dosažení musí být u každého pilíře splněno. Současně musí tato délka odpovídat rozmezí stanovenému projektem a aktualizovanému na základě zkušebního pole.

Postup: stavební dozor náhodně vybere skupinu tří pilířů a na základě informací z jejich prováděcích protokolů bude provedena kontrola délky pilíře a dosažení kritéria únosnosti na patě.

3.4 Průměr pilíře

V průběhu stavby bude v četnosti uvedené v Tab. 2, avšak minimálně na třech pilířích, provedena kontrola průměru pilíře. Průměr pilíře na jednotlivých úsecích se nesmí lišit o více jak 20 % od průměru předpokládaného projektem. Jejich výpočet obsahuje příloha č. 3.

Postup: stavební dozor vybere náhodně skupinu tří pilířů. Použitím membránového objemoměru, respektive jamkové metody (ČSN 72 1010) bude stanovena jejich zhutněná objemová hmotnost. Ošetření úrovně, ze které bude stanovování objemové hmotnosti zhutněného pilíře prováděno, je blíže popsáno v kapitole 2.2.4.

Při použití vibrační technologie lze celkovou délku pilíře rozdělit na úseky, při jejichž provádění byla spotřebována právě jedna násypka kameniva. Délku jednotlivých úseků lze stanovit z prováděcího protokolu pilíře. Ze znalosti objemu kameniva v daném úseku, objemové hmotnosti zhutněného pilíře a délky tohoto úseku lze usuzovat na jeho průměr.

V případě použití metody předrážení bude celková délka pilíře rozdělena na úseky o délce 1 m. Pro každý z těchto úseků bude z prováděcího protokolu znám počet násypek spotřebovaných při jeho provádění a spolu se znalostí objemové hmotnosti zhutněného pilíře lze opět dopočítat průměr jednotlivých metrových úseků.

Výpočet průměru pilíře je uveden v příloze č. 3. Průměr žádného z úseků se nesmí lišit o více než 20 % od průměru daného projektem.

3.5 Kvalita zhutnění

Kontrola kvality zhutnění bude provedena minimálně u jedné náhodně vybrané skupiny tří pilířů. K ověření jejich kvality musí být splněna kritéria, která se pro různé technologie provádění liší.

U pilířů vibrovaných se jedná o časové kritérium, kritérium minimálního elektrického proudu, respektive hydraulického tlaku a kritérium minimálního počtu repenetrací.

U pilířů předrážených o kritérium minimálního počtu dopadů beranu na jednu násypku kameniva a kritérium minimální výšky pádu beranu při hutnění pilíře. Konkrétní hodnoty těchto kritérií jsou uvedeny v kapitole 2.2.5.

Bez ohledu na technologii provádění musí být na vybraných pilířích provedeny i těžké dynamické penetrace. Jejich výsledky reprezentované průměrnou hodnotou parametru \bar{N}_{10} a směrodatnou odchylkou budou vyhodnoceny dle kritérií uvedených v kapitole 2.2.5.

Postup: stavební dozor vybere náhodně skupinu tří pilířů. Pokud v projektu nejsou uvedena kritéria pro hutnění, je u pilířů vibrovaných nutné zkontrolovat dobu, po kterou vibrátor hutnil jednotlivé metrové úrovně a počet repenetrací provedených na metr délky. Tyto údaje lze zjistit z prováděcího protokolu jednotlivých pilířů. Pokud projektant hutnicí kritérium ve formě minimálního elektrického proudu, respektive hydraulického tlaku při hutnění pilířů předepsal, nahrazuje toto kritérium časové. Informace o dosažení těchto minimálních hodnot elektrického proudu, respektive hydraulického tlaku lze opět najít v prováděcích protokolech.

V případě pilířů předrážených je posuzován počet dopadů beranu spotřebovaných na hutnění jedné násypky kameniva. Tento údaj lze opět zjistit z prováděcích protokolů, které obsahují počet dopadů beranu a počet násypek spotřebovaných na jeden metr délky pilíře.

3.6 Míra zlepšení

Ověření předpokládané míry zlepšení bude provedeno minimálně u jedné náhodně vybrané skupiny tří pilířů. Postup ověření míry zlepšení se liší v závislosti na typu zlepšovaného podloží a je popsán v kapitole 2.2.6. Stanovená míra zlepšení nesmí být menší o více jak 20 %, jinak je nutné o této skutečnosti informovat projektanta a zohlednit menší míru zlepšení v projektu.

Postup: stavební dozor vybere náhodně skupinu tří pilířů. V případě jemnozrnného podloží budou provedeny tři statické zatěžovací zkoušky kruhovou deskou a tři dynamické penetrační zkoušky a na základě výpočtu uvedeného v příloze č. 6 bude stanoven deformační modul kompozitu štěrkový pilíř - zlepšovaná zemina. Míra zlepšení je pak dána poměrem deformačních modulů kompozitu a deformačního modulu původní zlepšované zeminy. V případě hrubozrnného podloží je možné použít stanovení míry zlepšení na základě realizace tří statických penetračních zkoušek provedených mezi vybranými pilíři a porovnání se statickými penetračními zkouškami zhotovenými před zahájením realizace štěrkových pilířů.

Tab. 2: Přehled kontrolních zkoušek a jejich četností

Kontrolní parametry	Četnost
Křivka zrnitosti kameniva	1x každých 500 m ³ kameniva – min. 1x na lokalitě
Odolnost proti drcení	1x každých 1000 m ³ kameniva – min. 1x na lokalitě
Sypná objemová hmotnost kameniva	1x každých 1000 m ³ kameniva - min.1x na lokalitě
Pozice pilíře	1x (skupina tří pilířů) každých 1000 m pilířů – min. 1x na lokalitě
Délka pilíře	1x každých 500 m pilířů
Průměr pilíře – Objemová hmotnost ztuhlého kameniva – Spotřeba kameniva	1x (skupina tří pilířů) každých 1000 m pilířů – min. 1x na lokalitě
Kvalita ztuhnutí pilíře <ul style="list-style-type: none"> • <i>vibrované</i> <ul style="list-style-type: none"> – Čas realizace pilíře – Velikost elektrického proudu/ hydraulického tlaku – Počet repenetrací – dynamická penetrace – parametr \bar{N}_{10} • <i>předrážené</i> <ul style="list-style-type: none"> – Počet dopadů beranu na jednu násypku kameniva – výška pádu beranu při hutnění – Těžká dynamická penetrace – parametr \bar{N}_{10} 	1x (skupina tří pilířů) každých 1000 m pilířů – min. 1x na lokalitě
Míra zlepšení <ul style="list-style-type: none"> • <i>jemnozrné zeminy</i> <ul style="list-style-type: none"> – Statická zatěžovací zkouška kruhovou deskou E_{def1} – Těžká dynamická penetrace • <i>hrubozrné zeminy</i> <ul style="list-style-type: none"> – Statická penetrace 	1x (skupina tří pilířů) každých 1000 m pilířů – min. 1x na lokalitě

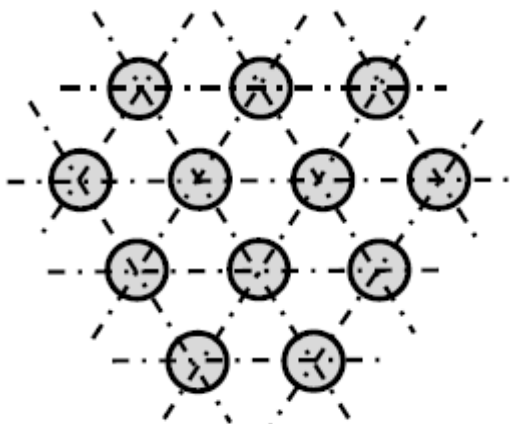
4 Přílohy

Příloha 1 (informativní)

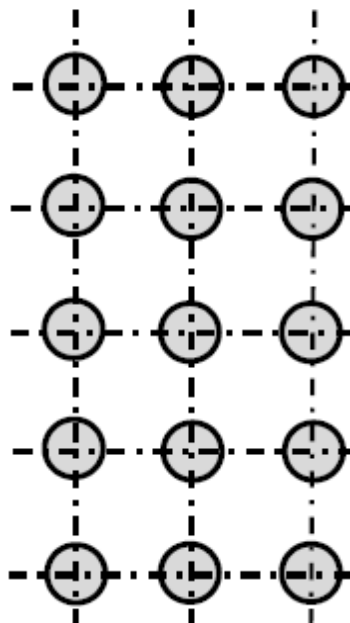
Velikost zkušebního pole – plošná aplikace štěrkových pilířů

U rastru trojúhelníkového se množství pilířů v řadě střídá dle vzorce 3-4-3-2. U rastru čtvercového je množství pilířů v každé řadě dáno vzorcem 3-3-3-3-3.

TROJÚHELNÍKOVÝ RASTR

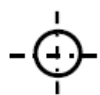
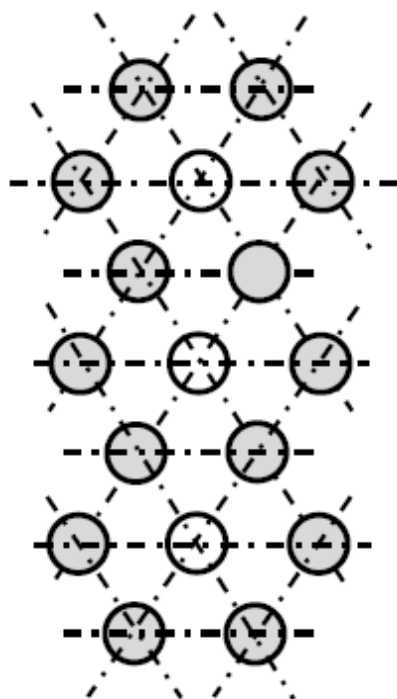


ČTVERCOVÝ RASTR



Předešlý vzor se doporučuje v případě, že rastr pilířů bude proveden v jediném sledu (jedné fázi). V některých případech jsou ovšem v prvním sledu mezilehlé pilíře vynechány, to znamená je vytvořen pouze tzv. hrubý rastr. Teprve po částečné disipaci pórových tlaků jsou dodatečně dodělány pilíře zbývající – tzv. jemný rastr. Způsob rozdělení pilířů na hrubý a jemný rastr může být značně rozmanitý. Pro trojúhelníkové uspořádání pilířů je hrubý rastr dán vzorcem 2-2-2-2-2-2-2 (pilíře tmavé), přičemž pilíře zastupující jemný rastr (pilíře světlé) jsou provedeny až dodatečně následující den. V případě čtvercového uspořádání je hrubý rastr dán vzorcem 1-2-1-2-1-2-1. Pilíře jemného rastru budou opět provedeny až následující den.

TROJÚHELNÍKOVÝ RASTR

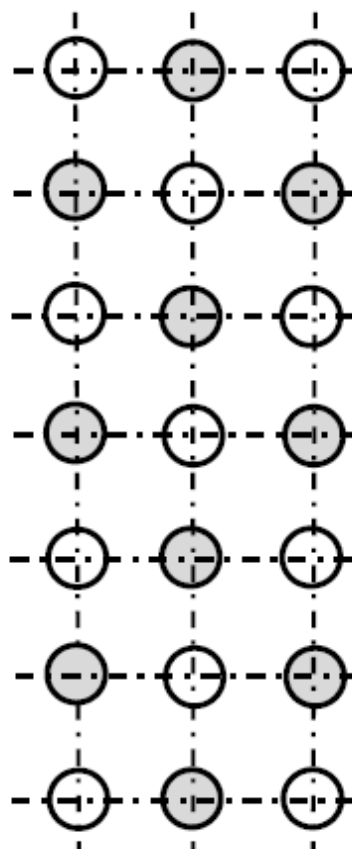


Jemný rastr



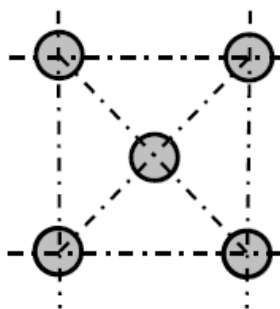
Hrubý rastr

ČTVERCOVÝ RASTR



Velikost zkušební pole – aplikace pilířů v malé skupině pod základy

V případě, že pilíře budou na staveništi rozděleny do skupin o malém počtu (např. skupiny pilířů pod základovými patkami), bude zkušební pole reprezentováno jednou z těchto početně omezených skupin. Uspořádání pilířů pod malými základy není přesně definováno a vybraný vzor definuje projektant. Jedna z možných variant je zobrazena níže. Pilíře musí být prováděny v pořadí, které předpokládá projekt.



Příloha 2

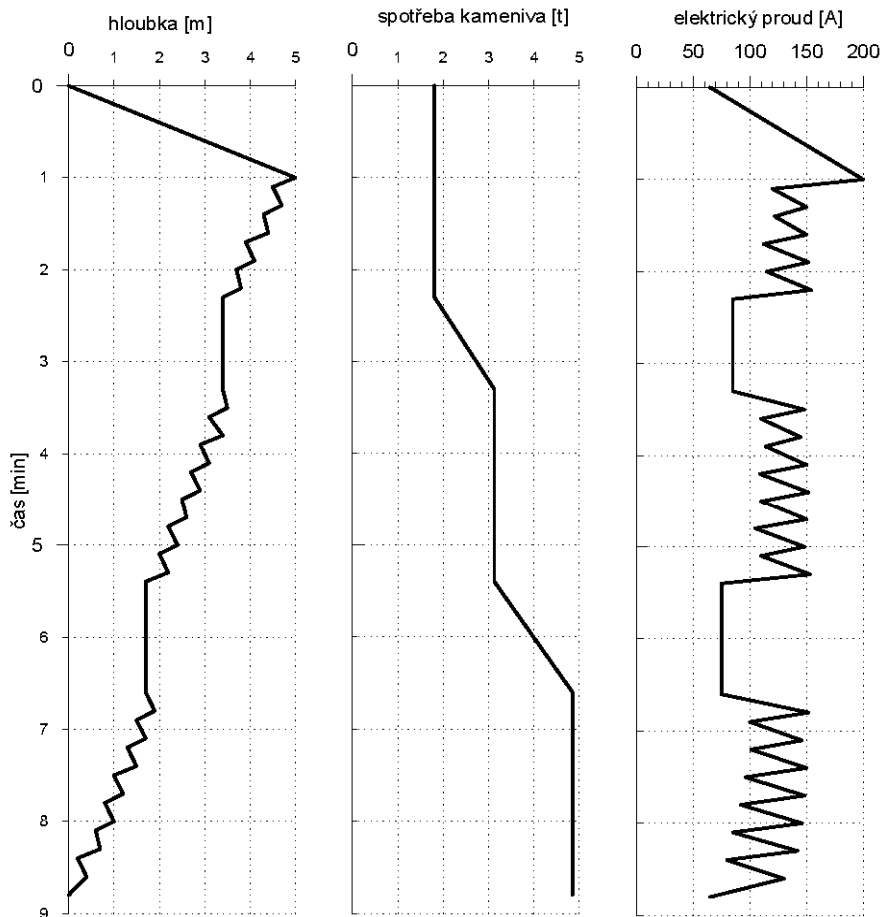
Výrobní protokol vibrovaných štěrkových pilířů

Datum provádění: 19. říjen 2014
Staveniště:
Zákazník:

Obsluha stroje: Novák Jan

Číslo pilíře:	01	Hmotnost násypky:
Délka pilíře:	5 m	Objem násypky:
Začátek provádění:	11h 35min 25s	Průměr vibrátoru:
Celkový čas provádění:	8min 50s	

Spotřeba kameniva:	
Celková hmotnost	4,85 t
Nezhutněný objem	3,22 m ³



Z prováděcího protokolu lze usuzovat na kvalitu vytvořeného vibrovaného-pilíře:

a) opření paty o únosné podloží

V případě, jsou-li projektovány pilíře s patou opřenou o únosné podloží, lze z hodnoty elektrického proudu dosaženého při zapenetrování vibrátoru vyvodit, zda bylo tohoto únosného podloží skutečně dosaženo. Hodnota elektrického proudu u hrotu vibrátoru musí totiž dosáhnout hodnoty předepsané projektantem nebo hodnoty získané při provádění zkušebních pilířů. U vzorového protokolu je tato hodnota 200 A.

b) dostatečná kvalita zhutnění při provádění pilíře

Během vytváření pilíře musí být dosaženo určité hodnoty elektrického proudu, která zajistí, že pilíř bude dostatečně zhutněný. Tato hodnota je předepsána projektantem a její dodržení lze ověřit z průběhu elektrického proudu po délce pilíře. Ve vzorovém protokolu má předepsaná hodnota elektrického proudu při provádění pilíře velikost 150 A.

Kvalita zhutnění pilíře je také podmíněna počtem repenetrací provedených na metr délky. Tento počet, který lze lehce odečíst ze závislosti hloubky hrotu vibrátoru na čase, musí být minimálně 3. Ze vzorového protokolu vyplývá, postupujeme-li od paty pilíře směrem nahoru, že počet repenetrací na metr délky dosahoval postupně hodnot 3, 4, 4, 4 a 3. Z průběhu také vyplývá, že povytažení vibrátoru nepřesáhlo nikdy hodnotu 0,5 m, což zajišťuje kontinuitu pilíře.

c) stanovení průměru pilíře

Výstupní protokol o provádění pilíře obsahuje i průběh spotřeby kameniva. Tento průběh není kontinuální, ale obsahuje pouze informaci, v jakém čase bylo spotřebováno kamenivo, jehož objem odpovídá jedné násypce. Po převedení časového údaje na hloubku, ve které se vibrátor v té době nacházel, můžeme zjistit, jaká část pilíře byla po spotřebování 1 násypky vytvořena. Ze znalosti objemové hmotnosti zhutněného kameniva lze pomocí přílohy č. 3 stanovit průměr jednotlivých úseků pilíře. Tento průměr se nesmí lišit o více než 20 % od průměru předepsaného projektem. Ze vzorového protokolu například vyplývá, že pilíř začal být formován v čase 1 minuta a 1 násypka kameniva byla spotřebována v čase 2 minuty a 20 sekund. V těchto časech byl hrot vibrátoru v hloubkách 5 m a 3,4 m, tedy délka vytvořeného pilíře byla 1,6 m a spotřebované kamenivo mělo hmotnost 1,81 t. Budeme-li dále předpokládat objemovou hmotnost zhutněného kameniva 1800 kg/m^3 , pak průměr spodní části pilíře je 0,9 m.

Měřítka os grafů, do kterých je zaznamenána změna měřených veličin v čase, musí být každému pilíři přizpůsobeno. To znamená, že plocha, kterou graf zaujímá, by měla být maximálně využita. Například při vykreslování závislosti hloubky hrotu vibrátoru na čase vynesené ve vzorovém protokolu, maximální hodnota na svislé ose definující čas je 9 minut a na ose vodorovné definující hloubku 5 m. Tato volba umožňuje maximální přehlednost záznamu.

Prováděcí protokoly pro pilíře vytvořené hydraulickými vibrátory obsahují stejné informace jako protokoly pilířů vytvořených vibrátory elektrickými, pouze průběh elektrického proudu s časem je nahrazen závislostí hydraulického tlaku na čase.

Výrobní protokol předrážených šterkových pilířů

Datum provádění: 19. říjen 2014

Staveniště:

Zákazník:

Zhotovitel:

Obsluha stroje: Novák Jan

Číslo pilíře: 01
Průměr pažnice: 520 mm
Váha kladiva 1: 3000 kg
Váha kladiva 2: 3800 kg
Výška pádu při penetraci: 9 m
Výška pádu při hutnění: 2 m
Hmotnost 1 násypky kameniva: 135 kg
Sypná objemová hmotnost kameniva: 1350kg/m³
Objem jedné násypky: 0,1 m³
Kritérium únosnosti na patě: 4300 kJ/0,25m

Hloubka [m]	Zapenetrování		Hutnění		
	Počet úderů	Energie [kJ/m]	Počet úderů	Počet baků	Objem spotřebovaného kameniva [m ³]
1,0 – 2,0	8	2400	35	7	0,7
2,0 – 3,0	10	3000	42	7	0,7
3,0 – 4,0	11	3300	35	8	0,8
4,0 – 5,0	7	2100	40	13	1,3
5,0 – 6,0	9	2700	36	11	1,1
6,0 – 7,0	11	3300	35	9	0,9
7,0 – 8,0	13	3900	42	7	0,7
8,0 – 9,0	23	6900	48	7	0,7
9,0 – 10,0	34	10200	58	7	0,7
10,0 – 11,0					
11,0 – 12,0					
12,0 – 13,0					
13,0 – 14,0					
14,0 – 15,0					
Posledních 0,25m	15	4500			

Začátek provádění: 9h 35min 43s

Celkový čas provádění: 20min 39s

Celková délka pilíře: 10 m

Celková spotřeba kameniva: 8,0 m³

Z prováděcího protokolu lze usuzovat na kvalitu vytvořeného předráženého pilíře:

a) opření paty o únosné podloží

Znalost tíhy beranu, výšky dopadů a jejich počtu umožňuje během penetrace zjistit energii potřebnou k zaražení výpažnice o jeden metr. Jsou-li pilíře navrženy jako opřené o únosné podloží, předepisuje projektant kritérium pro dosažení únosné vrstvy. Toto kritérium je definováno minimální velikostí energie spotřebované při penetraci podloží 0,25 m. Pokud není toto kritérium projektantem předepsáno, stanoví se na základě informací získaných při provádění zkušebních pilířů, a to z energie dosažené při propenetrování vrstvy považované, s ohledem na znalost geologického profilu, za únosnou.

Ve vzorovém protokolu je kritérium únosnosti na patě definováno projektantem hodnotou 4300 kJ/0,25 m. Při propenetrování hloubkové úrovně 9–10 m bylo potřeba 34 úderů, přičemž 15 úderů bylo vynaloženo až na posledních 0,25 m. Tomuto počtu úderů odpovídá spotřebovaná energie 4500 kJ, čímž je splněno kritérium únosnosti na patě a tedy dosaženo vrstvy považované za dostatečně únosnou.

b) dostatečná kvalita hutnění při provádění pilíře

Kvalita zhutnění předráženého pilíře je dána minimálním počtem dopadů beranu na zhutnění jedné násypky kameniva (min. 3 dopady) a minimální výškou pádu beranu (min. 1,5 m). Současně musí být splněna podmínka předepisující, že pokud není tohoto počtu dopadů dosaženo, je nutné do stejné úrovně vsypat další násypku. Pokud není dosaženo požadovaného počtu úderů ani poté, je nutné ověřit vhodnost technologie šterkových pilířů pro danou geologii.

Údaje k ověření splnění kritéria minimálního počtu dopadů na jednu násypku lze zjistit z prováděcího protokolu pilíře. Doplníme-li informace o pilíři uvedené v protokolu o objemovou hmotnost zhutněného kameniva získanou z polní zkoušky (předpokládáme 1800 kg/m³), lze dle přílohy 5 odvodit, že v ideálních podmínkách by se na jeden metr pilíře průměru 0,8 m spotřebovalo 7 násypek kameniva. Tato hodnota je splněna v hloubkách, ve kterých klade okolní zemina dostatečný odpor, to znamená, že v nich při hutnění kameniva bylo ihned splněno kritérium minimálního počtu dopadů beranu na jednu násypku kameniva. Ve všech těchto úrovních se hodnota počtu úderů na jednu násypku, potřebná k jejímu vytlačení do podloží, pohybuje v rozmezí 5–7. V ostatních hloubkových úrovních měla okolní zemina menší odpor a kritérium minimálního počtu dopadů nebylo ihned splněno. V těchto případech musela být přisypána další násypka kameniva. Nejkritičtější místo představuje v tomto ohledu hloubková úroveň 4–5 m, při jejímž vytváření bylo přisypáno navíc 6 násypek. Tímto se množství kameniva spotřebovaného na tuto část pilíře téměř zdvojnásobilo. Pokud by se přesto stalo, že by v některé z hutnicích fází při formování této části pilíře bylo potřeba přidat i třetí násypku, bylo by nutné poznámkou v protokolu na tento fakt upozornit.

c) stanovení průměru pilíře

Nejdříve je nutné stanovit počet násypek kameniva, jejichž počet by v ideálních podmínkách umožnil vytvořit průměr odpovídající průměru daného projektem (v našem případě požadujeme průměr 0,8 m). Stanovení počtu těchto násypek n k vytvoření jednoho metru pilíře je následující:

$$n = \frac{\pi d^2 \rho_d}{4V_N \rho_{d,syp}}$$

Objemovou hmotnost ztuhlého kameniva, jejíž stanovení je uvedeno v kapitole 2.2.4, budeme předpokládat hodnotou 1800 kg/m^3 . Po dosazení do vztahu a zaokrouhlení výsledku vyplývá potřeba minimálně 7 násypek na vytvoření metrového úseku pilíře. Tohoto počtu je ve všech hloubkových úrovních dosaženo. Výpočet průměru jednotlivých úseků pilíře o délce jeden metr je uveden v příloze 3. U nejkritičtějšího úseku v hloubkové úrovni 4–5 m vychází průměr pilíře 1,27 m. Odchylka tohoto průměru od původně zamýšlených 0,8 m je větší než 20 % a bylo by nutné ji konzultovat s projektantem.

Příloha 3

Stanovení průměru jednotlivých úseků pilíře

Průměr úseku pilíře d_u^{vib} pro pilíře vibrované se stanoví ze vzorce

$$d_u^{vib} = \sqrt{\frac{4V_N \rho_{d,syp}}{\pi L_u \rho_d}} = \sqrt{\frac{4 m_N}{\pi L_u \rho_d}}$$

kde	V_N	objem jedné násypky
	$\rho_{d,syp}$	sypaná objemová hmotnost kameniva (stanovena laboratorně)
	ρ_d	objemová hmotnost zhutněného kameniva (stanovena membránovým objemoměrem nebo jamkovou metodou dle ČSN EN 72 1010)
	m_N	hmotnost jedné násypky kameniva
	L_u	délka úseku pilíře vytvořeného při spotřebování jedné násypky kameniva (stanoveno z prováděcího protokolu)

Průměr úseku pilíře d_u^{pre} pro pilíře předrážené se stanoví ze vzorce

$$d_u^{pre} = \sqrt{\frac{4V_N n \rho_{d,syp}}{\pi L_u \rho_d}} = \sqrt{\frac{4 m_N n}{\pi L_u \rho_d}}$$

kde	n	počet násypky spotřebovaných na vytvoření 1 m pilíře
	L_u	délka úseku pilíře (u předrážených pilířů $L_u = 1 \text{ m}$)

Příloha 4

Souhrn zkoušek na zkušebním poli – vibrované

Předmět zkoušení		Počet zkoušek/zkušební pole	Poznámka
Zkouška kameniva	Zrnitost kameniva	1x	Laboratorní stanovení křivky zrnitosti (ČSN EN 933-2)
	Odolnost proti drcení	1x	Laboratorní stanovení hodnoty LA (ČSN EN 1097-2)
	Sypná objemová hmotnost kameniva	1x	Laboratorní stanovení sypné objemové hmotnosti kameniva (ČSN EN 1097-3).
Pozice pilíře	vzdálenost pilířů v rastru	3 pilíře	Měření pásmem
Délka pilíře	Stanovení kritéria únosnosti na patě	3 pilíře	Odečet velikosti el. proudu/hydraul. tlaku v patě pilíře z výrobního protokolu
Průměr pilíře	Objemová hmotnost zhutněného kameniva	3 pilíře	Stanovení objemové hmotnosti zemin polní zkouškou (ČSN 72 1010)
	Spotřeba kameniva	3 pilíře	Odečet spotřeby kameniva z výrobního protokolu
	Sypná objemová hmotnost kameniva	1x	Lze použít výsledky zkoušky pro kontrolu kameniva
	Objem jedné násypky	–	Odečet z výrobního protokolu
Kvalita zhutnění pilíře	čas realizace pilíře	3 pilíře	Odečet z výrobního protokolu
	počet repenetrací	3 pilíře	Odečet z výrobního protokolu
	Těžká dynamická penetrace	3 pilíře	Provedení těžké dynamické penetrace pilířem (ČSN EN ISO 22476-2)
Míra zlepšení	Statická zatěžovací zkouška kruhovou deskou	3 pilíře	Provedení zatěžovací zkoušky kruhovou deskou (ČSN 721006 příloha A)
	Těžká dynamická penetrace	3 pilíře	Lze použít výsledky zkoušky pro kontrolu kvality zhutnění

Souhrn zkoušek na zkušebním poli – předrážené

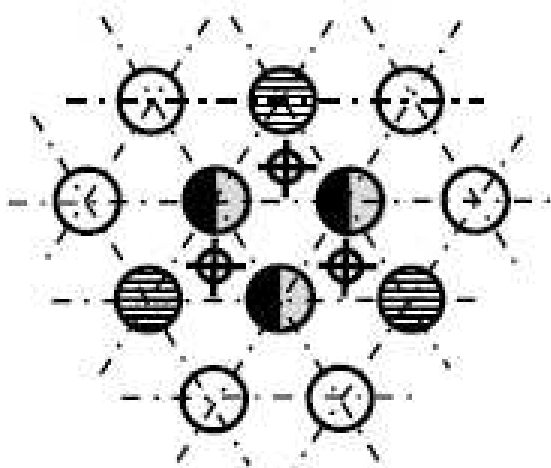
Předmět zkoušení		Počet zkoušek/zkušební pole	Poznámka
Zkouška kameniva	Zrnitost kameniva	1x	Laboratorní stanovení křivky zrnitosti (ČSN EN 933-2)
	Odolnost proti drcení	1x	Laboratorní stanovení hodnoty LA (ČSN EN 1097-2)
	Sypná objemová hmotnost kameniva	1x	Laboratorní stanovení sypné objemové hmotnost kameniva (ČSN EN 1097-3).
Pozice pilíře	vzdálenost pilířů v rastru	3 pilíře	Měření pásmem
Délka pilíře	Stanovení kritéria únosnosti na patě	3 pilíře	Odečet počtu úderů v patě pilíře z výrobního protokolu
Průměr pilíře	Objemová hmotnost zhutněného kameniva	3 pilíře	Stanovení objemové hmotnosti zemin polní zkouškou (ČSN 72 1010)
	Spotřeba kameniva	3 pilíře	Odečet spotřeby kameniva z výrobního protokolu
	Sypná objemová hmotnost kameniva	1x	Lze použít výsledky zkoušky pro kontrolu kameniva
	Objem jedné násypky	-	Odečet z výrobního protokolu
Kvalita zhutnění pilíře	Počet dopadů beranu na jednu násypku	3 pilíře	Odečet z výrobního protokolu
	Těžká dynamická penetrace	3 pilíře	Provedení těžké dynamické penetrace pilířem (ČSN EN ISO 22476-2)
Míra zlepšení	Statická zatěžovací zkouška kruhovou deskou	3 pilíře	Provedení zatěžovací zkoušky kruhovou deskou (ČSN 721006 příloha A)
	Těžká dynamická penetrace	3pilíře	Lze použít výsledky zkoušky pro kontrolu kvality zhutnění

Příloha 5 (informativní)

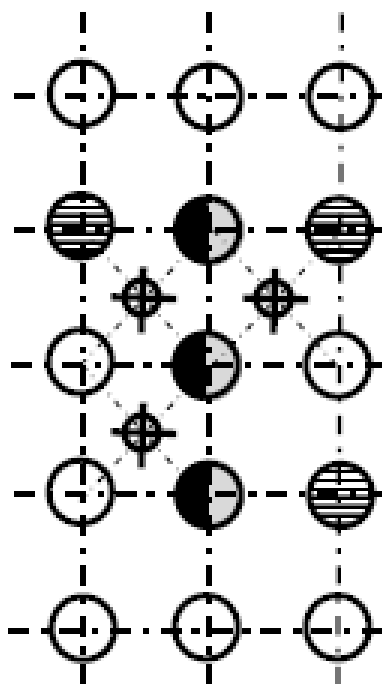
Doporučené rozvržení jednotlivých polních zkoušek ve zkušebním poli

a) plošná aplikace štěrkových pilířů

TROJÚHELNÍKOVÝ RASTR



ČTVERCOVÝ RASTR



Statická zatěžovací zkouška kruhovou deskou + dynamická penetrace dříkem pilře

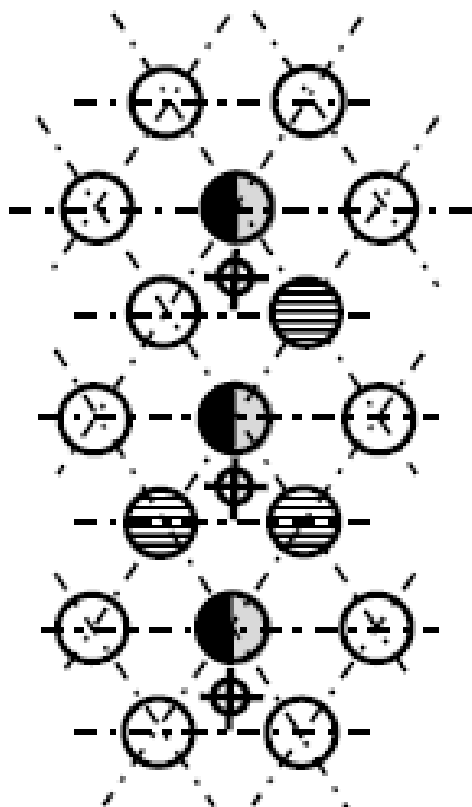


Stanovení objemové hmotnosti zhutněného materiálu pilře

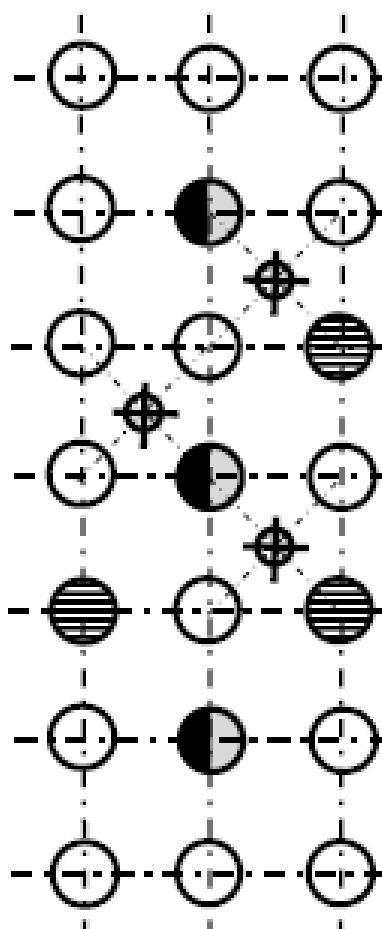





Statická penetrace (stanovení míry zlepšení hrubozrnných zemin)

TROJÚHELNÍKOVÝ RASTR (dvoufázová realizace pilířů)

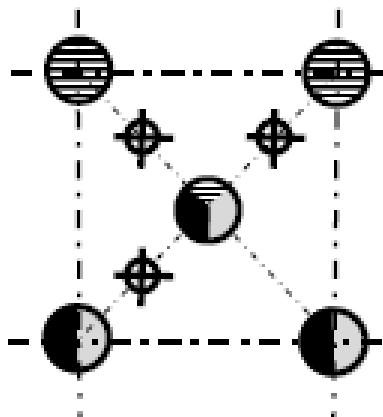


ČTVERCOVÝ RASTR (dvoufázová realizace pilířů)



-  Statická zatěžovací zkouška kruhovou deskou + dynamická penetrace dříkem pilíře
-  Stanovení objemové hmotnosti zhutněného materiálu pilíře
-  Statická penetrace (stanovení míry zlepšení hrubozrnných zemin)

b) aplikace pilířů v malé skupině pod základy



Statická zatěžovací zkouška kruhovou deskou + dynamická penetrace dříkem pilíře + stanovení objemové hmotnosti zhutněného materiálu pilíře



Statická zatěžovací zkouška kruhovou deskou + dynamická penetrace dříkem pilíře



Stanovení objemové hmotnosti zhutněného materiálu pilíře



Statická penetrace (stanovení míry zlepšení hrubozrnných zemin)

Příloha 6

Stanovení deformačního modulu kompozitu štěrkový pilíř - zlepšovaná zemina (náhradní deformační modul zlepšeného podloží)

Míra zlepšení jemnozrnné základové půdy štěrkovými pilíři je dána poměrem deformačního modulu kompozitu štěrkový pilíř - zlepšovaná zemina $E_{def,sc}$ a deformačního modulu původní základové půdy před zlepšením.

Deformační modul kompozitu štěrkový pilíř - zlepšovaná zemina bude stanoven na základě znalosti deformačního modulu po hloubce štěrkového pilíře, deformačního modulu zlepšované zeminy až do úrovně paty štěrkových pilířů a znalosti půdorysné plochy pilíře a plochy zlepšované zeminy odpovídající jednomu pilíři.

Půdorysná plocha pilíře a plocha zlepšované zeminy je dána průměrem pilíře a typem rastru. Tyto parametry udává projekt. Deformační modul zlepšované zeminy je jedním ze základní vstupních charakteristik pro návrh štěrkových pilířů, proto musí být stanoven a znám již ve fázi projekčních prací.

Deformační modul pilíře

Ze statické zatěžovací zkoušky bude vyhodnocen E_{def1} a pro dynamickou penetraci pak průběh N_{10} po celé hloubce zkoušeného pilíře. Pro další vyhodnocení je uvažován hloubkový dosah zatěžovací zkoušky kruhovou deskou 1 m pod terén (platí pro zatěžovací desku o ploše 0,2 m²).

Na základě stanoveného deformačního modulu pro první metr štěrkového pilíře a ze znalosti průměrného počtu úderů $\bar{N}_{10,0}$ z dynamické penetrační zkoušky v odpovídající vrstvě (1,0 m pod terénem), je možné na základě průběhu N_{10} stanovit deformační modul štěrkového pilíře po celé jeho hloubce dle následujícího vztahu:

$$E_{def,i} = \frac{N_{10,i} * E_{def,1}}{\bar{N}_{10,0}}$$

- kde: $E_{def,i}$ deformační modul pro danou hloubkovou úroveň štěrkového pilíře [MPa]
 N_{10i} počet úderů/10 cm těžké dynamické penetrace pro danou hloubkovou úroveň štěrkového pilíře
 $\bar{N}_{10,0}$ průměrný počet úderů/10 cm těžké dynamické penetrace pro svrchní vrstvu pilíře mocnosti 1,0 m (pro zatěžovací desku plochy 0,2 m²)
 E_{def1} deformační modul E_{def1} stanovený statickou zatěžovací deskou v hlavě pilíře [MPa]

Z výsledků všech tří zkoušených pilířů pak bude stanoven průměrný deformační modul pilíře dle vztahu:

$$E_{def,c} = \frac{\sum E_{def,i} * \Sigma l}{\Sigma l}$$

- Kde: $E_{def,i}$ deformační modul pro danou hloubkovou úroveň každého štěrkového pilíře [MPa]

E_{defc} průměrný deformační modul pro 3 zkoušené pilíře [MPa]
 l délka zkoušeného pilíře [m]

Deformační modul kompozitu štěrkový pilíř- zlepšovaná zemina (náhradní deformační modul zlepšeného podloží)

Deformační modul kompozitu lze stanovit na základě následujícího vztahu:

$E_{def,sc} = \frac{E_{def,c} * A_c + E_{def,s} * A_s}{A_c + A_s}$
--

Kde: $E_{def,sc}$ deformační modul kompozitu štěrkový pilíř- zlepšovaná zemina [MPa]

E_{defc} průměrný deformační modul pro 3 zkoušené pilíře [MPa]

A_c plocha štěrkového pilíře [m²]

A_s plocha zlepšované zeminy odpovídající 1 pilíři [m²]; vycházející z průměru pilíře d a osové vzdálenosti pilířů a : trojúhelníkový rastr $A_s = 1,05 * a - \pi * d^2 / 4$
 čtvercový rastr $A_s = 1,13 * a - \pi * d^2 / 4$

Související normy a předpisy

ČSN EN 14731	Provádění speciálních geotechnických prací - Hloubkové zhutňování zemin vibrováním
ČSN EN 933-1	Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti – síťový rozbor
ČSN EN 933-2	Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 2: Stanovení zrnitosti
ČSN EN 1097-2	Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení
ČSN EN 1097-3	Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva
ČSN 72 1010	Stanovení objemové hmotnosti zemin. Laboratorní a polní metody
ČSN EN ISO 22476-2	Geotechnický průzkum a zkoušení – Terénní zkoušky-Část 2: Dynamická penetrační zkouška
ČSN EN ISO 22476-1	(721004), Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky - Část 1: Statická penetrační zkouška s elektrickým snímáním dat a měřením pórového tlaku, UNMZ, 2013, 40 str.
ČSN CEN ISO/TS 22476-11 (721004)	Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky - Část 11: Zkouška s plochým dilatometrem
ČSN EN ISO 22476-3 (721004)	Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky - Část 3: Standardní penetrační zkouška
ČSN EN ISO 22476-4 (721004)	Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky - Část 4: Zkouška presiometrem Ménard

Seznam publikací, které předcházely metodice

Barksdale, R. D., Bachus, R. C. (1983): Design and Construction of Stone Columns. FHWA/RD-83/026. USA.

Fiala, R., Kotačková, A., Míča, L., Zdražil, K., Masopust, J. (2014): Technologie štěrkových pilířů pro praxi (navrhování, provádění, kontrola), CERM Brno p. xxx

Masopust, J. (2007): Zkoušky štěrkových pilířů. Zlepšování vlastností základových půd, Bratislava, str. 232 - 237

Priebe, H. J. (1988): Zur Abschätzung des Setzungsverhaltens eines durch Stopfdichtung verbesserten Baugrundes. Bautechnik. 65(1), p. 23-26.

Priebe, H. J. (1995): Die Bemessung von Rüttelstopfverdichtung . Bautechnik. 72. p. 183-191.

Svoboda, P. (2009): Hloubkové zlepšování zemin v české praxi. CERM. Brno, p. xxx

Štěpánek, P. (1976): Příspěvek ke staticce štěrkopískových pilot. Pozemní stavby. 3. p. 132-136.