

UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Adéla Brožová

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Problematika sanace podloží pod násypy liniových staveb pomocí štěrkových
pilířů

Bakalářská práce

2020

Adéla Brožová

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Adéla Brožová**
Osobní číslo: **D15206**
Studijní program: **B3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní stavitelství**
Téma práce: **Problematika sanace podloží pod násypy liniových staveb pomocí štěrkových pilířů**
Zadávající katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

Zásady pro vypracování

Sanace podloží a možnosti technického řešení
Štěrkové pilíře, základní předpoklady a možnosti použití
Návrh řešení a provádění štěrkových pilířů
Popis širších vztahů, vymezení lokality,
Zhodnocení problematiky zakládání v dané lokalitě
IG průzkum v místě realizace
Kontrola sanace pomocí statické penetrační zkoušky
Kontrola sanace pomocí dynamické penetrační zkoušky
Naměřená a vyhodnocená data
Diskuse a zhodnocení naměřených dat
Závěr a doporučení pro praxi

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Mechanika zemin, Vaníček, Ivan, vydavatelství ČVUT, 1996
Mechanika zemín a zakladanie stavieb, Turček, Peter, Slovenská technická univerzita, 1993
Polné skúšky zemín, Matys, Mirko, Bratislava : Alfa, 1990
Soil behaviour and critical state soil mechanics, Wood, David Muir, Cambridge : Cambridge University Press, 1990
An introduction to the mechanics of soils and foundations, Atkinson, J. H., London : McGraw-Hill, 1993
ČSN 73 6133, Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací.
EC 7 Navrhování geotechnických konstrukcí, část 1 a 2.
ČSN EN 73 1078 Provádění speciálních geotechnických prací – Hlubkové zhutňování zemin
ČSN EN 73 10 75 Provádění speciálních geotechnických prací – Hlubkové zlepšování zemin
Specifying vibro stone columns, Gartson, Watford, BRE 2000

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.

Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání bakalářské práce: **26. října 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2020**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Praze dne 26. 07. 2020

Adéla Brožová

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych chtěla poděkovat svojí mamince a svému příteli za obrovskou podporu a trpělivost při mém studiu. Dále bych chtěla poděkovat panu doktorovi Alešovi Šmejdovi za vedení bakalářské práce, za praktické a odborné rady jak při psaní práce, tak po celou dobu studia.

Velice také děkuji svému pracovnímu týmu za veškeré odborné informace a poklady pro mou bakalářskou práci.

V poslední řadě bych chtěla poděkovat firmě Menard zakládání staveb s.r.o. a Soletanche s.r.o., kde jsem měla tu možnost provádět potřebné zkoušky a použít geologické průzkumy a projekty pro mou práci.

ANOTACE

Obsahem této bakalářské práce je posouzení použité metody na provádění štěrkových pilířů pro zlepšení podloží na dané lokalitě. Tato metoda byla použita na plánovaném úseku dálnice D35 – Ostrov – Časy, kde byly štěrkové pilíře použity pod násypy komunikace a přechodových oblastí mostních objektů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Štěrkové pilíře, dynamická penetrační zkouška, statická penetrační zkouška, posouzení zlepšení zeminy

ANNOTATION

The content of this thesis is an assessment of the used method of stone columns to improve the subsoil at the site. This method was used on the planned section of the D35– Ostrov – Časy, where stone columns were used of roads and transition areas of bridge structures.

KEYWORDS

Stone Columns, dynamic penetration test, static penetration test, assessment of soil improvement

OBSAH

Úvod	8
1 Sanace podloží a možnosti technického řešení.....	9
1.1 Povrchové.....	9
1.1.1 Štěrkové polštáře.....	9
1.1.2 Geosyntetika	9
1.1.3 Použití pojiva	10
1.2 Hloubkové.....	10
1.2.1 Štěrkové pilíře.....	10
1.2.2 Betonové pilíře.....	11
1.2.3 Betonové piloty CFA.....	11
1.2.4 Hloubkové míchaní zemin	12
1.2.5 Dynamická konsolidace.....	13
1.2.6 Vertikální drény	14
1.2.7 Trysková injektáž.....	15
2 Štěrkové pilíře.....	16
2.1 Popis technologie	16
2.2 Navrhování štěrkových pilířů.....	19
2.2.1 Numerické navrhování.....	19
2.2.2 Empirický nebo semi-empirický návrh.....	19
2.2.3 Navrhování štěrkových pilířů dle H.J. Priebeho.....	20
2.3 Stroje pro realizaci štěrkových pilířů	21
2.4 Pracovní postup	23
2.5 Protokoly štěrkových pilířů.....	25
3 Popis širších vztahů, vymezení lokality.....	27
3.1 Vymezení lokality	27
3.2 Širší vztahy.....	28
3.3 Dálnice D35 součástí Transevropské dopravní sítě (TEN-T).....	28
4 Zhodnocení problematiky zakládání v dané lokalitě.....	29
4.1 Geologický průzkum.....	29
4.2 Návrhová opatření.....	30
5 Kontrola sanace podloží	31

5.1	Kontrola sanace pomocí statické penetrační zkoušky (CPT).....	32
5.1.1	Vývoj metody	32
5.1.2	Princip metody	33
5.1.3	Druhy penetrometrů	34
5.1.4	Pracovní postup metody.....	36
5.1.5	Výsledky zkoušky a vyhodnocení	36
5.2	Kontrola sanace pomocí dynamické penetrační zkoušky	37
5.2.1	Vývoj metody	37
5.2.2	Princip metody	38
5.2.3	Pracovní postup metody.....	40
5.2.4	Penetrační kužel a příslušenství.....	40
5.2.5	Výsledky zkoušky a vyhodnocení	42
6	Výsledky zkoušek a zhodnocení.....	43
6.1	Zhodnocení statické penetrační zkoušky	43
6.2	Zhodnocení dynamické penetrační zkoušky	56
6.3	Výhody a nevýhody použití šterkových pilířů na dálnici D35	58
	Závěr a doporučení pro praxi.....	60
	Seznam ilustrací, tabulek a grafů.....	62
	Seznam zkratk a značek	64
	Použitá literatura.....	65
	Internetové stránky	66
	Přílohy – Naměřená a vyhodnocená data	68
	Statická penetrační zkouška.....	68
	Dynamická penetrační zkouška	84

Úvod

V posledních letech, díky příznivé ekonomické situaci v České republice, dochází k značnému rozvoji infrastruktury, skladovacích a průmyslových prostor. S tím je spojeno ubývání míst pro výstavbu ve vhodných geologických podmínkách a je zapotřebí často realizovat výstavbu v méně vhodných inženýrsko-geologických poměrech. V této souvislosti přichází na řadu téma sanačních opatření. Jednou z mnoha technologií pro zlepšování podloží jsou štěrkové pilíře. Pilíře mají dvě hlavní funkce, a to zpevnit podloží a urychlit konsolidaci silničních a železničních násypů, hal a dalších budov.

Štěrkové pilíře byly realizovány na budoucím úseku dálnice D35 mezi obcemi Ostrov – Časy, pod násypy komunikace a přechodových oblastí mostních objektů k urychlení konsolidace a zajištění rovnoměrného sedání. Před zahájením prací byly v této oblasti provedeny zkoušky statické a dynamické penetrace, které jsem porovnávala s výsledky provedených zkoušek po dokončení sanačních prací.

Cílem mé bakalářské práce je přiblížení problematiky štěrkových pilířů, kontrola provádění této technologie a seznámení s lokalitou budoucího úseku dálnice D35 včetně zhodnocení problematiky zakládání v dané lokalitě. Do cílů mé práce také patří informovat o principu a pracovním postupu zkoušek statické a dynamické penetrace.

Teoretická část řeší historii, vývoj a hlavní myšlenky jak štěrkových pilířů, tak zkoušek statické a dynamické penetrace, popis inženýrsko-geologických poměrů v dané lokalitě a navrhuje sanační opatření.

Praktická část obsahuje výsledky statické a dynamické penetrační zkoušky, které byly prováděny na stavbě před a po dokončení zlepšování podloží. Ve své práci jsem se rozhodla porovnat kontrolní zkoušky na mostních objektech SO 212, SO 213, SO 214, SO217.

1 Sanace podloží a možnosti technického řešení

Sanace podloží je proces, který umožňuje provádět zlepšení zemin pod opěrné a těsnicí konstrukce, stavební jámy, silniční a železniční stavby, haly, obchodní centra, průmyslové stavby a mostní objekty. Sanace podloží také využíváme při dodatečných opravách narušených svahů nebo násypových těles jak u pozemních, tak dopravních staveb. Vlivem tíhy násypu dochází k takzvané konsolidaci, kdy je narušená stabilita a soudržnost objektů.

Konsolidace je proces komprese zeminy pod vlastním nebo vnějším zatížením. Konsolidační mechanismus je založen na redukci prostoru pórů v kombinaci s vytlačováním vody. Zlepšování podloží je zvláště důležité použít při výskytu jílovitých a jiných soudržných zemin.

V oblasti zlepšování zemin je velká poptávka po účinných a ekonomicky výhodných metodách. V dnešní době je nespočet metod pro zlepšování podloží a je třeba, aby projektanti a investoři zvážili veškeré dostupné možnosti, ať už povrchového nebo hloubkového zlepšování podloží.

1.1 Povrchové

1.1.1 Štěrkové polštáře

Štěrkové polštáře používáme k nahrazování nevhodné zeminy pod celou plochou základu. Nejčastěji je používáme pod základové pasy a patky, ovšem nad hladinou podzemní vody. Budují se v různých tloušťkách, ale za ekonomické řešení se považuje tloušťka polštářů 1,5-2 m. Pracovní postup při realizaci štěrkových polštářů spočívá ve vytvoření výkopu a následně vsypání vhodného materiálu, který se po vrstvách hutní.

Štěrkové polštáře urychlují a zmenšují sedání staveb, mají dobrou únosnost a drenážní funkci. Jsou zhotovené ze štěrku, štěrkopísku případně z vhodného recyklátu. [8]

1.1.2 Geosyntetika

Geosyntetické materiály používáme pro zabránění vzniku deformací a pro snížení velikosti napětí v podloží. Používáme různé druhy jako: geotextílie, geomembrány, geomříže a jiné. Ty mají funkci separační, filtrační, drenážní, výztužnou a ochrannou. Při návrhu je důležité znát velikost zrn násypu, tvarový index a tuhost podloží pro zvolení správné odolnosti geotextílie. Často se používá pro založení silničních a železničních násypů. [20]

1.1.3 Použití pojiva

Pro povrchové zlepšování zemin používáme také pojiva, a to vápno, cement, popílek nebo jejich různé kombinace. Použitím docílíme vysušení zeminy, zvýšení pevnosti a snížení namrzavosti. Pojiva efektivně snižují nároky na zemní práce, urychlují výstavbu a snižují celkové náklady. Technologii lze použít jako levnější a rychlejší způsob sanace, když není nutné použít hloubkové zlepšování zemin. [25]

1.2 Hloubkové

1.2.1 Štěrkové pilíře

Štěrkové pilíře se používají k odvodnění násypů, které v dnešní době představují velmi ekonomické a efektivní řešení. Štěrkové pilíře urychlují sedání podloží a tím je zajištěno urychlení výstavby. Při výstavbě mostních objektů bývá velký problém sedání násypů vlivem vlastní tíhy. Když je mostní objekt založen na neúnosných zeminách (např. jílech), projevuje se sedání a dochází tedy ke změně sklonu nivelety. Změna sklonu nivelety nesmí přesáhnout požadované hodnoty, proto musíme konsolidaci urychlit ještě před výstavbou mostních objektů.



Obrázek 1. Realizace štěrkových pilířů

1.2.2 Betonové pilíře

Betonové pilíře zmírňují konsolidaci a zpevňují podloží. Pilíře mohou být použity pro různé typy zemin, ale tato technologie funguje především velmi dobře v soudržných zeminách (např. zhutněné písky). Tuto technologii používáme především u staveb, které přenášejí velké zatížení, např. průmyslové, strojírenské a skladovací haly. Příležitostně se metoda betonových pilířů používá pro dopravní stavby např. pod silniční a železniční násypy.



Obrázek 2. Realizace betonových pilířů

1.2.3 Betonové piloty CFA

Podstata této metody spočívá v použití vrtné soupravy, která při vrtání roztláčuje zeminu do stran a při procesu zvedání je pomocí vrtné soupravy dovnitř vháněna betonová směs. Rychlost zvedání vrtáku a čerpání pod tlakem čerstvého betonu zajišťuje úplnou stabilitu vrtu během provádění. Beton pevně vyplní otvor a vytvoří betonovou pilotu. Nejčastěji se tato technologie používá jako pilotové řešení, kdy se ihned po naplnění otvoru betonovou směsí zavede výztuž ve formě armokoše. Parametry pilot CFA, jako je jejich délka, tok betonu, doba provádění, jsou automaticky registrovány a podléhají stálé kontrole obsluhy stroje.

Jako další možností je použití této metody pouze jako předvrtání, kdy je vynechána část betonování a do připraveného vrtu se zhotovují štěrkové pilíře. Metoda předvrtávání se používá v pevných zeminách, kde stroj na štěrkové pilíře není schopný přípravy vrtu.



Obrázek 3. Realizace betonových pilířů CFA [Menard s.r.o.]

1.2.4 Hlubkové míchaní zemin

Hlubkové míchaní (Deep Soil Mixing) zemin se provádí speciálními vrtáky. Ty zajišťují míchaní zeminy s cementovou maltou, které zapříčiní zlepšení mechanických vlastností zeminy. Tímto způsobem je zemina vylepšena. Tato metoda zahrnuje zavedení speciálního konstrukčního mixéru do země, který změní strukturu zemin a mísí ji se zavedeným médiem. Celý proces od okamžiku míchaní, až do konce tvorby pilíře je podporován tokem cementové malty, přes trysky umístěné na konci vrtací tyče. Fáze formování pilíře nastává po dosažení navržené hloubky, kdy pomocí mixovací tyče dochází k rovnoměrnému smíchání cementové malty se zeminou a vytvoření pilíře s homogenní strukturou.

Pilíře DSM lze úspěšně použít pro základy hal, mostních opěr, základy větrných elektráren a mnoho dalších. Tam, kde se vyskytují prашné a písčité zemin y je použití této technologie obzvláště výhodné.



Obrázek 4. Hloubkové míchání zemin [Menard s.r.o.]

1.2.5 Dynamická konsolidace

Dynamická konsolidace využívá energii volného pádu břemene o hmotnosti 10–40 tun, které redukuje sedání o 3–6 %. Tato technologie může mít také další využití, které spočívá ve vytváření dynamicky hutněných štěrkových pilířů. Opakovaným dynamickým hutněním vytvoříme prostor, do kterého je nasypán štěrk, který je následně opět hutněn shazováním břemene. Od konce šedesátých let se dynamické hutnění používá po celém světě v různých půdních podmínkách a pro různé typy staveb. Tato technologie byla po patentování Luise Menarda široce studována a optimalizována, což znamená, že její používání je dnes bezpečné a hospodárné.

Extrémně jednoduchá myšlenka metody předpokládá zlepšení nevhodné zeminy vysokými energetickými dopady. Zemina je zhutněna v důsledku nárazové vlny, která se mění v závislosti na jejím stavu, struktuře a hloubce. Pro efektivní dynamickou konsolidaci se používají mřížové jeřáby, které umožňují získat dostatečně vysokou rázovou energii. Dynamickému zhutnění obvykle předchází vytvoření zkušebního diagramu, který určuje rozteč mřížky pracovních bodů a potřebnou energii nárazu pro získání požadovaného zhutnění, tj. hmotnost a tvar zhutňovače a výška jeho vyvržení.

Dynamické zhutnění lze použít v jakémkoli typu soudržných zemin, dokonce i v přítomnosti kamenitých frakcí. Metoda lze použít k posílení podloží průmyslových a komerčních hal, letišť, silničních a železničních násypů a dalších velkých budov. Dynamická konsolidace je schopna vést mnoho typů zemin k velmi vysokým pevnostním parametrům. Hloubka zhutnění se obvykle pohybuje od 3,0 do 7,0 m.



Obrázek 5. Dynamická konsolidace [Menard s.r.o.]

1.2.6 Vertikální drény

Vertikální drény jsou ploché, plastové, flexibilní trubice s kruhovým nebo oválným průřezem [17], které jsou zaváděny do nepropustné zeminy, aby urychlily konsolidaci násypových těles. Zvyšují propustnost zeminy a značně snižují pórový tlak. Odvodnění základů s vertikální drenáží je technologie úzce spojená s fenoménem konsolidace a je jednou z nejosvědčenějších a nepochybně nejlevnějších metod posílení podloží. Vertikální drenáž se nejčastěji používá v soudržných zeminách pod silniční a železniční stavby, průmyslové objekty a parkoviště.



Obrázek 6. Vertikální drény [Menard s.r.o.]

1.2.7 Trysková injektáž

Trysková injektáž je v dnešní době hojně používaná metoda na zlepšování zemin. Princip spočívá v provedení vrtu speciální vrtnou soupravou a následným využitím cementové směsi, která je tryskána pod vysokým tlakem. Vyhloubení vrtu se provádí do předem naprojektované hloubky a do trysek je čerpána cementová směs. Po přepnutí z vrtného režimu se vrtné soustavy začne otáčet a tryskáním injektážní směsi vytváříme tzv. paprsky z trykové injektáže.

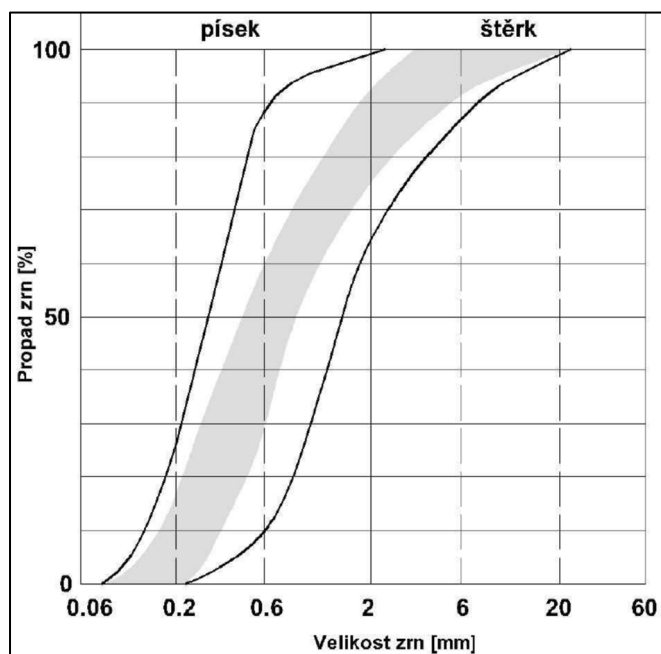
Pomocí této metody dochází k promísení zemin, tím zajistíme zlepšení jejich vlastností. Při tryskání injektážní směsi dochází k rozpojování úlomků, nebo i jednotlivých zrn, a tím dochází k promíchání zeminy. Po zatuhnutí směsi vytvoříme sloupy, pole, stěny nebo desky z trykové injektáže. Využití trykové injektáže vítáme při zlepšování ve velmi stísněných podmínkách, jako je podchycování základů budov, především v zeminách kašovitých, jemnozrnných, ale i štěrku. [12]

2 Štěrkové pilíře

2.1 Popis technologie

Štěrkové pilíře jsou používány ke snížení sedání podloží. Zajišťují drenážní funkci a mohou i zvyšovat únosnost podloží. Při realizaci se používá stroj s namontovaným vibrátorem, buď v horní nebo spodní části, k dosažení potřebné hloubky a zhutnění vhněného materiálu. Štěrkové pilíře urychlují konsolidaci zemin důsledkem drenážní schopnosti zrnitého materiálu uvnitř pilíře. Pilíře jsou uspořádány ve čtvercovém nebo trojúhelníkovém rastru s osovou vzdáleností od 1,5 m do 3,0 m. Osové vzdálenosti pilířů jsou určovány na základě vlastností zlepšované zeminy, rozměrů pilířů, úhlu vnitřního tření kameniva, zatížení a sedání základů.

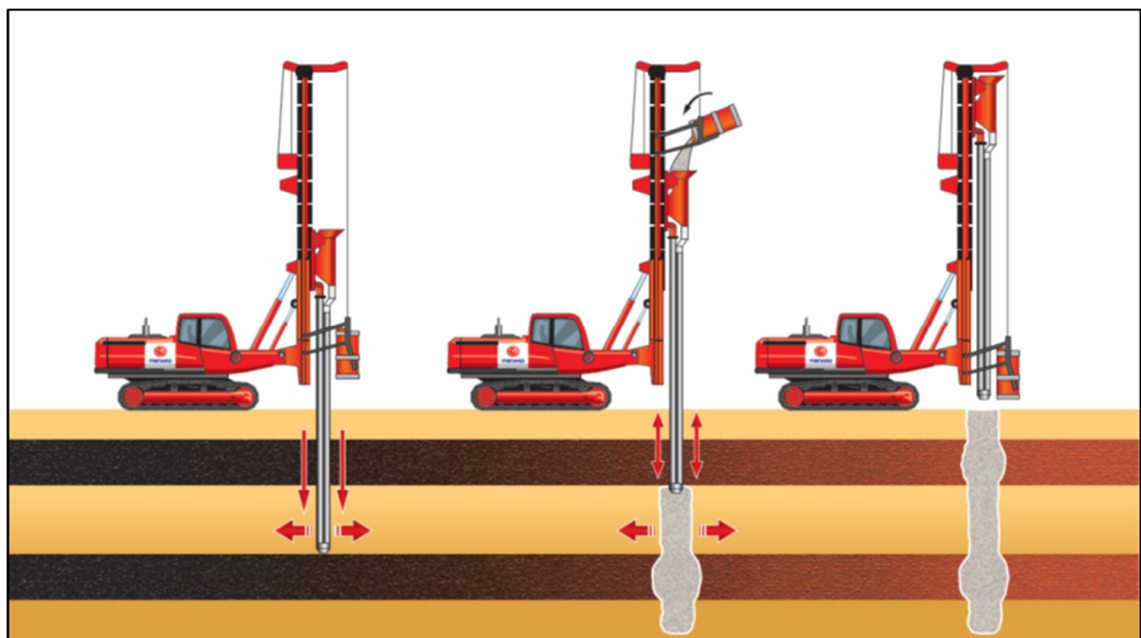
Pro návrhy bezpečného pracovního zatížení existují analytické metody, které zahrnují pevnost pilíře na mezi porušení, úhel vnitřního tření kameniva, tlaky nadloží ve zlepšované vrstvě zeminy a její soudržnost, plochu pilířů, stupně bezpečnosti, ale také pórové tlaky. Úhel vnitřního tření je podle výzkumů okolo 45° , avšak aby se hodnota udržela co možná nejvyšší, musí být štěrkové pilíře dobře zhutněny. Dosažení dobré hodnoty úhlu vnitřního tření kameniva a kvalitní práce je zaručeno mimo jiné i zručností obsluhy vrtné soupravy. Štěrkové pilíře jsou zhotoveny z drceného kameniva nebo z kameniva z přírodních zdrojů. Nejčastěji je použita frakce 0-32 mm nebo 8-32 mm s obsahem jemnozrnných částic méně než 5 %.



Obrázek 7. Štěrkové pilíře [7]

Průměr je standardně prováděn v rozměru 0,6 m. V tvrdých zeminách mohou být použity tzn. předvrty, kde je zemina vyvrtána a odtěžena, a poté může začít realizace štěrkového pilíře. Výsledný průměr štěrkového pilíře závisí na vlastnostech zlepšovaného podloží. V nehomogenním prostředí může být odlišný v závislosti na hloubce.

Délka štěrkových pilířů je navržena na základě geotechnického průzkumu. Skutečná prováděcí délka pilířů se může lišit od navržených a v důsledku proměnlivosti půdních podmínek. Pokud během provádění pilíře brání ve vrtání do požadované hloubky (např. ve vrstvě zhutněného písku) vysoký odpor zeminy, dosáhne se navržené nosnosti a pilíř může být ukončen dříve. Při realizaci se automaticky zaznamenávají základní informace o pilířích.



Obrázek 8. Realizace štěrkových pilířů [Menard s.r.o.]

Přednosti této technologie:

Vysoká nosnost

- vysoká pevnost ve smyku a nízká schopnost deformace pilířů vytvořených ve slabých zeminách,

Globální zpevnění

- ke zlepšování mechanických vlastností zeminy mezi pilíři dochází jak v průběhu jejich formování, roztláčováním/zhutňováním, tak i po vytvoření pilířů, kdy plní drenážní funkci (urychlují konsolidaci),

Šetrnost k životnímu prostředí

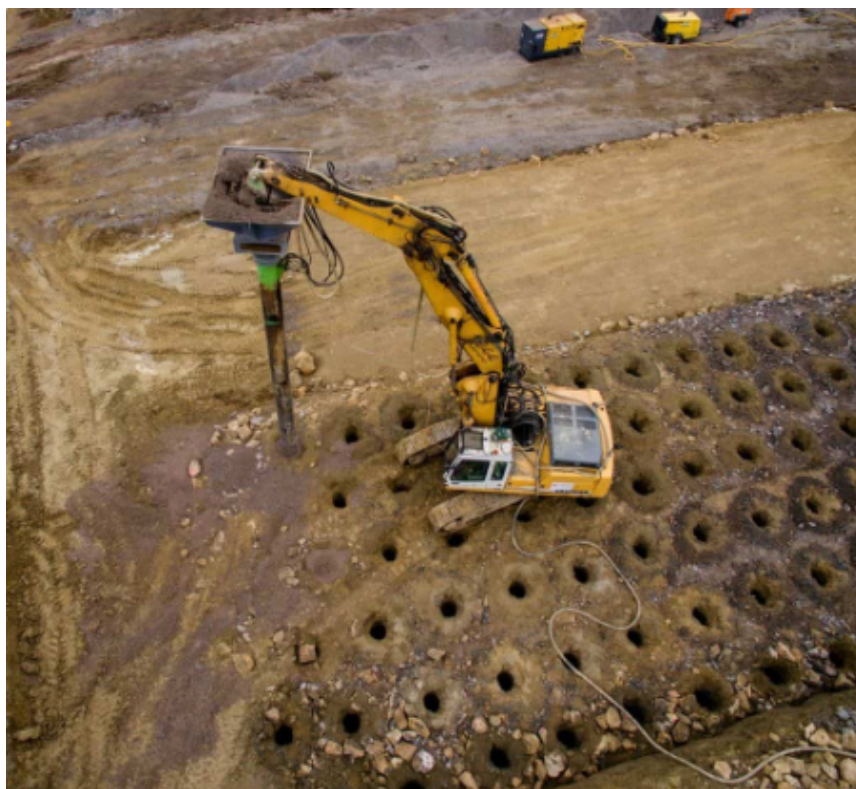
- vibrované štěrkové pilíře lze formovat z recyklovaného materiálu (drcený beton atd.),

Vysoká produktivita

- tato technologie se vyznačuje velmi vysokou produktivitou dosahující až několika set běžných metrů pilířů za pracovní směnu (pomocí jediné pracovní jednotky),

Žádný vytěžený materiál

- během tvarování pilířů nedochází k poškození půdní struktury a k vytěžování materiálu na povrch – není nutné odstraňovat velké množství zeminy.



Obrázek 9. Realizace štěrkových pilířů [Menard s.r.o.]

2.2 Navrhování štěrkových pilířů

Štěrkové pilíře se navrhují pod násypy silničních, železničních nebo mostních objektů, z důvodů nevhodného podloží pro zakládání. V takovém případě hrozí v průběhu let nerovnoměrné sedání mostních opěr. Navíc mají funkci drenážní, která sníží v podloží pórové tlaky a tím se stane více únosným.

Štěrkové pilíře jsou vhodné pro soudržné zeminy v plastickém a měkce plastickém stavu (prach, písek, jíla) a jsou úspěšně používány pro základy budov, jako jsou sklady, nákupní centra, bytové domy, letištní terminály a mnoho dalších.

2.2.1 Numerické navrhování

V současné době se nejčastěji používá pro navrhování štěrkových pilířů numerické modelování, které se provádí pomocí speciálně vyvinutých softwarů. Principem pro modelování je analýza metodou konečných prvků, např. pomocí programu PLAXIS. Vstupními parametry pro modelování jsou vrty, sondy, statické a dynamické penetrace a mnoho dalších zkoušek zemin provedené na zkoumaném území.

2.2.2 Empirický nebo semi-empirický návrh

Pro navrhování se taktéž používá empirický nebo semi-empirický návrh na základě zkušeností s prováděním této technologie, který spočívá v takzvaném pozorovacím postupu prací. Pozorovací postup znamená, že se v průběhu hodnotí reakce zeminy a následně je proces upřesněn na základě výsledků pozorování. Zároveň jsou automaticky sledovány hlavní faktory, které se vyhodnotí z monitorovacích zařízení strojů.

Empirické navrhování je podloženo mnoha fakty, které vznikly řadou let zkušeností s prováděním, pozorováním a experimentováním s danou technologií. Na základě toho byly vyvinuty teorie o navrhování štěrkových pilířů. Jedním z nejdůležitějších autorů teorií byl H.J.Priebe.

2.2.3 Navrhování šterkových pilířů dle H.J. Priebeho

Určení stupně zlepšení zeminy dle Hans-Joachima Priebe předpokládá, že nad pravidelným rastrem pilířů leží základ, který vytváří rovnoměrné zatížení. Pata pilířů leží na hranici únosného podloží a základová půda je brána jako izotropní materiál. [8]

Výpočet stupně zlepšení můžeme popsat jako: [8]

$$k = 1 + a_s * \left[\frac{\frac{1}{2} + f(v, a_s)}{K_a * f(v, a_s)} - 1 \right] \quad (1)$$

k stupeň zlepšení zeminy

a_s poměr plochy pilíře a náhradní buňky $a_s = \frac{As}{A}$

K_a součinitel aktivního zemního tlaku

$$a_s = \frac{As}{A} = C_1 * \left(\frac{D}{s}\right)^2 \quad (2)$$

C_1 pro trojúhelníkovou síť (rastr) $C_1 = \pi / (2 * 3^{\frac{1}{2}})$

C_1 pro čtvercovou síť (rastr) $C_1 = \pi / 4$

D průměr pilíře

s osová vzdálenost pilířů (rastr)

$$K_a = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (3)$$

φ úhel vnitřního tření

$$f(v, a_s) = \frac{[(1-v)^2 * (1-2*v) * (1-a_s)]}{[(1-v-2*v^2) * (1-2*v+a_s)]} \quad (4)$$

v Poissonovo číslo základové půdy

V tabulce 1. můžeme vidět různé stupně zlepšení základové půdy, když $\nu = 0,35$ a štěrk o dané velikosti úhlů vnitřního tření φ , je dán trojúhelníkový rastr s poměr s/D . [8]

Poměr s/D	Stupeň zlepšení k pro $\varphi =$		
	35°	40°	45°
1,5	4,883	5,950	7,351
1,75	3,274	3,914	4,755
2,0	2,520	2,955	3,526
2,25	2,098	2,416	2,834
2,5	1,836	2,080	2,400
2,75	1,659	1,854	2,108

Tabulka 1. Číselné velikosti stupně zlepšení [Masopust]

2.3 Stroje pro realizaci štěrkových pilířů

Pro realizaci štěrkových pilířů používáme následující stroje, které nám umožní dosažení potřebné hloubky a zhutnění nasypaného materiálu: [10]

- hloubkový vibrátor HD130 namontovaný na soupravu Enteco,
- horní vibrátor s perforovanou rourou namontovaný na soupravu Enteco (CB-Sol systém),
- horní vibrátor s perforovanou rourou namontovaný na soupravu Komatsu PC450 (CB-Sol systém),
- hloubkový vibrátor Stitcheer namontovaný na nakladač Liebherr 944 nebo Komatsu PC350.



Obrázek 11. Štěrkové pilíře na D35



Obrázek 10. Štěrkové pilíře na D35

2.4 Pracovní postup

Štěrkové pilíře jsou tvořeny pomocí vibrační roury s tlakovým komorovým zařízením. Tato technologie zajišťuje nejlepší výsledky při vhánění zrnitého materiálu na dno pilíře. Vibrující roura je pomalu zatlačována do země až do navrhované hloubky, nebo do dosažení tvrdé nestlačitelné vrstvy. Během vibrování je zemina roztláčována do stran a prázdný prostor je vyplněn kamenivem požadované frakce dle projektu. Do speciálního koše upevněného na zařízení je pomocí traktor-bagru nasypán materiál, který propadává středem vibrační roury. Poté se střídá proces zatlačování a zvedání roury, čímž se hutní kamenivo v pilíři.

Zrnitý materiál je vsypáván na dno pomocí gravitace, což je podporováno injektáží vzduchu. Materiál je pak zhutněný opakovaným vkládáním vibrační roury, se zdvihem 30–50 cm, dokud materiál nedosáhne povrchu. Průměrný výkon realizace štěrkových pilířů je cca 200–300 bm za směnu.



Obrázek 12. Detail násypového koše

Každá vrtná souprava je opatřena monitorovacím zařízením, které nám umožňuje zaznamenávat tlak vyvinutý při realizaci štěrkového pilíře. Tento software nám umožňuje sledovat důležité parametry provádění pilířů, jako je délka, hloubka, hydraulický tlak na vibračním zařízení a hydraulický tlak v navijáku, při zatlačování vrtného soutyčí do země.



Obrázek 13. Monitorovací zařízení vrtné soupravy

Operátor soupravy může na své obrazovce vidět všechny body (štěrkové pilíře) včetně těch, které jsou hotové (zelená barva) a těch, které zbývají (červená barva). Jednotlivé body jsou vyměřeny pásmem a označeny reflexním sprejem. Po provedení každého pilíře operátor označí pilíř na své obrazovce a změní svůj stav na „hotovo“.



Obrázek 14. Monitorovací zařízení vrtné soupravy

2.5 Protokoly štěrkových pilířů

Výstupním dokumentem pro každý zhotovený pilíř je „Protokol štěrkového pilíře“. Tyto protokoly se zhotovují pomocí již zmíněného softwaru umístěného v každé vrtné soupravě. Protokoly zaznamenávají průběh celé realizace a po dokončení prací obdrží investor protokoly ke všem štěrkovým pilířům pro zpětnou kontrolu.

V levém sloupci můžeme vidět do jaké hloubky byl štěrkový pilíř realizován a jaký tlak byl potřebný pro jeho vyvrtání. V pravém sloupci kontrolujeme čas potřebný pro realizaci štěrkového pilíře a míru jeho zhutnění. Každý protokol obsahuje číselné označení pilíře, datum, čas, hloubku a název stroje, který provedl realizaci.

Protokol štěrkového pilíře

Datum zahájení : 13.07.2019

Čas spuštění : 10:00:24

Čas dokončení : 10:03:01

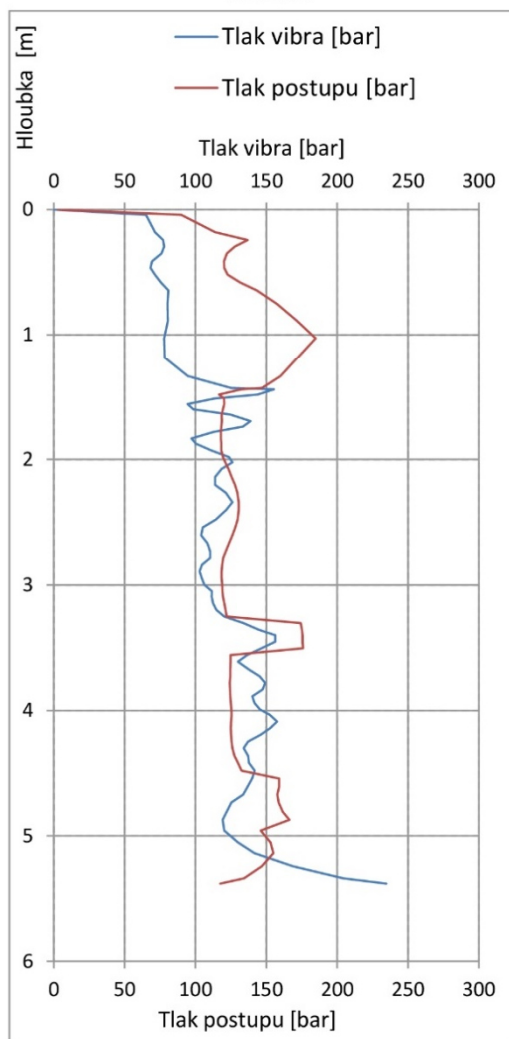
Stroj : Komatsu PC450

Objekt : SO 101 - 28,92 - 29,36

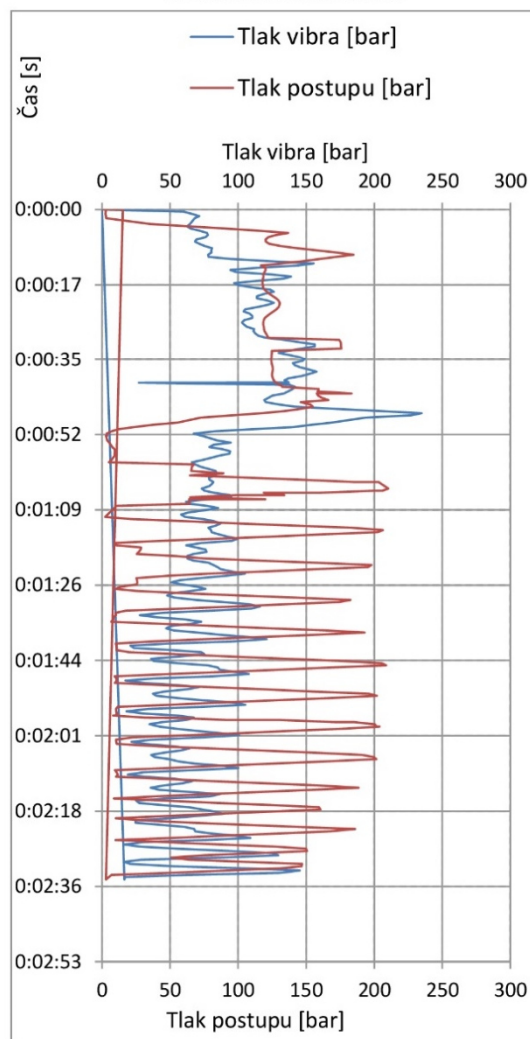
Číslo štěrkového pilíře : **6143**

Délka štěrkového pilíře [m] : 5,38

KLESÁNÍ



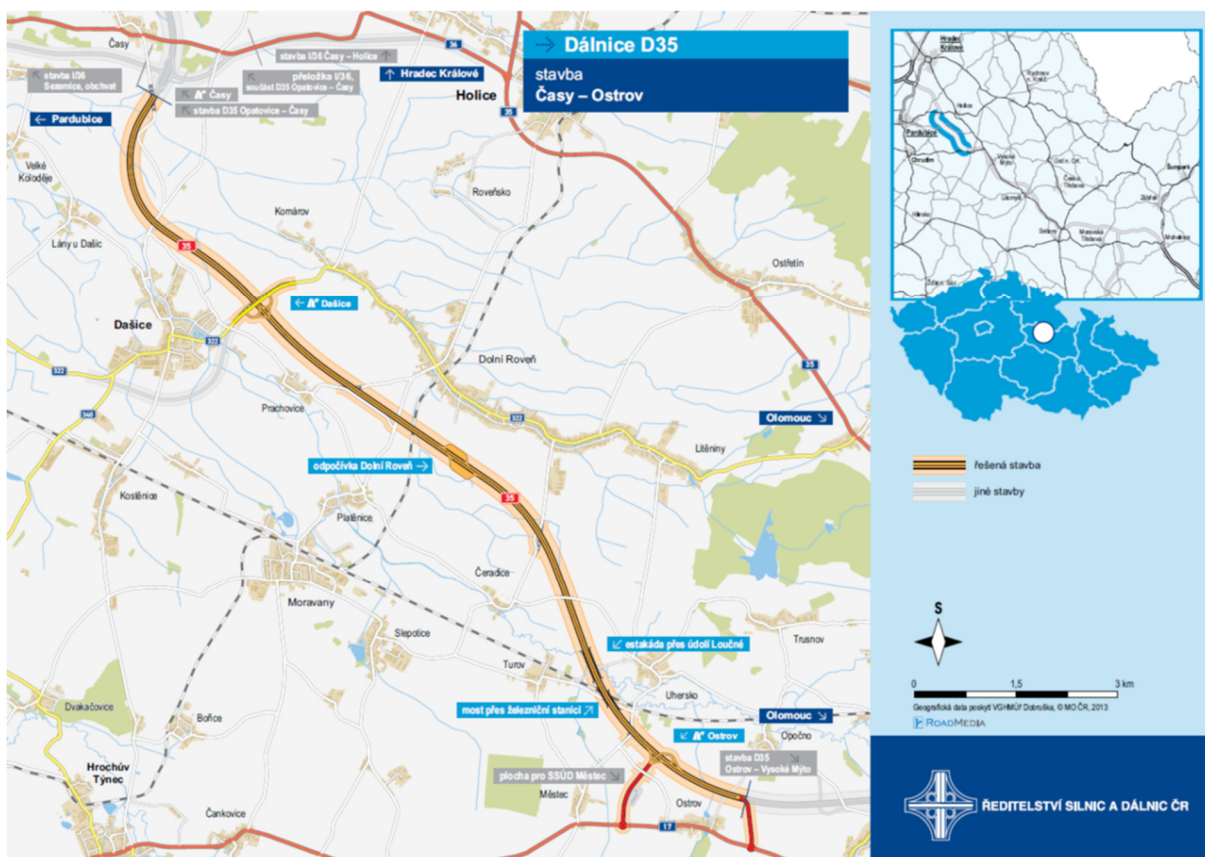
KLESÁNÍ A FORMOVÁNÍ



Obrázek 15. Protokol štěrkového pilíře

3 Popis širších vztahů, vymezení lokality

Štěrkové pilíře, jak už bylo řečeno v minulé kapitole, se používají pod náspy mostních objektů, a to kvůli zpevnění podloží a urychlení konsolidace. Obsahem mé bakalářské práce je projekt dálnice D35 mezi obcemi Ostrov – Časy, kde jsem měla tu možnost zkoumat problematiku sanace podloží pod násypy komunikace a přechodových oblastí mostních objektů pomocí již zmíněných štěrkových pilířů.



Obrázek 16. Úsek Ostrov – Časy [ŘSD]

3.1 Vymezení lokality

Předmětem je trasa dálnice D35 Časy – Ostrov, která odlehčí současně velmi vytíženému úseku silnice I/35 mezi Holicemi a Zámrskem. Začátek SO 101 a zároveň začátek celé stavby navazuje v km 16,800 (projekční staničení) = 142,800 (provozní staničení) na předchozí stavbu dálnice D35 Opatovice – Časy. Od obce Časy trasa pokračuje kolem vyhlášené ptačí oblasti Komárov do prostoru MÚK Dašice, kde kříží silnici II/322. Dále pokračuje podél jižní strany Dolní a Horní Rovně, kříží železniční trať Chrudim – Borohrádek a dostává se do prostoru oboustranných odpočívek. Obloukem se stáčí jihovýchodně do prostoru mezi Turnovem nad Loučnou a Uherskem. Železniční trať Praha – Česká Třebová kříží nadjezdem v ŽST Uhersko a pokračuje k obci Ostrov.

Konec stavby je cca 800 m za MÚK Ostrov, v km 31,500 (projekční staničení) = 157,500 (provozní staničení), kde navazuje další stavba D35 Ostrov – Vysoké Mýto. V současné době je trasa D35 provizorním sjezdem napojena na stávající silnici I/17, a to cca 500 m za obcí Ostrov. Celá trasa dálnice D35 je orientována od severozápadu na jihovýchod. [11]

3.2 Širší vztahy

Dálnice D35 je navržena v silniční kategorii R 25,5/120 a délka trasy v tomto objektu je 14,700 km. Silnice I/35 je silnicí s mezinárodním významem a s vysokým podílem mezinárodní nákladní dopravy, která v současné době prochází intravilánem řady obcí. Stavbou dálnice D35 docílíme odlehčení současně velmi zatížené silnici I/35 mezi Hradeckem Králové – Holicemi – Vysokým Mýtem. Přesunutí dopravy na nově budovaný úsek vyřeší problém na silnici I/35 a to z hlediska kapacity, bezpečnosti a životního prostředí. Dálnice D35 bude nejdůležitější pozemní komunikací NUTS 2 Severovýchod, který sdružuje Liberecký, Královéhradecký a Pardubický kraj. Celá dálnice D35, patří do významné globální sítě TEN-T.

3.3 Dálnice D35 součástí Transevropské dopravní sítě (TEN-T)

Politika transevropské dopravní sítě (TEN-T) se zabývá rozvojem celoevropské sítě železničních tratí, silnic, vnitrozemských vodních cest, námořních cest, přístavů, letišť a železničních terminálů. Konečným cílem je odstranit nedostatky a technické překážky a posílit sociální, hospodářskou a územní soudržnost v Evropské unii.



Obrázek 17. Transevropské dopravní sítě (TEN-T) [europa.eu]

Kromě nové výstavby infrastruktury podporuje politika TEN-T také uplatňování inovací, nových technologií a digitálních řešení ve všech druzích dopravy. Cílem je zlepšení využívání infrastruktury, snížení dopadu dopravy na životní prostředí a zvýšení bezpečnosti. [23]

4 Zhodnocení problematiky zakládání v dané lokalitě

V lokalitě výstavby dálnice bylo dle geologických průzkumů rozhodnuto, že podloží není vhodné pro založení mostních objektů SO212, SO213, SO214, SO215, SO216, SO217, SO218, proto zde bylo zvoleno sanační opatření pomocí šterkových pilířů.

4.1 Geologický průzkum

Podrobný geotechnický průzkum byl proveden tak, aby byly získány požadované údaje o geotechnických poměrech, detailních geomechanických vlastnostech zemin a hornin zkoumaného území. Výsledkem průzkumu je zhodnocení vlastností zemin a hornin v projektovaných zářezech, násypech a podloží násypů mostních objektů. Dle závěrečné zprávy geotechnického průzkumu bylo rozhodnuto dle parametrů zeminy, že je potřeba zajistit sanaci podloží. Kvartérní pokryvné vrstvy jsou převážně tvořeny jemnozrnnými částicemi. Nižší jsou situovány vrstvy zemin šterkovitých. Souvrství jemnozrnných zemin je při povrchu tvořeno cca 0,3 až 0,8m mocnou vrstvou ornice charakteru hlíny písčité s organickou příměsí a hlíny se střední plasticitou s organickou příměsí, měkkých až pevných konzistencí.

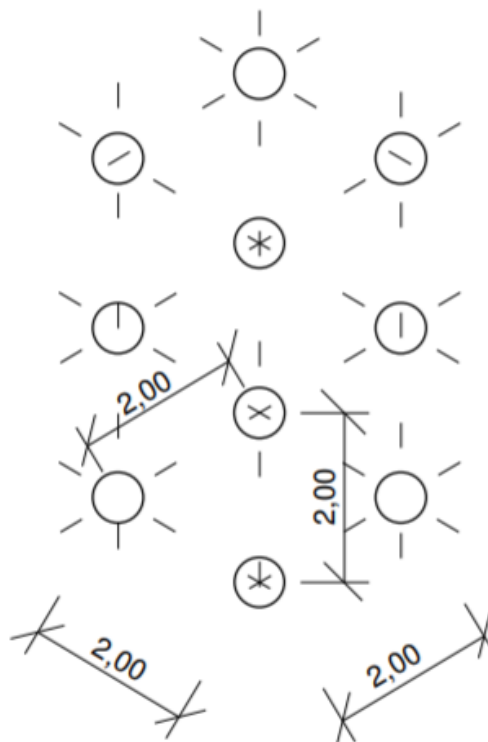
V nižších vrstvách jsou situovány jíly se střední a vysokou plasticitou, měkké až tuhé konzistence, polohy zemin charakteru rašeliny, měkké až pevné konzistence a jílu písčité s organickou příměsí měkké konzistence. Pod stávajícím povrchem se nachází písky s příměsí jemnozrnné zeminy, středně ulehlé až ulehlé, o mocnostech 0,8 až 3,7 m. Spodní vrstva v hloubce 2,3 až 4,5 m obsahuje převážně zeminy šterkové. Souvrství zemin šterkovitých je převážně tvořeno šterkem s příměsí jemnozrnné zeminy a šterkem dobře zrněných, středně ulehlé a ulehlé. Spodní souvrství šterků se nachází v hloubkách mezi 6,1 až 7,3 m pod stávajícím povrchem. V této části byl vyvinut mělký vodní systém se stabilní hladinou podzemní vody 0,1 až 0,6 m.

K založení násypu byla použita geosyntetika s hloubkovou úpravou nevyhovujících jemnozrnných zemin metodou šterkových pilířů. Úpravou se docílilo zlepšení deformačních charakteristik podloží a snížení rozdílů v sedání u jednotlivých dílčích násypových úseků. Metoda umožnila i lepší vyřešení problematiky přechodových oblastí navržených mostních objektů. [11]

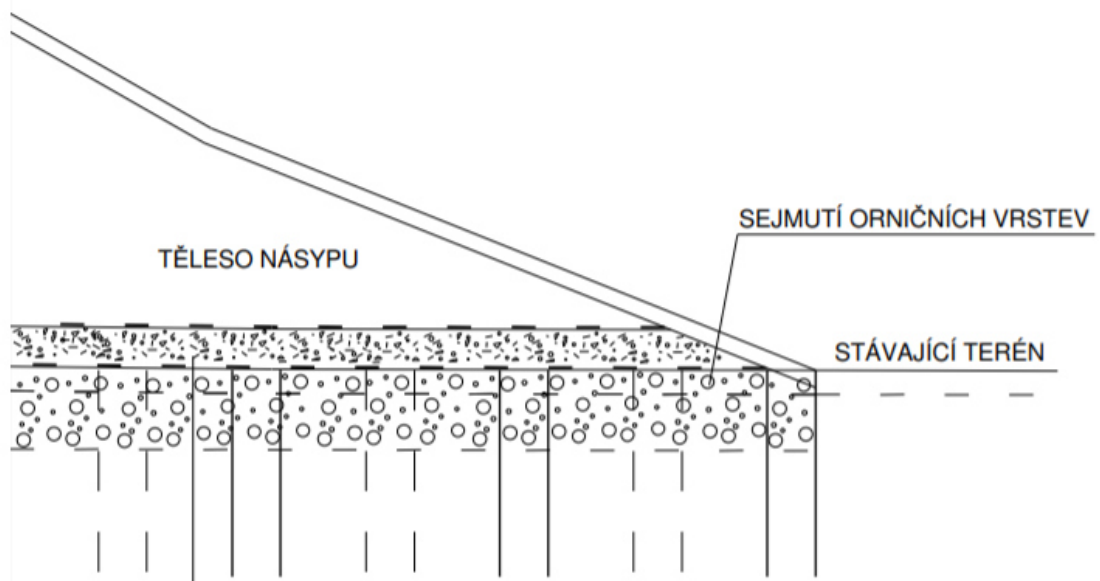
4.2 Návrhová opatření

Dle posouzení provedených zkoušek a průzkumů v dané lokalitě bylo zjištěno, že zemina pod násypy komunikace a přechodových oblastí mostních objektů není vhodná pro jejich okamžité založení, proto bylo zvoleno sanační opatření v podobě šterkových pilířů. Šterkové pilíře byly prováděny pomocí speciálních vrtných souprav s horním vibrátorem, které neprodukují vývrtek, ale roztláčují zeminu do stran a tím je zajištěno zpevnění podloží. Následně je pomocí duté roury vsypáván šterk frakce 8/32, který je hutněn opakovaným zvedáním a zatlačováním roury. Šterk zajistí drenážní funkci a je urychleno sedání násypu.

Pilíře byly instalovány pod celou plochou násypů přechodových oblastí celkem u 7 mostních objektů v úseku D35 Ostrov – Časy a to SO212, SO213, SO214, SO215, SO216, SO217, SO218, které se nachází mezi staničením 27,61 – 31,20 km. Celkem byla zlepšená plocha asi 108 ha, a to pomocí šterkových pilířů v osové vzdálenosti 2x2 metry. [11]



Obrázek 18. Půdorysné rozmístění pilířů
[Masopust]



Obrázek 19. Sanační opatření použité ve staničení 27,54 – 31,04 km [11]

- separační geotextílie – pokládána v podélném směru s přesahem 0,50m
- vrstva násypu ze štěrkodrti fr.0-63 min.tl.0,50m
- separační geotextílie – pokládána v příčném směru s přesahem 0,50m
- vrstva lomového kamene fr.0-250 v tl.1,00m
- štěrkové pilíře hutněné, v rastru 2 x 2 m, průměru 0,60m, hl.5 m

5 Kontrola sanace podloží

Hlavním cílem geotechnických průzkumů je dodání dat dostatečných pro kvalitní projektování základů budov a liniových staveb. Bezpečnost řešení návrhu zjevně závisí jak na analytických metodách, tak na kvalitě geotechnických průzkumů na vybraném staveništi. Také kvalita geotechnických průzkumů závisí na mnoha faktorech, jako jsou vrtné a vzorkovací techniky, příprava vzorků, metody laboratorních a IN-SITU testů, zkušenostech geologů a na požadavcích soustavě evropských technických norem a předpisů, které jsou stejně důležité.

Při psaní mé bakalářské práce jsem se soustředila na zkoušky IN-SITU, a to statickou a dynamickou penetraci, které jsem použila pro vyhodnocení zlepšování zemin pomocí štěrkových pilířů. Tyto zkoušky mají velice podstatný význam při posuzování účinků zlepšení podloží. Poskytují nám spolehlivý přehled o vlastnostech zeminy před a po sanaci podloží. Zkoušky nám umožňují získat komplexní informace o geotechnických poměrech staveniště.

5.1 Kontrola sanace pomocí statické penetrační zkoušky (CPT)

5.1.1 Vývoj metody

Metoda byla poprvé představena roku 1846 Alexandrem Collinem ve Francii. Metoda se dále vyvíjela převážně ve Švédsku, Norsku, Holandsku a USA. První záznamy o provedení penetrační zkoušky v píscích jsou roku 1929 v New Yorku, provedené Karlem von Terzaghimem. První penetrometr vynalezl a použil Pieter Barentsen v roce 1932 v Holandsku. První ruční mechanický penetrometr byl vyvinut firmou Delfte ve spolupráci s N.V. Goudsche Maschinesfabriek v roce 1946. [9] H.G.S. Begeman přispěl k metodě statické penetrace mnoha novými poznatky. Na základě měření odporu na hrotu a plášťového tření byl schopný určit typ zeminy, dále vypracoval řadu doporučení a korelačních závislostí. Begeman dokázal aplikovat výsledky penetrace při návrhu hlubinného zakládání a v neposlední řadě vyvinul třecí hrot pro holandské penetrometry.

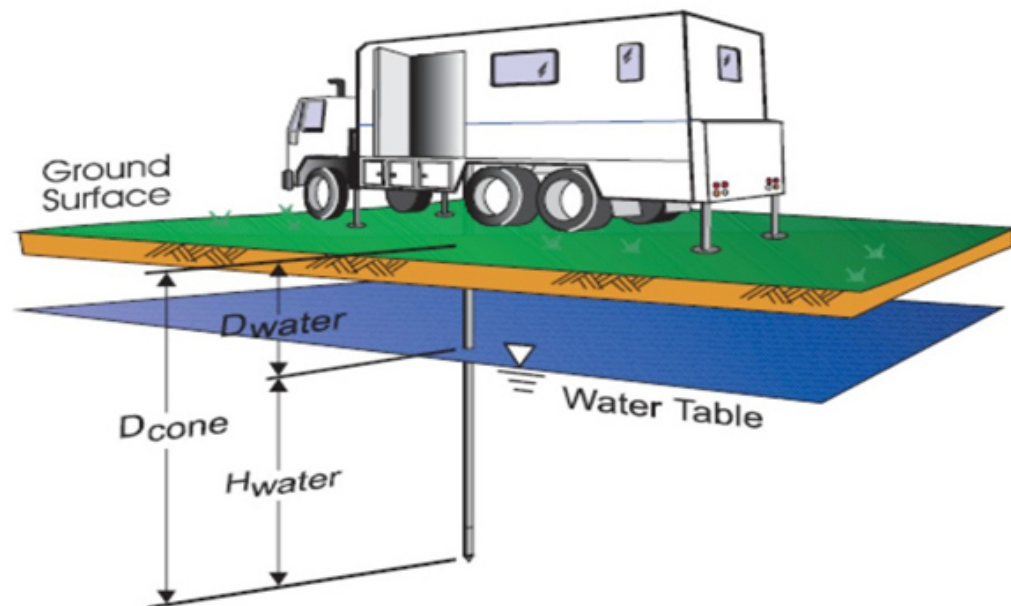


Obrázek 20. První CPT zařízení
[Gouda geo-equipement]

Mezi česká jména můžeme zařadit např. M. Švastu a M. Cuninku, kteří přišli s první korelační závislostí, určili vhodné vybavení a rozsah použití penetrační zkoušky v československých podmínkách. Statickou penetraci můžeme řadit mezi nejstarší metodu používanou k průzkumu zemin. Při rozsáhlém vývoji této metody začalo docházet k vyvinutí velkého množství metodik a používaných strojů, tak statická penetrační zkouška postrádala koordinaci, a tím se získané výsledky nedaly porovnat. Postupem času se začala vyvíjet osvědčená ucelená technická pravidla, která vzešla pod označením Eurokódy. Dnes používáme pro navrhování geotechnických konstrukcí Eurokód 7, část 1 a 2 z roku 1997. [5]

5.1.2 Princip metody

Statickou penetrační zkoušku nazýváme statickou, protože principem zkoušky je zatlačování sondovacího soutyčí konstantní rychlostí do země. Soutyčí je zatlačováno pomalu do zeminy ve vertikálním směru. Soutyčí je na konci ukončeno hrotem, kde probíhají veškerá měření. Pomocí hrotu, který je ve tvaru kužele můžeme měřit odpor zeminy při pronikání geologickým profilem. [5]



Obrázek 21. Princip statické penetrační zkoušky [geotech.hr]

Při zkoušce měříme následující hodnoty:

- měrný odpor na hrotu q_{st} [MPa],
- měrné lokální plášťové tření f_s [kPa],
- celková statická penetrační síla Q_T [kN],
- třecí koeficient R_f [%],
- odklon a rychlost penetrace.

Základní parametry, které zkoumáme statickou penetrací jsou: měrný odpor na hrotu q_{st} a měrné lokální plášťové tření f_s dle vzorců:

$$q_{st} = \frac{Q_c}{A} \quad (5)$$

q_{st} měrný odpor na hrotu

Q_c měrná axiální síla

A celková plocha základny kužele

$$f_s = \frac{F_s}{A} \quad (6)$$

f_s měrné lokální plášťové tření

F_s měrná třecí síla

A plocha manžety

5.1.3 Druhy penetrometrů

V současné době je široký výběr z přístrojů na statickou penetraci. Penetrometry dělíme podle jejich výkonu a hmotnosti na následující druhy:

- lehké penetrometry,
- středně těžké penetrometry,
- těžké penetrometry.

Lhké penetrometry mohou být ruční anebo s jednoduchou hydraulikou. Výhodou zmíněných penetrometrů je použití v těžce přístupných podmínkách, protože mají nízkou hmotnost. Tyto penetrometry mají kapacitu zatlačení maximálně do 40 kN, maximální hloubku sondy jsme tedy schopni provést od 4 do 6 metrů.

Středně těžké penetrometry jsou asi neoblíbenější skupinou používanou v dnešní době. Maximální kapacita zatlačení těchto penetrometrů je od 70 do 120 kN. Penetrometr je připevněný na dvoukolovém přívěsu, který je možné připojit za terénní vůz. Oproti lehkým penetrometrům, díky větší tlačné kapacitě, je možné provádět zkoušky až do hloubky 20 metrů.



Obrázek 22. Středně těžká penetrační souprava Pagani TG 63-100 [Direct industry]

Těžké penetrometry se používají v zeminách jako jsou ulehle štěrky, zvětralé poloskalní horniny, hlíny a jíly s pevnou konzistencí. K provádění se používají těžké skříňové automobily nebo je zařízení umístěné na čtyřkolovém podvozku. Maximální tlačná kapacita se v této skupině pohybuje od 200 do 300 kN. Výhodnou těžkých penetrometrů je jejich hmotnost, která nám dává dostatečnou protizátěž. [5]



Obrázek 23. Statické penetrační soupravy typu Gouda Holland

5.1.4 Pracovní postup metody

Pracovní postup penetrační zkoušky je založený na principu zatlačování sondy ukončené penetračním hrotem do zkoumané zeminy. Stroj zaznamenává sílu, kterou je potřeba k zatlačení hrotu do zeminy a odpor, který zemina klade. Zkouška začíná tím, že zvolíme vhodné místo, kde chceme zkoušku provádět. Při výběru místa musíme také myslet na přístupovou cestu. K provádění těžké penetrační zkoušky musíme zajistit přibližně vodorovnou plochu pro měření a místo asi 2,5 x 8 m. [9]

Před samotným měřením se musíme ujistit, že jsou funkční veškeré mechanické části přístroje a měřicí zařízení. Jakmile se nejedná o přístroj nainstalovaný na podvozku soupravy, je nutné měřicí přístroj pečlivě ukotvit. Ukotvení se používá, aby vyvinulo dostatečnou reakci proti zatlačení sondy. Po ukotvení je nutné provést kalibraci přístroje. Tu provedeme tak, že tyčí protáhneme měřicí kabel a na hrot vyvineme dostatečný tlak a ihned odlehčíme. [5]

Při samotném měření musí být stroj dostatečně stabilizován, aby nedocházelo k velkým pohybům při měření, to by mohlo výsledky zkreslovat. Penetrační soutyčí musí být pevně spojeno a při měření se nesmí soutyčím otáčet, vibrovat, nebo ho zarážet více do země. CPT měření se může provádět buď přerušovaně nebo nepřerušovaně. K nepřerušovanému měření je potřeba speciální hydraulická konstrukce. Přerušování při měření je pouze čas k našroubování další tyče, aby bylo možné provést měření do požadované hloubky. Po aplikování tyče dynamická penetrační zkouška pokračuje. [5]

5.1.5 Výsledky zkoušky a vyhodnocení

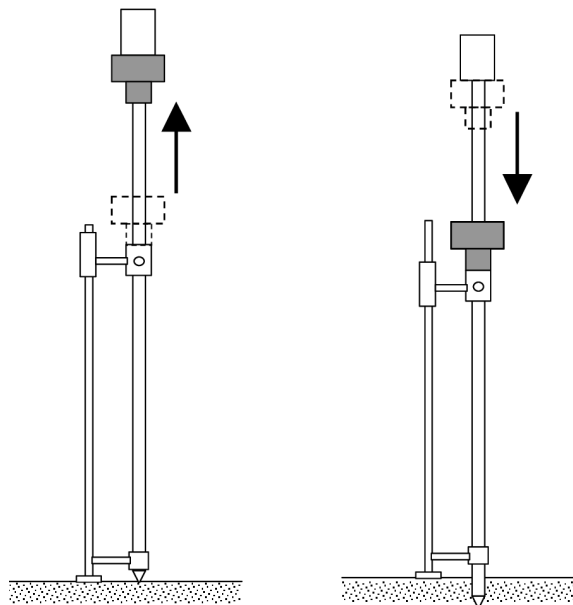
V dnešní době se nejvíce používají penetrometry, které umožňují zaznamenávání dat v průběhu celé zkoušky. Hodnoty získané z průběhu zkoušky můžeme vyhodnotit v grafické, ale i číselné podobě. Výhodou grafických záznamů je okamžitá názornost dané problematiky území. Průběhy grafů u těžkých penetračních zkoušek můžeme okamžitě pozorovat již při provádění, a to na monitorech umístěných v kabině vozu.

Statické penetrační zkoušky mají nezastupitelné místo během sanací základů budov a svahů, kde se uplatňuje zejména rychlost a operativnost kontroly. Výhodou při monitorování oblastí v delším časovém horizontu je možné provádět více měření prakticky ve stejných místech. [5]

5.2 Kontrola sanace pomocí dynamické penetrační zkoušky

5.2.1 Vývoj metody

Dynamická penetrační zkouška se řadí mezi nejstarší průzkumnou metodu podloží. První záznamy o dynamické penetrační zkoušce řadíme do roku 1902, kdy Charles R. Gow navrhl princip odebrání vzorku zeminy pomocí dynamicky zaraženého vzorkovače o hmotnosti 50 kg. Roku 1930 G.A. Fletcher a H.A. Mohrom navrhli přístroj na dynamickou penetrační zkoušku s beranidlem o hmotnosti 63,5 kg a s výškou dopadu 76,2 cm pod názvem *Standard Penetration Test* (SPT). Na území České a Slovenské Federativní Republiky dynamické penetrační zkoušky řadíme do začátku 50. let, kdy zásluhou A. Dvořáka byla vydána ČSN 731821 *Stanovení ulehlosti písku dynamickou penetrační zkouškou*. Obsahem normy bylo použití a zhodnocení SPT zkoušky. Následně v roce 1977 byly normovány dle ISSMFE (International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering) čtyři kategorie přístrojů pro realizaci dynamických penetračních zkoušek, a to lehké, střední, těžké a velmi těžké. Tyto kategorie jsou používány dodnes. Česká platná norma upravující dynamické penetrační zkoušky je ČSN EN ISO 22476–2. [9]



Obrázek 24. Princip dynamické penetrační zkoušky [SemanticScholar]

5.2.2 Princip metody

Metodu lze rozdělit do třech základních skupin, a to podle typu přístroje a hmotnosti beranidla:

- lehká dynamická penetrace (Dynamic probing light – DPL),
- střední dynamická penetrace (Dynamic probing medium – DPM),
- těžká dynamická penetrace (Dynamic probing heavy – DPH),
- velmi těžká dynamická penetrace (dynamic probing super heavy – DPSH).

Toto rozdělení je doporučeno Mezinárodní společností pro mechaniku zemin a zakládání staveb (ISSMFE).

Při lehké dynamické penetraci používáme beranidlo o hmotnosti ($Q=10$ kg), tím pádem je přístroj lehce přenosný a jeho výhodou je možnost použití v těžce přístupném terénu.

Střední dynamická penetrace je opatřena beranidlem o hmotnosti ($Q=30$ kg), obvykle je přístroj převážen na staveništi pomocí vozíku.

Těžká a velmi těžká penetrační souprava je většinou opatřena pásy, koly (nebo je součástí jiného měřicího přístroje) a tíha beranidla je ($Q=50$ kg) a ($Q=62,5$ kg).



Obrázek 25. Velmi těžká penetrační souprava [InsituTest]

Veškeré parametry kuželů dle typu dynamické penetrační zkoušky podléhají požadavkům na přesnost podle tabulky č. 2 (ČSN EN ISO 22476-2). [9]

Přístroj na dynamickou penetraci	Zn.	Jed n	DPL (lehká)	DPM (střední)	DPH (těžká)	DPSH (velmi těžká)	
						DPSH-A	DPSH-B
Hmotnost beranu	m	kg	10 ± 0.1	30 ± 0.3	50 ± 0.5	63.5 ± 0.5	63.5 ± 0.5
Výška pádu	h	mm	500 ± 10	500 ± 10	500 ± 10	500 ± 10	750 ± 20
Průměr	d	mm	50 < d < D _h ^a	50 < d < D _h ^a	50 < d < 0.5 D _h ^a	50 < d < 0.5 D _h	54 < d < 0.5 D _h ^a
Hmotnost (max.) (včetně vodící tyče)	m	kg	6	18	18	18	30
90° Kužel							
Jmenovitá plocha základny	A	cm ²	10	15	15	16	20
Průměr základny, nové	D	mm	35.7 ± 0.3	43.7 ± 0.3	43.7 ± 0.3	45.0 ± 0.3	50.5 ± 0.5
Průměr základny, opotřebované (min.)		mm	34	42	42	43	49
Délka pláště (mm)	L	mm	35.7 ± 1	43.7 ± 1	43.7 ± 1	90.0 ± 2 ^b	51 ± 1
Délka hrotu kužele		mm	17.9 ± 0.1	21.9 ± 0.1	21.9 ± 0.1	22.5 ± 0.1	25.3 ± 0.4
Max. dovolené opotřebení hrotu		mm	3	4	4	5	5
Zarážecí soutyčí ^c							
Hmotnost (max.)	m	kg/m	3	6	6	6	8
Průměr OD (max.)	d _r	mm	22	32	32	32	35
Odchylka tyče ^d							
Nejnižších 5 m		%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Zbytek		%	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Měrná práce za úder	mgh/AE _n	kJ/m ²	50	100	167	194	238
a Dh průměr beranu, v případě čtvercového tvaru se za shodný průměr uvažuje menší rozměr beranu.							
b pouze pro kužel na ztraceno							
c maximální délka tyče nesmí překročit 12 m							
d odchylka tyče od svislice							
POZNÁMKA Udané tolerance jsou tolerance výrobní.							

Tabulka 2. dle ČSN EN ISO 22476-2

Výsledkem měření dynamické penetrace je měrný dynamický odpor q_{dyn} . Pro výpočet dynamického odporu je možno použít více metod. Pro vyhodnocení je tedy důležité vědět, podle kterého autora byl výpočet proveden. Nejpoužívanější vzorec doporučený od ISSMFE (International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering):

$$q_{dyn} = \frac{Q}{Q+q} \frac{Qh}{As} \quad (7)$$

q_{dyn} měrný dynamický odpor

Q tíha beranidla (kN)

A plocha příčného řezu hrotu (m^2)

s délka zaražení hrotu při jednom úderu (m)

h výška pádu beranidla (m)

Penetrační odpor, který klade soutyčí proti zkoumané zemině, je definován jako počet úderů potřebných k zaražení kužele o délku 100 mm (N_{10}). [9]

5.2.3 Pracovní postup metody

Princip dynamické penetrační zkoušky spočívá v zarážení soutyčí ukončené hrotem do zkoumané zeminy. Soutyčí je opatřeno beranidlem, které svým pádem z konstantní výšky umožňuje zarážení tyče do zeminy, kdy zařízení musí být ukotvené ve svislé pozici na povrchu terénu. Soutyčí se při zkoušce nesmí vychýlit o více než 2° , při překročení je zkouška zastavena. Během zkoušky se do tabulky zaznamenávají počty úderů, které většinou ukončujeme po překročení 50 úderů ($N_{10} = 50$), nebo po dosažení požadované hloubky. Soutyčí je rozděleno na metrové kusy a ty se postupně přidávají. [9]

5.2.4 Penetrační kužel a příslušenství

K zarážení soutyčí je použito beranidlo, které klade minimální odpor při pádu z konstantní výšky. Při uvolňování zatěžovacího prvku musí mechanismus zajistit hladký plynulý pád, bez známek nežádoucích pohybů soutyčí. Kovadlina a hlavice musí být pevně spojeny s horní částí přístroje, kde je jeho součástí vodící zařízení pro zaručení svislosti soutyčí.

Kovadlina je vyráběna z vysokopevnostní oceli. Do části mezi beranidlo a kovadlinu lze instalovat tlumič nebo podložku pro ztlumení dopadu.

Kužel je také vyráběn z oceli a jeho vrcholový úhel musí být 90°. Je opatřen vrchním válcovým rozšiřovacím pláštěm a přechodem na nastavovací tyč. Kužel může být pevný pro opětovné použití, nebo kužel tzv. na ztraceno (na jedno použití).

Zarážecí soutyčí musí být vyrobeno z vysokopevnostní oceli a její vlastnosti by měly zajistit, aby byly příslušné činnosti prováděny bez nadměrné deformace a opotřebení. Soutyčí musí mít hladký rovný povrch a pro snadnější zasunutí klíče má uzpůsobené drážky. Průhyb nastavovaného soutyčí by neměl přesáhnout 1/1000 délky tzn. 1 mm na 1m délky.

Pro měření momentu je zapotřebí použití momentového klíče nebo speciálního měřicího zařízení. Stupnice pro odečítání momentů musí být dělena alespoň po 5 Nm a celkový rozsah by měl být nejméně 200 Nm, může být také použit snímač pro zaznamenávání momentů.

K ostatnímu vybavení patří např. čítač úderů, který podle mechanických nebo elektrických impulsů měří potřebné údery.



Obrázek 26. Středně těžká penetrační souprava

Měření hloubky penetrace je buď pomocí přímého odčítání nebo pomocí snímačů, u kterých musí být rozlišovací schopnost alespoň 1/100 délky.

Pro kontrolu geometrie kuželu se používá posuvné měřítko s rozlišením 1/10 mm a pro kontrolu vychýlení tyče se používá vodící lišta, která zaručuje vertikální polohu soutyčí. [9]

5.2.5 Výsledky zkoušky a vyhodnocení

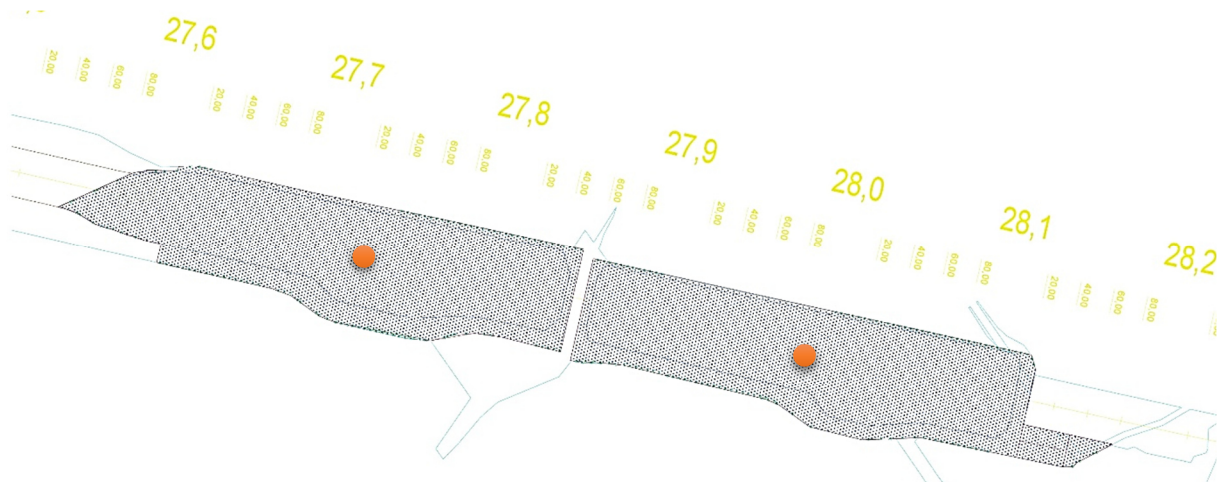
Výsledky penetrační zkoušky je možné použít pro stanovení mechanických a pevnostních vlastností zeminy, pro stanovení vrstev podloží nebo pro navrhování základových konstrukcí. Do grafu se vynášejí dvě osy, které nám ukazují počet úderů potřebných na zařazení hrotu o délku 10 cm a na druhou celkovou hloubku sondy. [9]

6 Výsledky zkoušek a zhodnocení

6.1 Zhodnocení statické penetrační zkoušky

Zkoušky statické penetrace byly provedeny před a po dokončení zlepšování zeminy na budoucím úseku dálnice D35 Ostrov – Časy. Statická penetrační zkouška na stavbě byla provedena pomocí těžké statické penetrační soupravy typu Gouda Holland s tlačnou kapacitou 200 kN. Zkoušky jsem se osobně zúčastnila a mohla tak pozorovat celý průběh realizace.

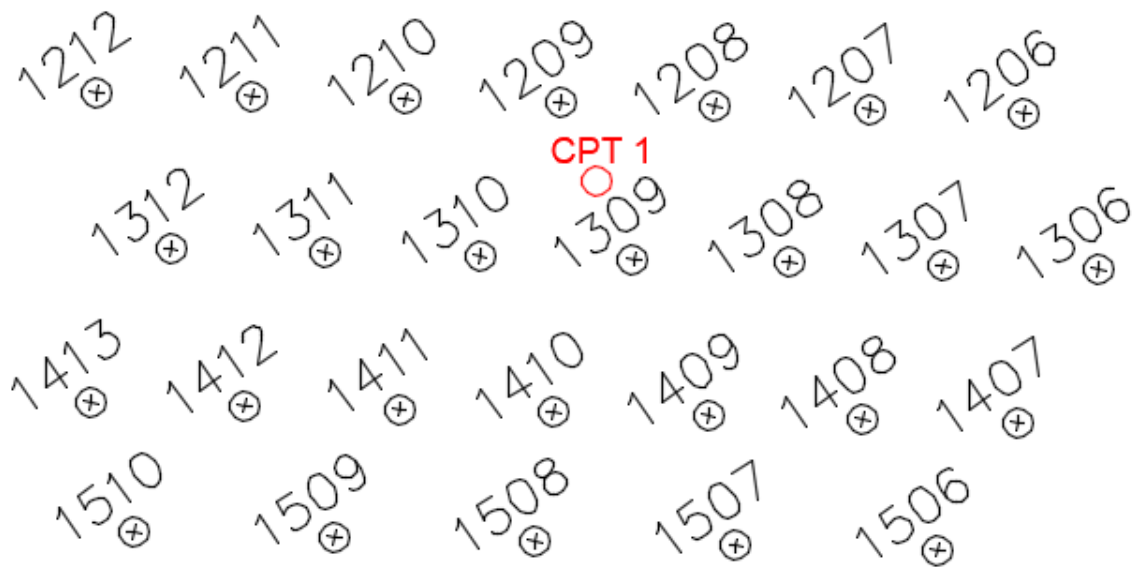
Štěrkové pilíře byly realizovány pod celou plochou násypů a zkoušky se prováděly na vytyčených místech, které byly určeny už před zahájením realizace projektu. Na obrázku 12. je vidět tmavší barvou zlepšovaná plocha a oranžovou barvou jsou vidět body, kde probíhala statická penetrace. V grafech statické penetrační zkoušky můžeme modrou barvou vidět stav před realizací štěrkových pilířů a oranžovou křivkou stav po realizaci.



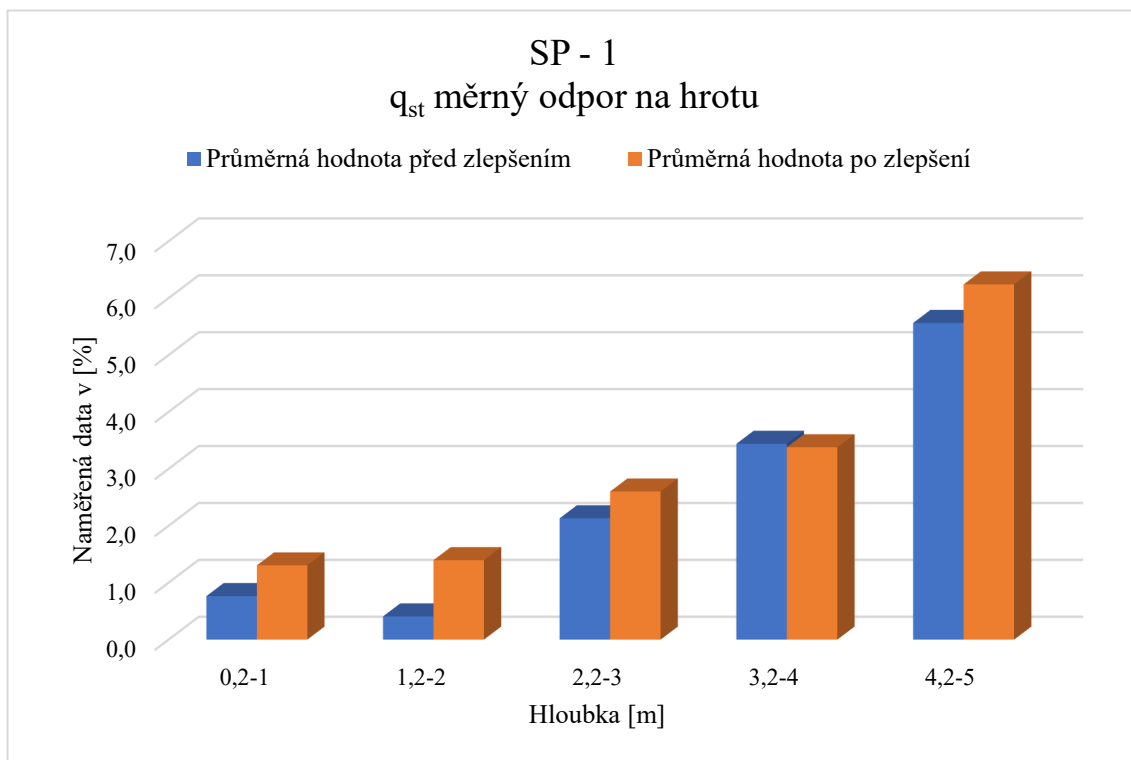
Obrázek 27. Schéma umístění CPT zkoušek



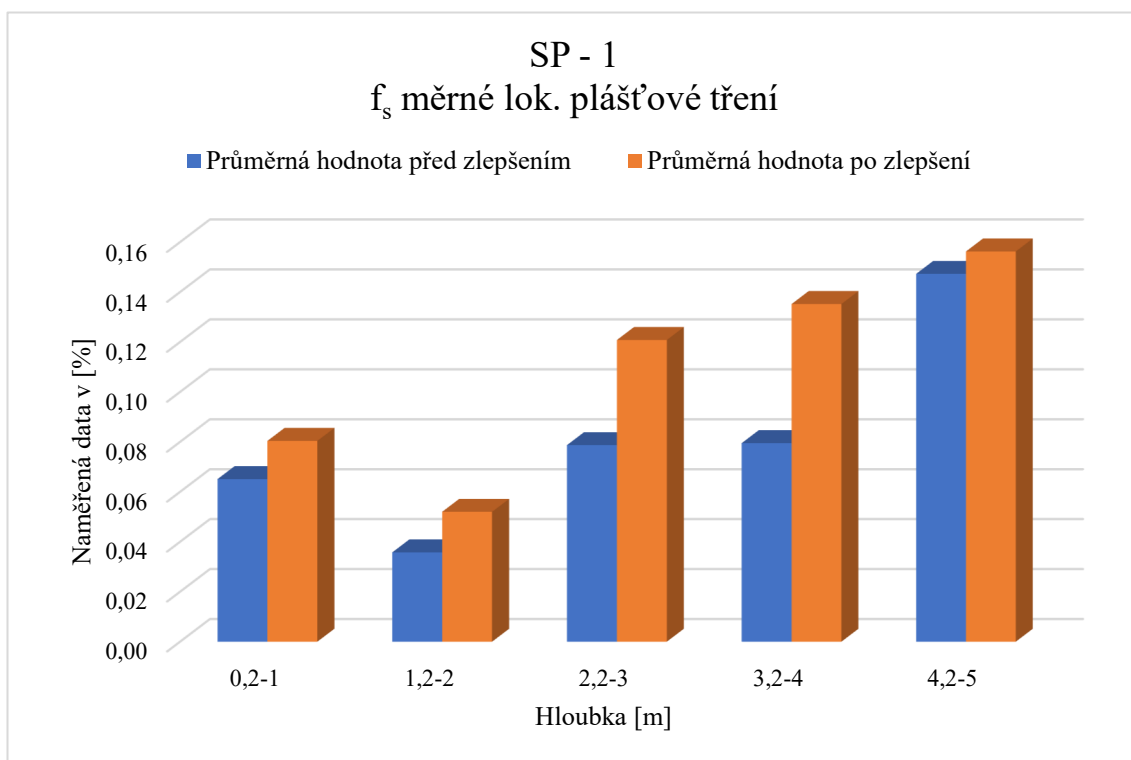
Obrázek 29. Schéma umístění sondy statické penetrační zkoušky



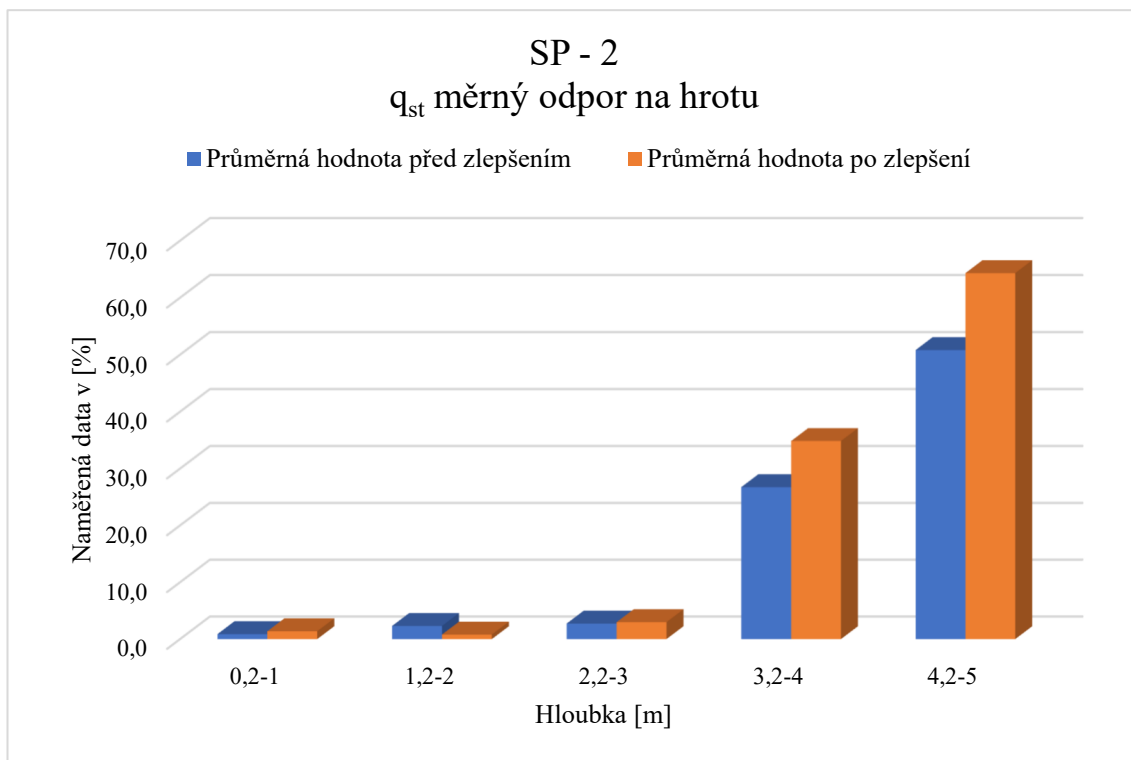
Obrázek 28. Schéma umístění sondy statické penetrační zkoušky



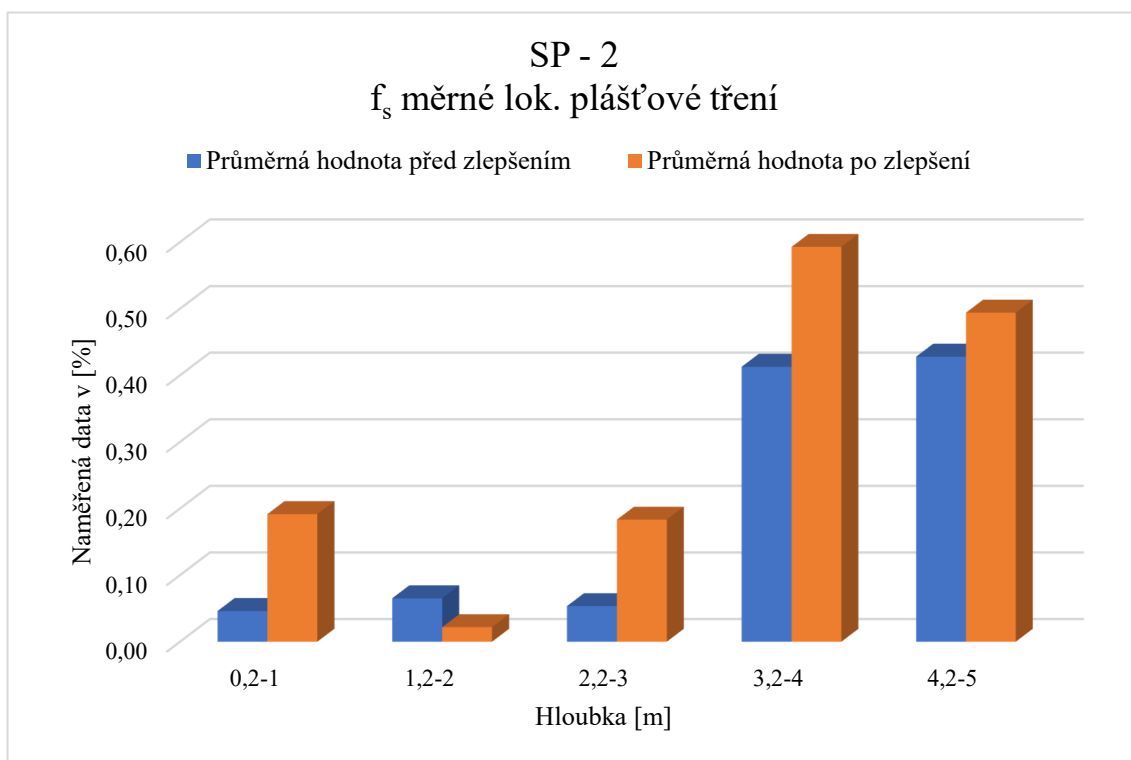
Graf 1. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}



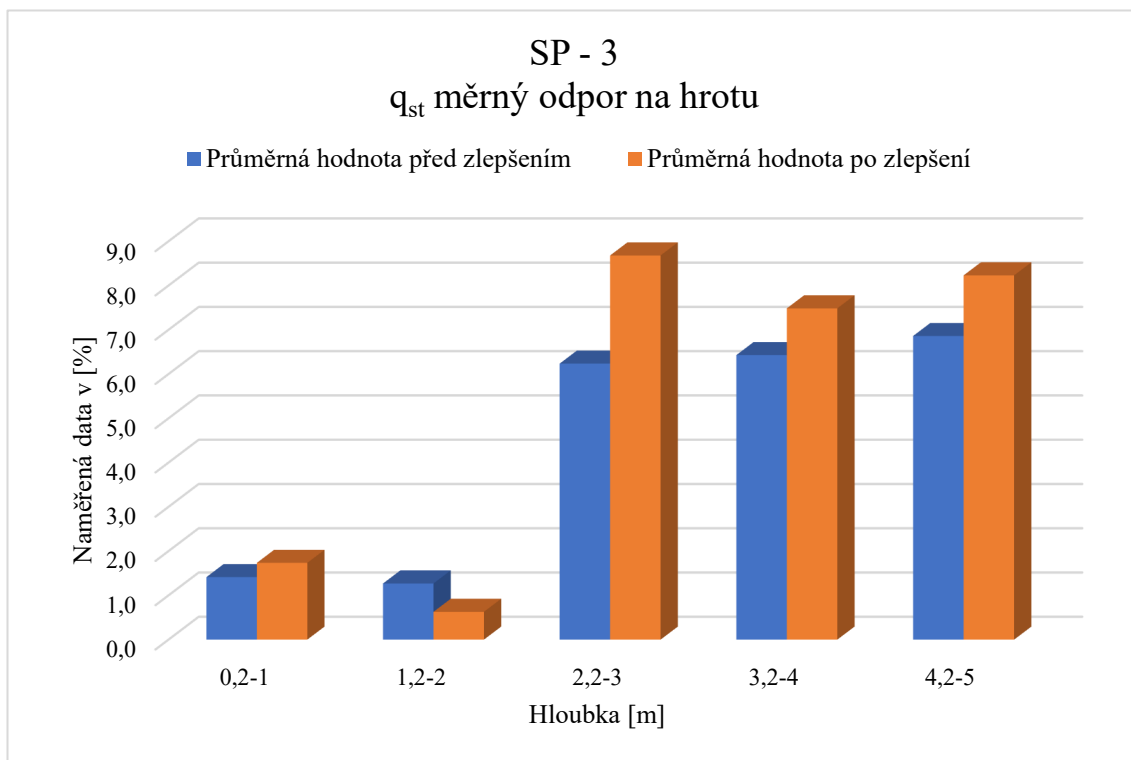
Graf 2. Grafické vyhodnocení výsledků f_s



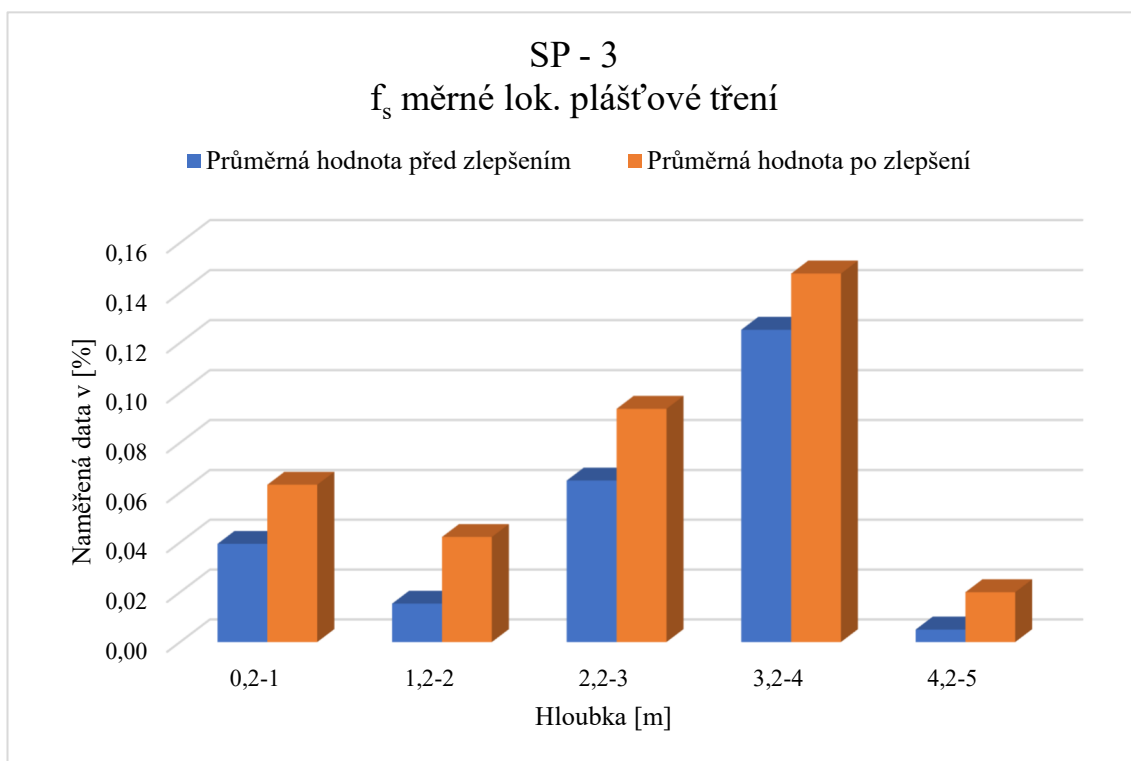
Graf 3. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}



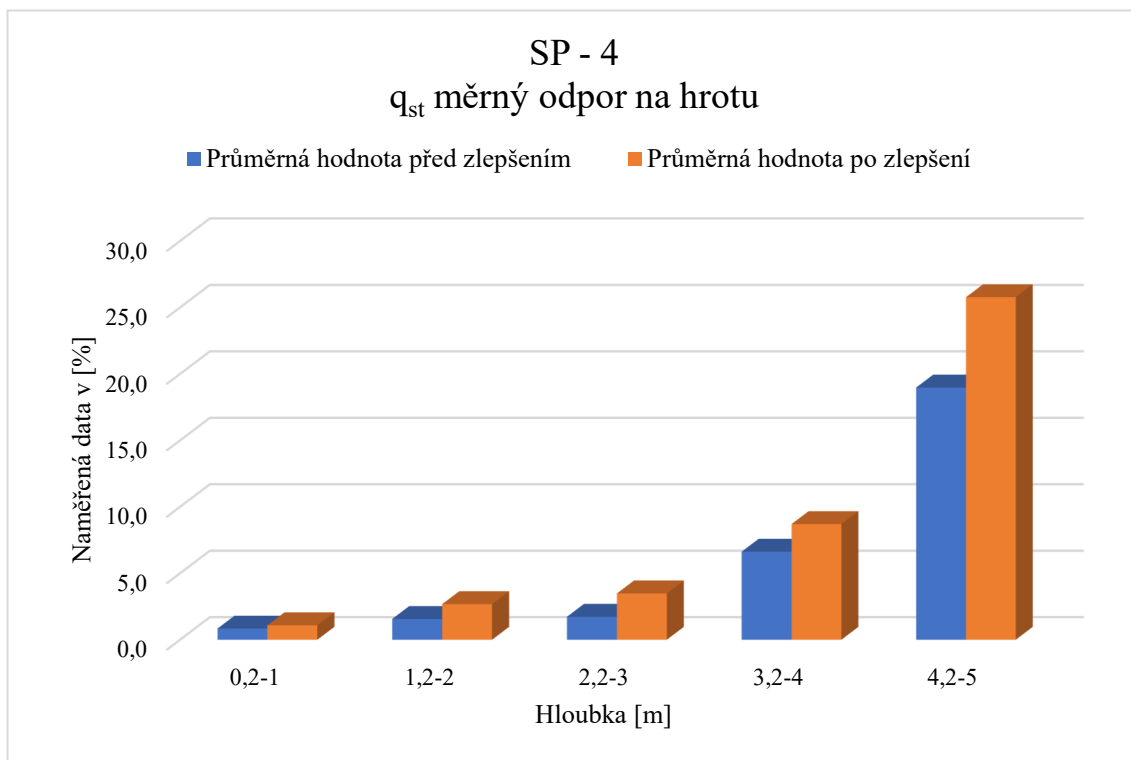
Graf 4. Grafické vyhodnocení výsledků f_s



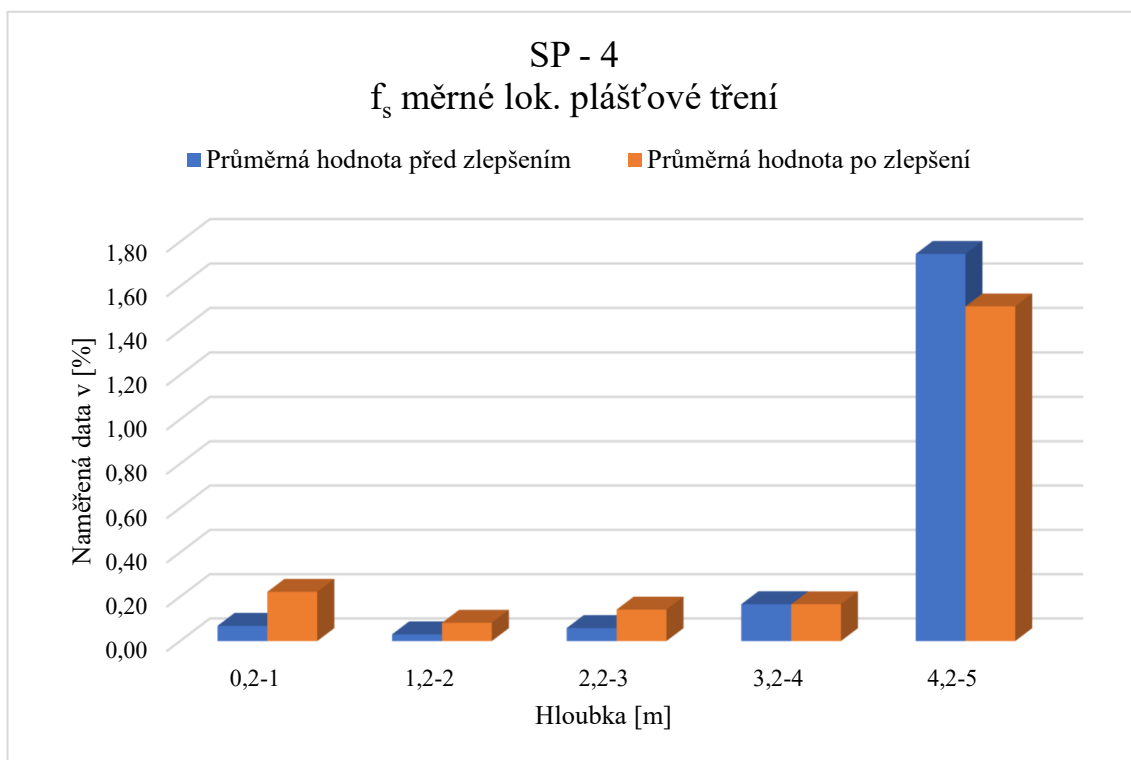
Graf 5. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}



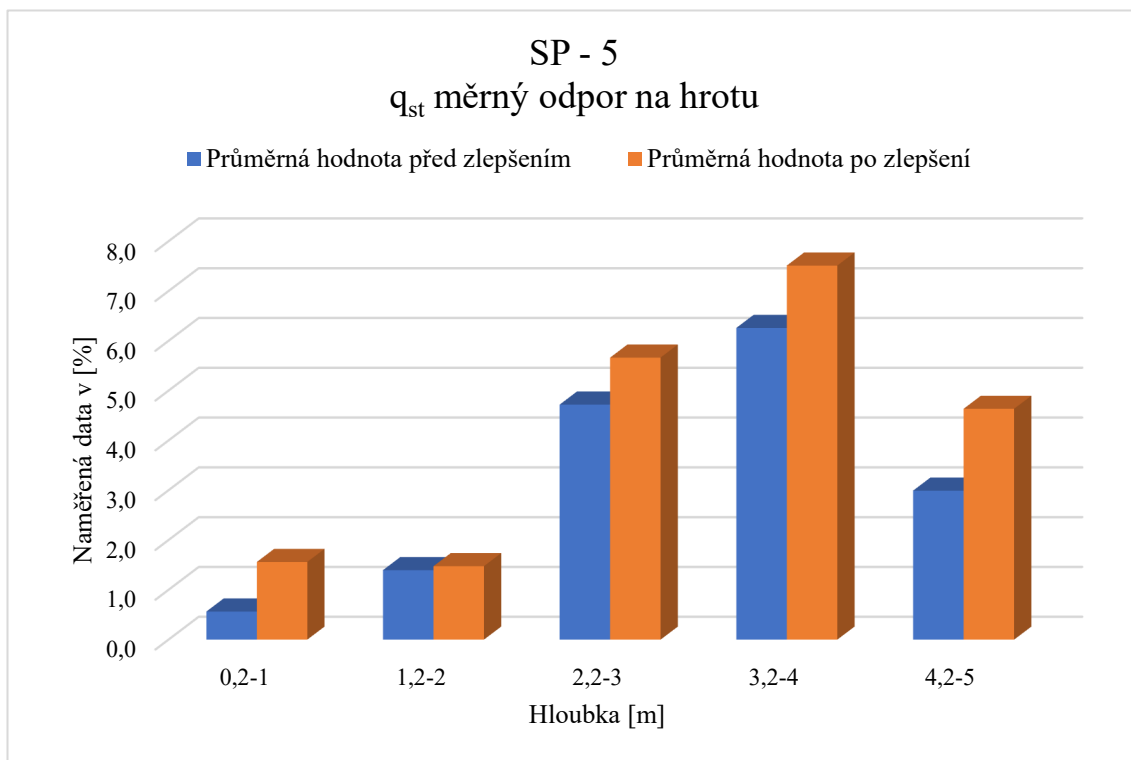
Graf 6. Grafické vyhodnocení výsledků f_s



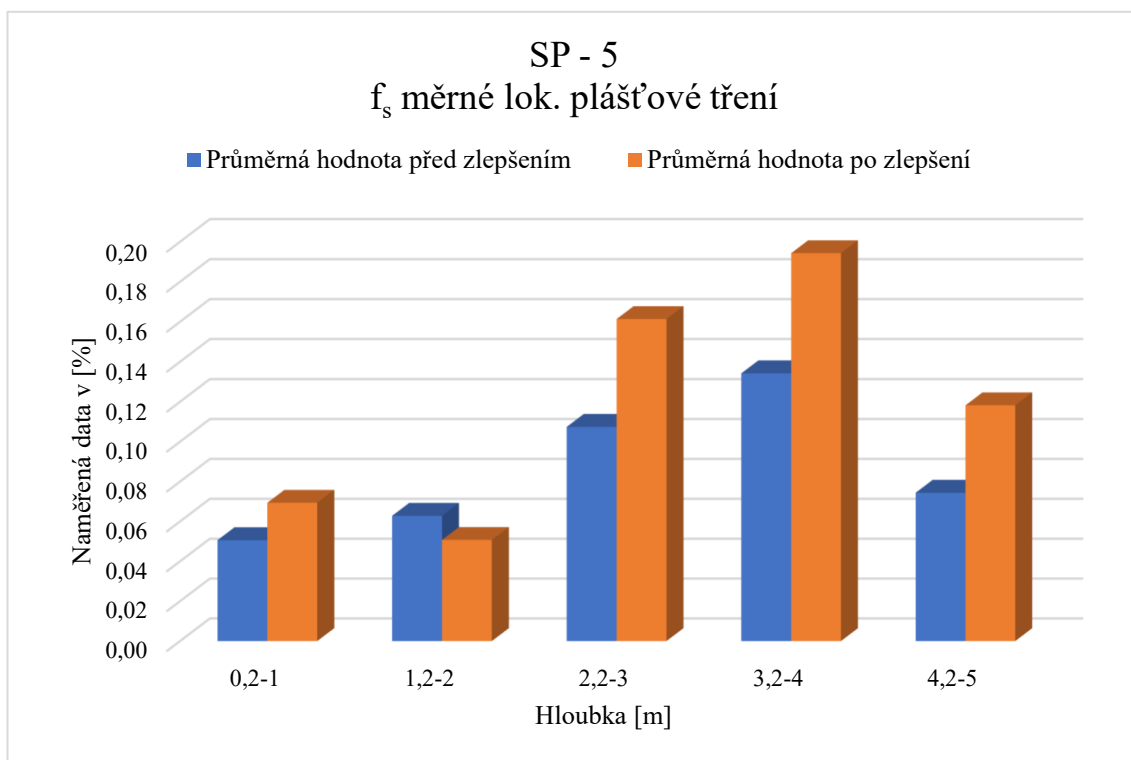
Graf 7. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}



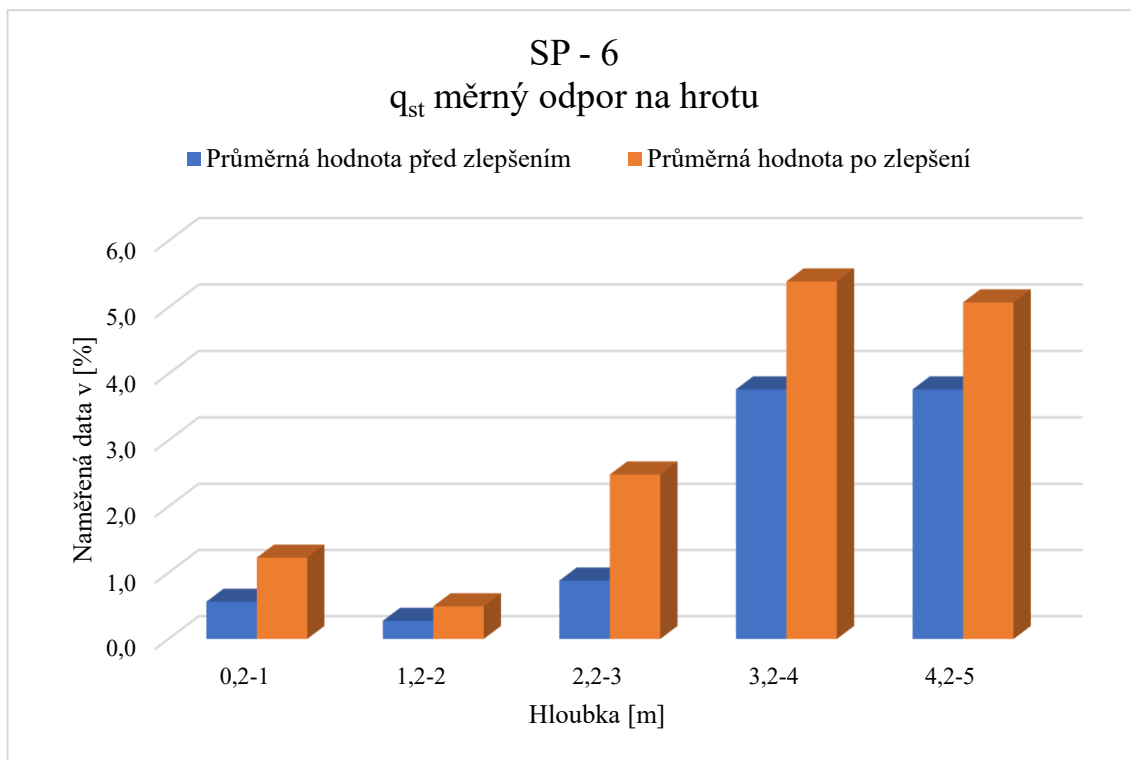
Graf 8. Grafické vyhodnocení výsledků f_s



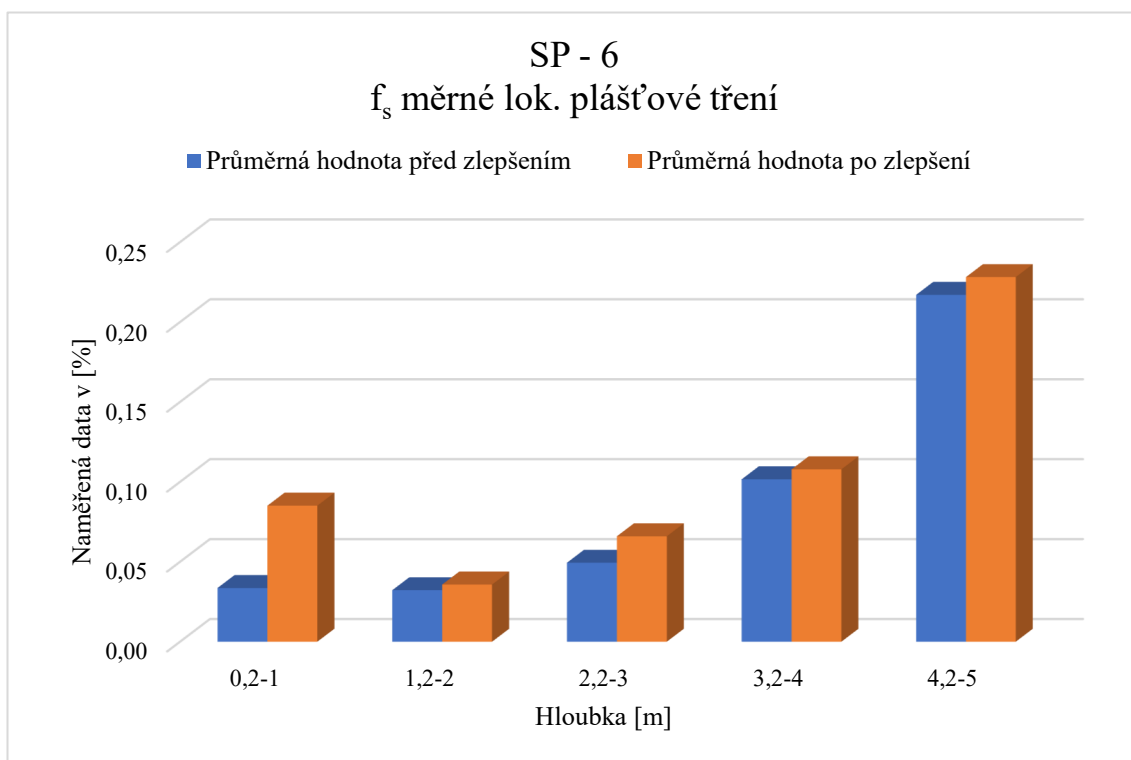
Graf 9. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}



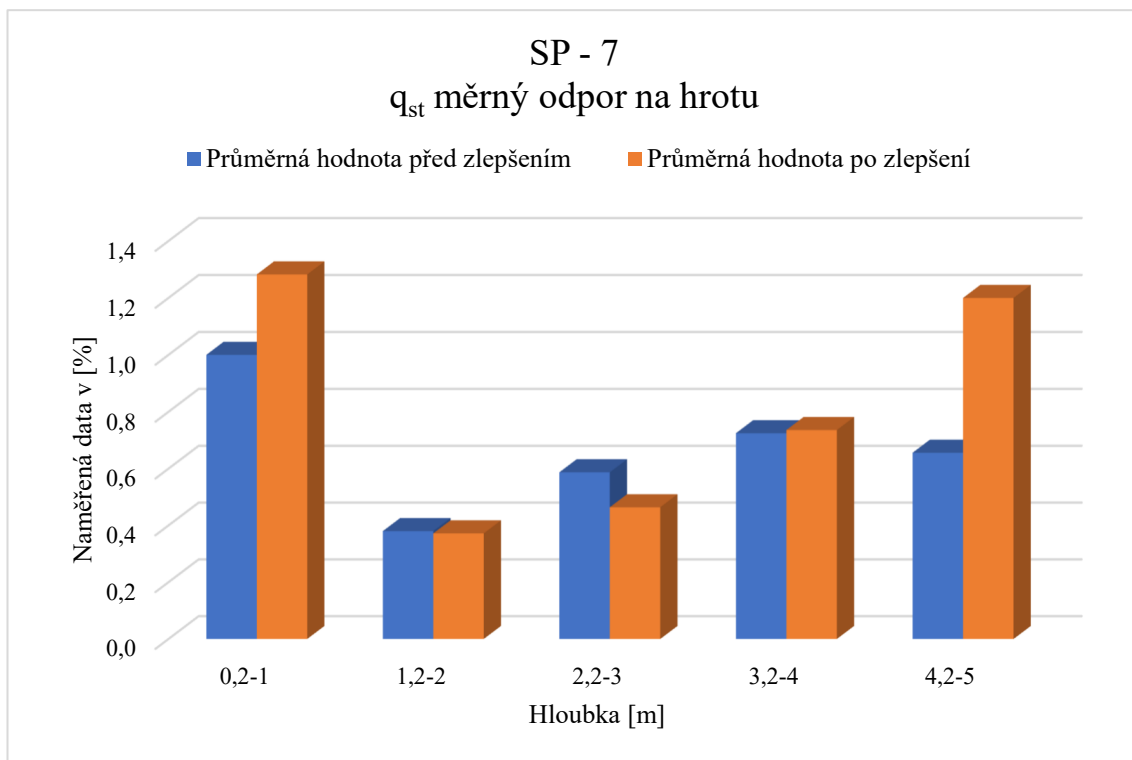
Graf 10. Grafické vyhodnocení výsledků f_s



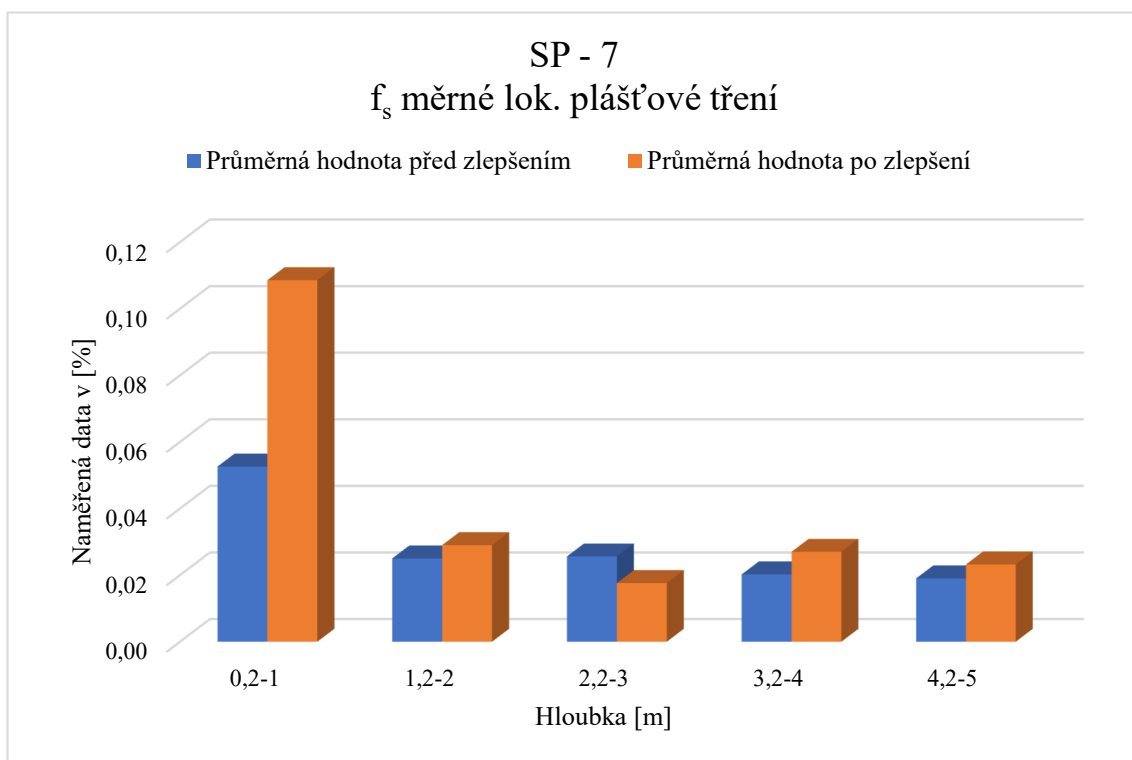
Graf 11. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}



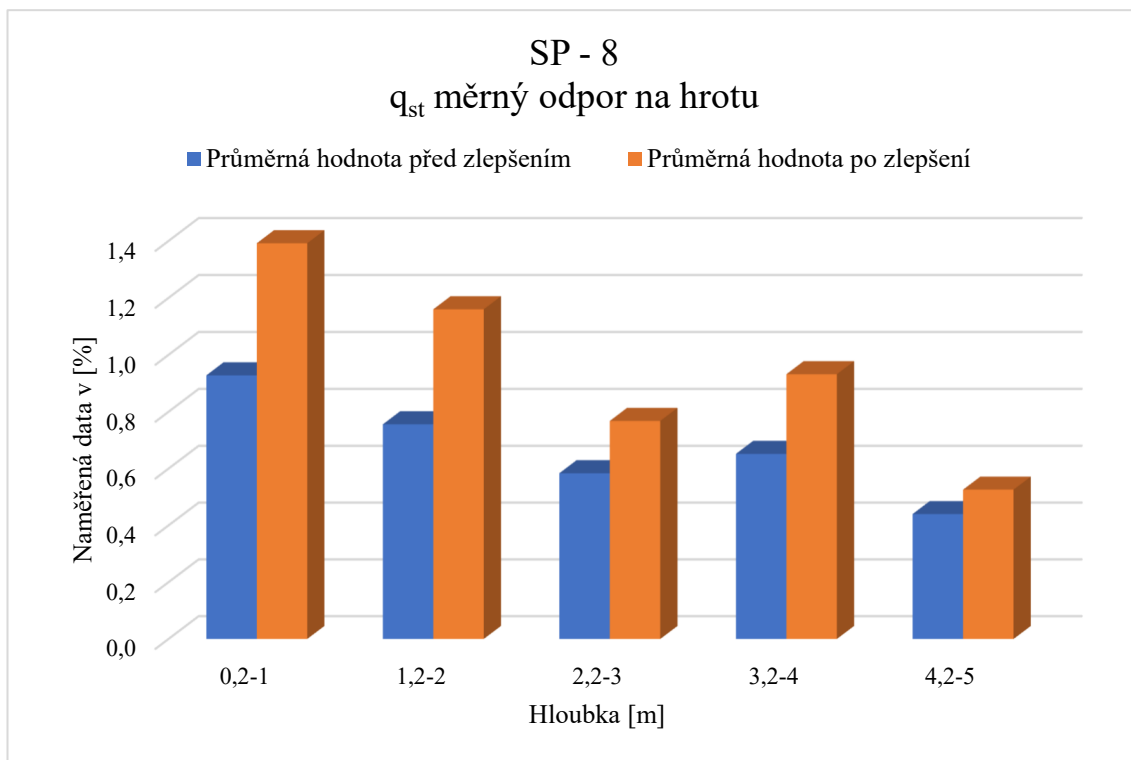
Graf 12. Grafické vyhodnocení výsledků f_s



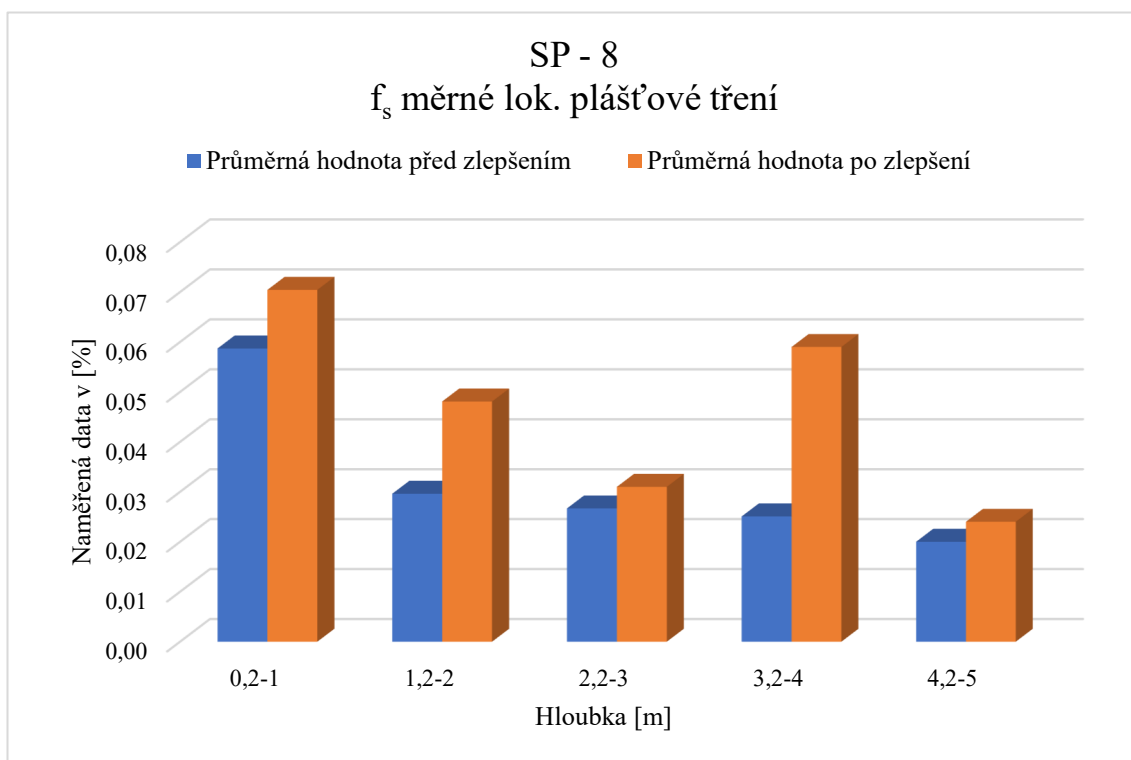
Graf 13. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}



Graf 14. Grafické vyhodnocení výsledků f_s



Graf 15. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}



Graf 16. Grafické vyhodnocení výsledků f_s

Po realizaci štěrkových pilířů se zvýšily parametry q_{st} a f_s . Znamená to, že při měření byl vyvinut větší tlak vůči hrotu a plášti soutyčí, kterým bylo prováděno měření statické penetrace. Štěrkové pilíře napomohly k uvolnění pórových tlaků, a tím se zlepšila smyková pevnost zeminy. Celkové zlepšení měrného odporu na hrotu je tedy o 32,47 % a měrného lokálního plášťového tření je o 34,89 %. Pro výpočet pevnostních parametrů jsem použila průměrné hodnoty po 1 m hloubky a regulovala vzniklé anomálie.

Dle výsledných grafů mohu konstatovat, že obecně se nejlepší hodnoty jeví v oblastech výskytu jílovitých zemin a hlín. V těchto zeminách dosahují hodnoty nejlepších výsledků, a proto štěrkové pilíře se převážně používají v soudrzných zeminách. Očekávaný efekt zlepšení parametrů zeminy v oblasti propustných nesoudrzných zemin nebyl prokázán.

V některých částech jsou naměřené hodnoty měrného odporu a plášťového tření před realizací vyšší než po realizaci, a to může být z důvodu výskytu měkkých jílu, písčítých jílu nebo rašelin, písků s jílovitou výplní, které jsou nasyceny vodou. Drenážní funkce štěrkových pilířů ale zajistí, že po zatížení zlepšované zeminy dojde k drenážnímu účinku a ke změně pórových tlaků.

Jelikož zkoušení podloží proběhlo těsně po realizaci štěrkových pilířů, dá se předpokládat, že budou měřené parametry v čase ve vazbě na urychlení konsolidace dosahovat lepších hodnot. Urychlení konsolidace se projeví až po čase, proto by jistě bylo vhodné provést kontrolní zkoušky v dané lokalitě ještě jednou s odstupem času. Dalším faktem je, že při realizaci štěrkových pilířů jsou použity těžké vrtné soupravy, které vytváří silné vibrace a může tedy dojít ihned po realizaci ke zvýšení pórových tlaků. Ovšem pilíře mají funkci drenážní, proto se začnou s odstupem času hodnoty snižovat.

I když nedošlo ke značnému zlepšení v každé vrstvě geologického profilu, v celkovém výpočtu průměrných hodnot a po regulování vzniklých anomálií došlo přibližně k 30% zlepšení. V husté síti instalovaných pilířů je zaručeno zpevnění podloží a urychlení konsolidace. Odhady na sedání násypů byly v těchto oblastech určeny přibližně na 20 měsíců. Po zlepšení podloží štěrkovými pilíři a po vyhodnocení mnou provedených zkoušek mohu konstatovat, že urychlení může být až o 6 měsíců.

Vyhodnocení totálního parametru C_u

Před zahájením prací je důležité vyhodnotit daný parametr C_u pro posouzení, zda je použití metody šterkových pilířů na daném místě žádoucí. Po vyhodnocení naměřených dat pomocí metody Robertson 2013 mohu říct, že zlepšení zeminy bylo efektivní.

Hlavním ukazatelem neodvodněná koheze C_u :

- **15 kPa až 80 kPa** – šterkové pilíře jsou vhodné
- **Nižší než 15 kPa** – nevhodné použití, neboť většinou touto metodou nedocílíme vhodných výsledků zlepšení
- **Vyšší než 80 kPa** – nevhodné řešení zlepšování zeminy, neboť výsledky zlepšení nejsou adekvátní rozsahu a množství pilířů

Dle tabulky č. 3 mohu říct, že hodnoty se pohybují mezi 15–80 kPa a zlepšení totální smykové pevnosti je zaručeno v každém místě, kde byla provedena kontrola zlepšení pomocí statické penetrační zkoušky.

Vyhodnocení totálních parametrů smykové pevnosti pomocí vzorce:

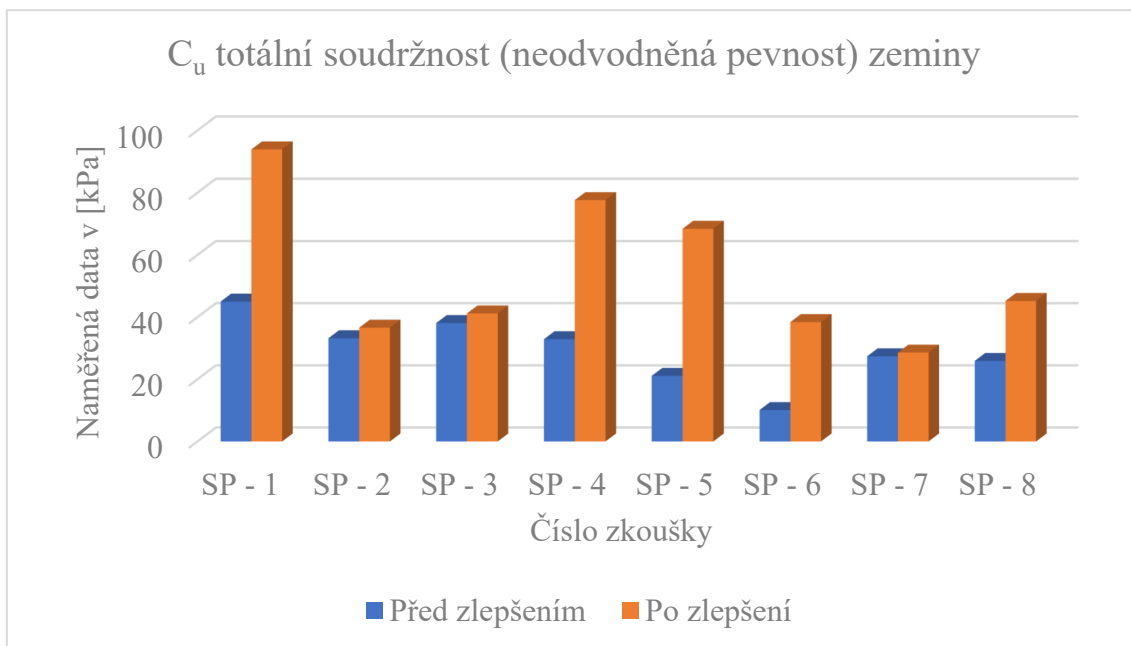
$$C_u = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}} \quad (8)$$

C_u totální soudržnost (neodvodněná pevnost) zeminy

q_t totální měrný penetrační odpor

σ_{v0} celkové napětí podloží

N_{kt} kónický faktor



Graf 17. Grafické znázornění naměřených hodnot C_u totální soudržnosti zeminy

C_u [kPa]		
Označení bodu	Před zlepšením zeminy	Po zlepšení zeminy
SP - 1	45	93,9
SP - 2	33,2	36,6
SP - 3	38,1	41,2
SP - 4	32,9	77,6
SP - 5	21,1	68,4
SP - 6	10,1	38,4
SP - 7	27,4	28,6
SP - 8	25,9	45,2

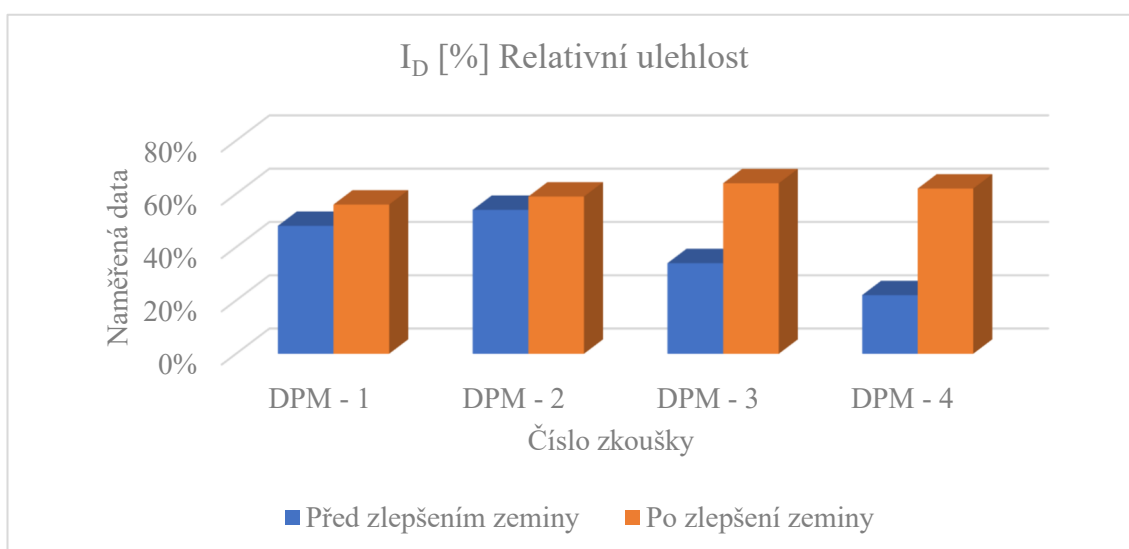
Tabulka 3. Totální parametry smykové pevnosti před a po zlepšení zeminy – C_u totální soudržnost (neodvodněná pevnost) zeminy

6.2 Zhodnocení dynamické penetrační zkoušky

Dynamickou penetrační zkoušku jsem prováděla samostatně za odborného dohledu stavbyvedoucího Ing. Martina Basla za pomoci soupravy s tíhou beranidla 30 kg. Zkouška byla prováděna ve stejných místech jako statická penetrační zkouška, a to v náhradní buňce mezi pilíři.

Pro vyhodnocení dynamické penetrační zkoušky jsem srovnávala parametr I_D – Relativní ulehlost. Pro porovnání hodnot jsem použila tabulku pro zatřídění zemin dle ČSN EN ISO 14688-2, kde jsou popsány ulehlosti zemin, dle procentuální hodnoty I_D . Dle grafu č.2 mohu konstatovat, že došlo ke zlepšení relativní ulehlosti.

U zkoušky č. 1 a 2 došlo ke zlepšení parametrů, kategorie středně uheľných zemin ovšem zůstává. U zkoušky č. 3 a 4 došlo k mnohem většímu nárůstu. Zeminy, které se před zlepšováním podloží řadily mezi kypré se nyní mohou řadit jako středně uheľlé.



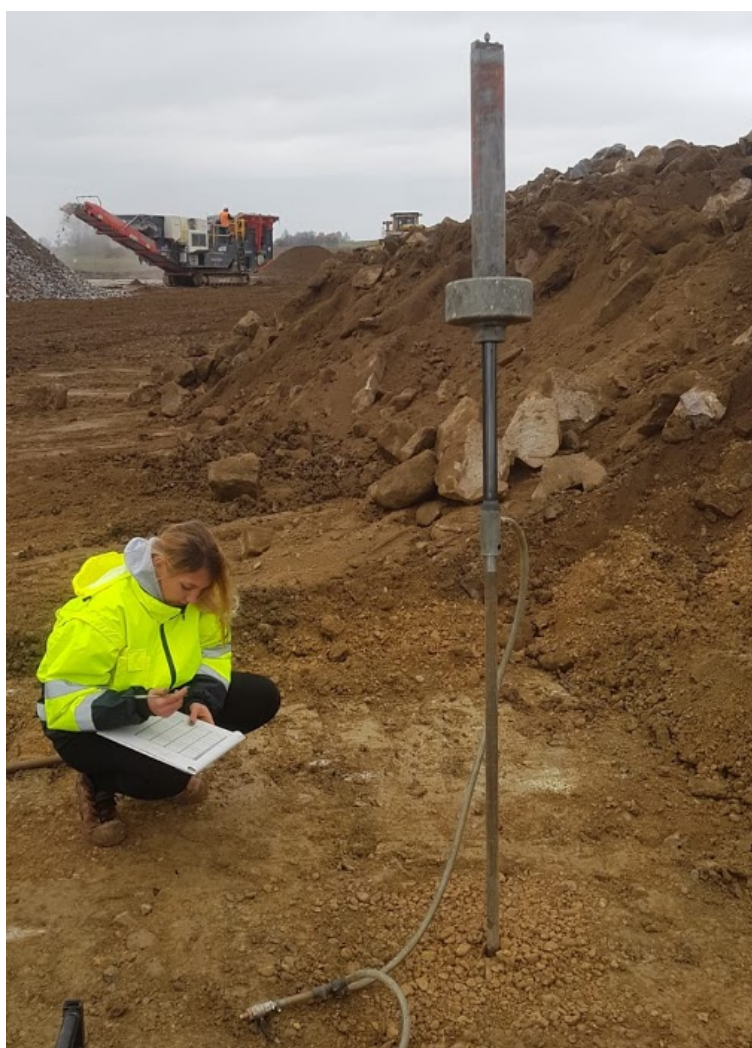
Graf 18. Grafické znázornění naměřených hodnot relativní ulehlosti I_D [%]

I_D [%]	Před zlepšením zeminy	Po zlepšení zeminy
DPM - 1	48	56
DPM - 2	54	59
DPM - 3	34	64
DPM - 4	22	62

Tabulka 4. Porovnání naměřených hodnot relativní ulehlosti I_D [%]

Zemina	Relativní ulehlost I_D [%]
Velmi kyprý	0–15
Kyprý	15–35
Středně ulehlý	35–65
Ulehlý	65–85
Velmi ulehlý	85–100

Tabulka 5. ČSN EN ISO 14688-2



Obrázek 30. Realizace dynamické penetrační zkoušky na D35



Obrázek 31. Fotografie z provádění dynamické penetrační zkoušky

6.3 Výhody a nevýhody použití štěrkových pilířů na dálnici D35

Mezi výhody technologie v první řadě patří použití štěrkového materiálu. Štěrka je přírodní materiál, proto nezpůsobuje znečišťování zeminy chemickými přísadami jako například beton. Štěrka také patří mezi reologické materiály, to znamená, že jeho mechanicko-fyzikální vlastnosti se prakticky v čase nemění na rozdíl od betonu. Mezi další výhody bych zařadila proces provádění technologie, který spočívá v roztlačování zeminy. Při vrtání totiž nevzniká žádný vývrtek, a tím odpadají veškeré náklady na odvoz zeminy. Dalším pozitivem je, že technologie se dá provádět v jakémkoliv ročním období. Štěrka totiž neprochází žádnými chemickými procesy, proto mohou práce probíhat v zimním období, ale i extrémně teplém.

Naproti tomu štěrka je v podstatě drahý materiál a spotřeba při realizaci je opravdu velká. Již přes 30 let se v České republice neotevřel žádný nový lom a materiál začíná pomalu, ale jistě docházet. Dále bych chtěla zmínit, že štěrkové pilíře se nehodí do heterogenního, ani tvrdého prostředí, protože jejich funkce není efektivně využita. Z provedených sondovacích vrtů bylo jasné, že v určitých místech musí být použity předvrty pro štěrkové pilíře. To znamená, že podloží bylo v celku tvrdé a dalo by se uvažovat nad použitím jiné technologie

zlepšování. Kombinace metod je velice výhodná a plně efektivní. Mohlo by se uvažovat např. o technologii betonových pilířů nebo vertikálních drénech.

Výhodou vertikálních drénu je jejich levná a relativně rychlá realizace. Vertikální drény jsou cenově výhodnější než štěrkové pilíře, ale proces konsolidace je výrazně pomalejší. Nevýhodou také je, že podloží nezlepšují narozdíl od štěrkových pilířů, ale pouze snižují hladiny podzemních vod a urychlují proces konsolidace.

Betonové pilíře by bylo výhodné použít, protože konsolidační proces je rychlejší než u štěrkových pilířů a násypy je možné realizovat už po 30 dnech. Nevýhodou je ovšem cenový rozdíl, kdy betonové pilíře by byly odhadem dražší o 20-30 %. V tomto případě byly štěrkové pilíře tou nejlepší možnou variantou, protože výstavba mostních objektů nepodléhala časové tísní a konsolidační proces může být pomalejší. Přesný cenový rozdíl v tuto chvíli nemohu konstatovat, protože před realizací nebyly porovnány kalkulace jiných technologií.

Závěr a doporučení pro praxi

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo zhodnotit problematiku sanace podloží pod násypy komunikace a přechodových oblastí mostních objektů na budoucím úseku dálnice D35 pomocí statické a dynamické penetrace. Zvolený typ sanačního opatření byl pomocí štěrkových pilířů, které byly realizovány pod celou plochou násypů přechodových oblastí celkem u 7 mostních objektů mezi staničením 27,61 – 31,20 km.

Po geotechnickém průzkumu území bylo zjištěno, že podloží není vhodné pro založení mostních objektů z důvodu výskytu převážně soudržných zemin. K založení násypu byla použita geosyntetika s hloubkovou úpravou nevyhovujících jemnozrnných zemin metodou štěrkových pilířů. Úpravou se docílilo zlepšení deformačních charakteristik podloží a snížení rozdílů v sedání u jednotlivých dílčích násypových úseků a k celkovému urychlení konsolidace. Metoda umožnila i lepší vyřešení problematiky přechodových oblastí navržených mostních objektů.

Pomocí statické a dynamické penetrační zkoušky byla provedena kontrola sanačního opatření. Statická i dynamická penetrační zkouška byla prováděna na stavbě před a po realizaci štěrkových pilířů na předem vytyčených bodech. Statická penetrace byla realizována specializovanou firmou na provádění zkoušek IN-SITU. Dynamickou penetrační zkoušku jsem na stavbě realizovala samostatně za odborného dohledu stavbyvedoucího Ing. Martina Basla.

Pro vyhodnocení statické penetrační zkoušky jsem zvolila postup porovnání průměrných hodnot před a po zlepšování podloží. Porovnání výsledků měrného odporu na hrotu q_{st} a měrného lokálního plášťového tření f_s mohu hodnotit jako úspěšné, kdy v celkovém poměru došlo ke zlepšení až o 30 %. Součástí práce také bylo vyhodnocení totálních parametrů smykové pevnosti C_u , které slouží jako jeden z mnoha parametrů ke zhodnocení vhodnosti a efektivnosti použití metody štěrkových pilířů v dané oblasti. Dle výsledků je zaručeno zlepšení parametrů smykové pevnosti v každém místě, kde byla provedena kontrola pomocí statické penetrační zkoušky.

Nedílnou součástí bylo vyhodnocení dynamické penetrační zkoušky, která byla provedena na stejně situovaných místech před a po realizaci. Pro vyhodnocení jsem srovnávala veličinu relativní ulehlosti I_D . Dle výsledků mohu říct, že u všech měření došlo ke zlepšení

relativní ulehlosti, dokonce u dvou měření došlo k velkému nárustu hodnot a zeminy, které se řadily mezi kypré, nyní mohu řadit jako středně ulehlé.

Dynamická penetrační zkouška je nejčastěji používaná polní zkouška pro průzkum podloží, a to z důvodu nízkých nákladů a snadné realizace. Statická penetrační zkouška nám poskytuje komplexnější geologický profil, nicméně proces dynamické penetrační zkoušky se podobá procesu provádění štěrkových pilířů. Výsledky nám tak často dávají dobrý předpoklad pro provádění štěrkových pilířů. Ze zkušeností z realizovaných staveb a z důvodu hospodárnosti se pro inženýrsko-geologický průzkum běžně používá kombinace obou zkoušek. Jelikož v dané lokalitě bylo především nehomogenní prostředí a objevovaly se zde i písčité zeminy, byly proto zvoleny dva typy zkoušek, a to zmíněná statická a dynamická penetrace.

Závěrem bych chtěla konstatovat, že se mi podařilo splnit cíle mé bakalářské práce, a to uvedení do problematiky sanace podloží pod násypy liniových staveb pomocí metody štěrkových pilířů.

Seznam ilustrací, tabulek a grafů

Obrázek 1. Realizace štěrkových pilířů	10
Obrázek 2. Realizace betonových pilířů	11
Obrázek 3. Realizace betonových pilířů CFA [Menard s.r.o.]	12
Obrázek 4. Hloubkové míchání zemin [Menard s.r.o.]	13
Obrázek 5. Dynamická konsolidace [Menard s.r.o.]	14
Obrázek 6. Vertikální drény [Menard s.r.o.].....	15
Obrázek 7. Štěrkové pilíře [7].....	16
Obrázek 8. Realizace štěrkových pilířů [Menard s.r.o.]	17
Obrázek 9. Realizace štěrkových pilířů [Menard s.r.o.]	18
Obrázek 10. Štěrkové pilíře na D35.....	22
Obrázek 11. Štěrkové pilíře na D35.....	22
Obrázek 12. Detail násypového koše.....	23
Obrázek 13. Monitorovací zařízení vrtné soupravy.....	24
Obrázek 14. Monitorovací zařízení vrtné soupravy.....	25
Obrázek 15. Protokol štěrkového pilíře	26
Obrázek 16. Úsek Ostrov – Časy [ŘSD]	27
Obrázek 17. Transevropské dopravní síť (TEN-T) [europa.eu]	28
Obrázek 18. Půdorysné rozmístění pilířů [Masopust]	30
Obrázek 19. Sanační opatření použití ve staničení 27,54 – 31,04 km [11]	31
Obrázek 20. První CPT zařízení [Gouda geo-equipement]	32
Obrázek 21. Princip statické penetrační zkoušky [geotech.hr].....	33
Obrázek 22. Středně těžká penetrační souprava Pagani TG 63-100 [Direct industry].....	35
Obrázek 23. Statické penetrační soupravy typu Gouda Holland.....	35
Obrázek 24. Princip dynamické penetrační zkoušky [SemanticScholar]	37
Obrázek 25. Velmi těžká penetrační souprava [InsituTest].....	38
Obrázek 26. Středně těžká penetrační souprava	41
Obrázek 27. Schéma umístění CPT zkoušek	43
Obrázek 28. Schéma umístění sondy statické penetrační zkoušky.....	44
Obrázek 29. Schéma umístění sondy statické penetrační zkoušky.....	44
Obrázek 30. Realizace dynamické penetrační zkoušky na D35	57
Obrázek 31. Fotografie z provádění dynamické penetrační zkoušky	58
Obrázek 32. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	68
Obrázek 33. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	69
Obrázek 34. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	70
Obrázek 35. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	71
Obrázek 36. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	72
Obrázek 37. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	73
Obrázek 38. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	74
Obrázek 39. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	75
Obrázek 40. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	76
Obrázek 41. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	77
Obrázek 42. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	78
Obrázek 43. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	79
Obrázek 44. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	80

Obrázek 45. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	81
Obrázek 46. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	82
Obrázek 47. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP	83
Obrázek 48. Výsledky dynamické penetrační zkoušky před provedení ŠP	84
Obrázek 49. Výsledky dynamické penetrační zkoušky po provedení ŠP.....	85
Obrázek 50. Výsledky dynamické penetrační zkoušky před provedení ŠP	86
Obrázek 51. Výsledky dynamické penetrační zkoušky po provedení ŠP.....	87
Obrázek 52. Výsledky dynamické penetrační zkoušky před provedení ŠP	88
Obrázek 53. Výsledky dynamické penetrační zkoušky po provedení ŠP.....	89
Obrázek 54. Výsledky dynamické penetrační zkoušky před provedení ŠP	90
Obrázek 55. Výsledky dynamické penetrační zkoušky po provedení ŠP.....	91
Tabulka 1. Číselné velikosti stupně zlepšení [Masopust].....	21
Tabulka 2. dle ČSN EN ISO 22476-2.....	39
Tabulka 3. Totální parametry smykové pevnosti před a po zlepšení zeminy – C_u totální soudržnost (neodvodněná pevnost) zeminy	55
Tabulka 4. Porovnání naměřených hodnot relativní ulehlosti I_D [%].....	56
Tabulka 5. ČSN EN ISO 14688-2	57
Graf 1. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}	45
Graf 2. Grafické vyhodnocení výsledků f_s	45
Graf 3. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}	46
Graf 4. Grafické vyhodnocení výsledků f_s	46
Graf 5. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}	47
Graf 6. Grafické vyhodnocení výsledků f_s	47
Graf 7. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}	48
Graf 8. Grafické vyhodnocení výsledků f_s	48
Graf 9. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}	49
Graf 10. Grafické vyhodnocení výsledků f_s	49
Graf 11. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}	50
Graf 12. Grafické vyhodnocení výsledků f_s	50
Graf 13. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}	51
Graf 14. Grafické vyhodnocení výsledků f_s	51
Graf 15. Grafické vyhodnocení výsledků q_{st}	52
Graf 16. Grafické vyhodnocení výsledků f_s	52
Graf 17. Grafické znázornění naměřených hodnot C_u totální soudržnosti zeminy	55
Graf 18. Grafické znázornění naměřených hodnot relativní ulehlosti I_D [%].....	56

Seznam zkratek a značek

q_{st}	měrný odpor na hrotu
f_s	měrné lokální plášťové tření
Q_T	celková statická penetrační síla
R_f	třecí koeficient
Q_c	měrná axiální síla
A	celková plocha základny kužele
F_s	měrná třecí síla
C_u	totální soudržnost (neodvodněná pevnost) zeminy
q_t	totální měrný penetrační odpor
σ_{v0}	celkové napětí podloží
N_{kt}	kónický faktor
k	stupeň zlepšení zeminy
a_s	poměr plochy pilíře a náhradní buňky
K_a	součinitel aktivního zemního tlaku
C_1	pro trojúhelníkovou síť (rastr)
C_1	pro čtvercovou síť (rastr)
D	průměr pilíře
s	osová vzdálenost pilířů (rastr)
φ	úhel vnitřního tření
ν	Poissonovo číslo základové půdy
q_{dyn}	měrný dynamický odpor
Q	tíha beranidla
A	plocha příčného řezu hrotu
s	délka zaražení hrotu při jednom úderu
h	výška pádu beranidla

Použitá literatura

- [1] ATKINSON, J. H. *An introduction to the mechanics of soils and foundations*, London: McGraw-Hill, 1993
- [2] ČSN 73 6133 *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [3] ČSN EN 73 1075 *Provádění speciálních geotechnických prací – Hlubkové zhutňování zemin*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [4] EC 7 *Navrhování geotechnických konstrukcí*, část 1 a 2.
- [5] HERRMANN, Karel. *Statická penetrace CPT a CPTU*, 2009
- [6] KAŠPAR, Antonín. *Posouzení skupiny pilot*. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, katedra geotechniky. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Pruška, Dr.
- [7] MAREK, Pavel. *Spolupůsobení konstrukce a horninového prostředí zlepšování vlastností základových pud pomocí šterkových pilířů*. Brno, 2005. Doktorandská disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Masopust.
- [8] MASOPUST, Jan. *Zakládání staveb 2*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016.
- [9] MATYS, Mirko, *Polné skúšky zemin*, Bratislava: Alfa, 1990
- [10] MENARD s.r.o., *Technologický předpis, D35/350/H002*, 2018
- [11] *Podrobný geotechnický průzkum – D35, Ostrov – Časy*, Praha, 2012
- [12] SVOBODA, Petr. *Hlubkové zlepšování zemin v české praxi*, 2009
- [13] TURČEK, Peter. *Mechanika zemin a zakladanie stavieb*, Slovenská technická univerzita, 1993

[14] VANÍČEK, Ivan. *Mechanika zemin*. ČVUT, 1996.

[15] VANKO, Bc Peter. *Štěrkové pilíře – význam klenbového efektu*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.

[16] WOOD, David Muir. *Soil behaviour and critical state soil mechanics*, Cambridge University Press, 1990

Internetové stránky

[17] Menard Sp. z o. o [online]. [cit. 22.07.2020]. Dostupné z: <https://www.menard.pl/>

[18] Menard zakládání staveb s.r.o. [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://menard.cz/>

[19] Online časopis zakládání staveb: Vibrované štěrkové a betonové piloty a dynamické zhutňování [cit. 2020-04-05].

Dostupné z: https://zakladani.cz/casopis/archiv/3_00/caso.htm

[20] Sanace sesuvů svahů | GEOMAT – zpevňování svahů, opěrné zdi, protierozní ochrana, zlepšování podloží, geotextilie, geomříže. – [online]. Dostupné z: <https://www.geomat.cz/aplikace-co-resime/zpevneni-svahu/sanace-sesuvu-svahu/>

[21] Sanace násypů dopravních staveb [online]. Ing. Petr Svoboda, Ph.D., 2008 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/doprava/sanace-nasypu-dopravnich-staveb>

[22] SOLETANCHE Česká republika s.r.o. - Trysková injektáž *SOLETANCHE Česká republika s.r.o.* - [online]. Dostupné z: http://www.soletanche.cz/technologie_tryskova_injektaz/

[23] Trans-European Transport Network (TEN-T) | Mobility and Transport. [online]. [cit. 22.07.2020]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t_en

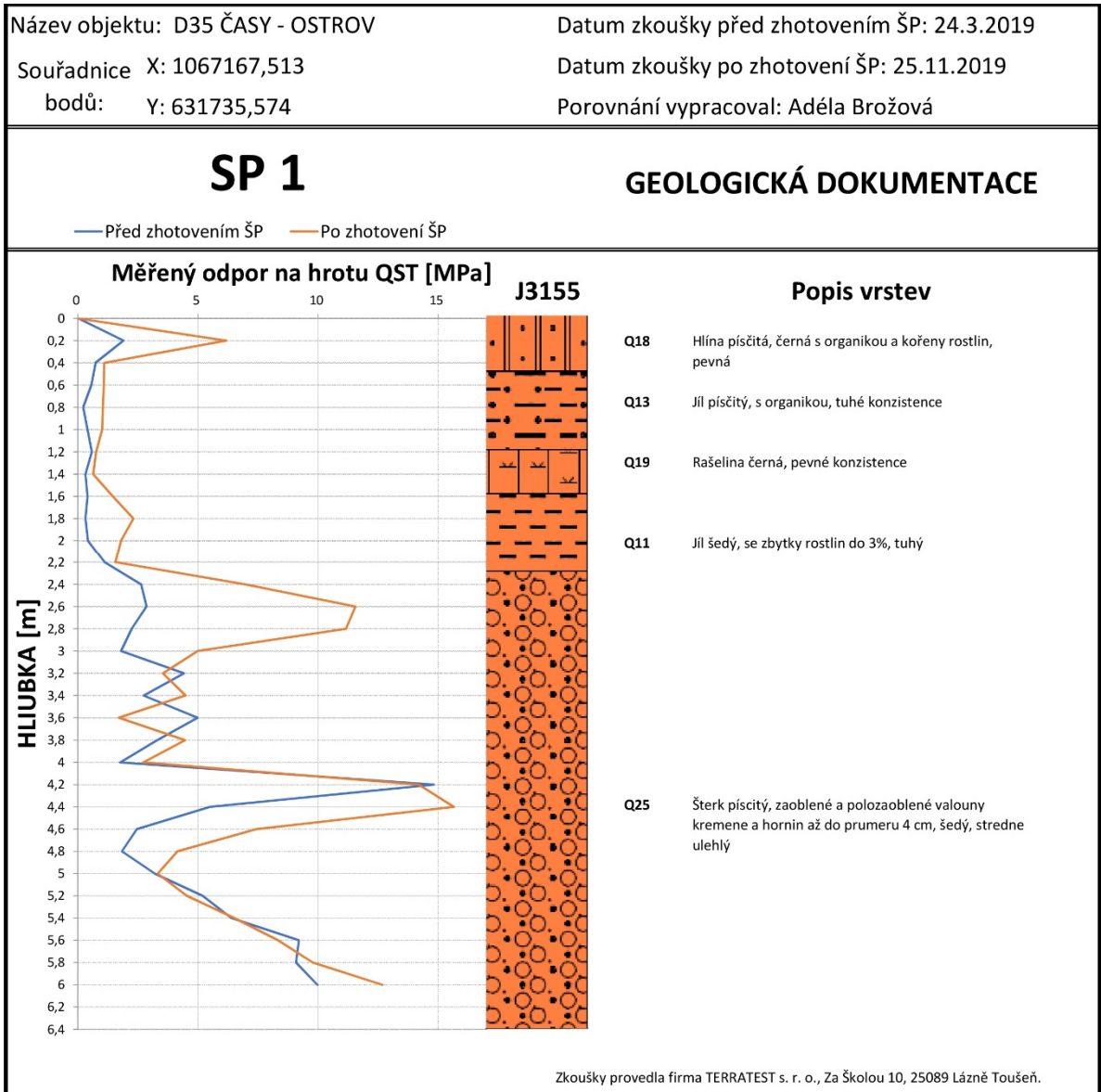
[24] Terratest s.r.o. [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.terratest.cz/inpage/staticke-penetracni-zkousky/>

[25] Úprava nevhodných zemin v tělese zemních | ASB Portal. *ASB-portal.cz* | *odborný portál* | *architektura, stavebnictví, byznys* [online]. Copyright © Jaga Media, s.r.o. Všechna práva vyhrazena. [cit. 22.07.2020]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/geotechnika/uprava-nevhodnych-zemin-v-telese-zemnich>

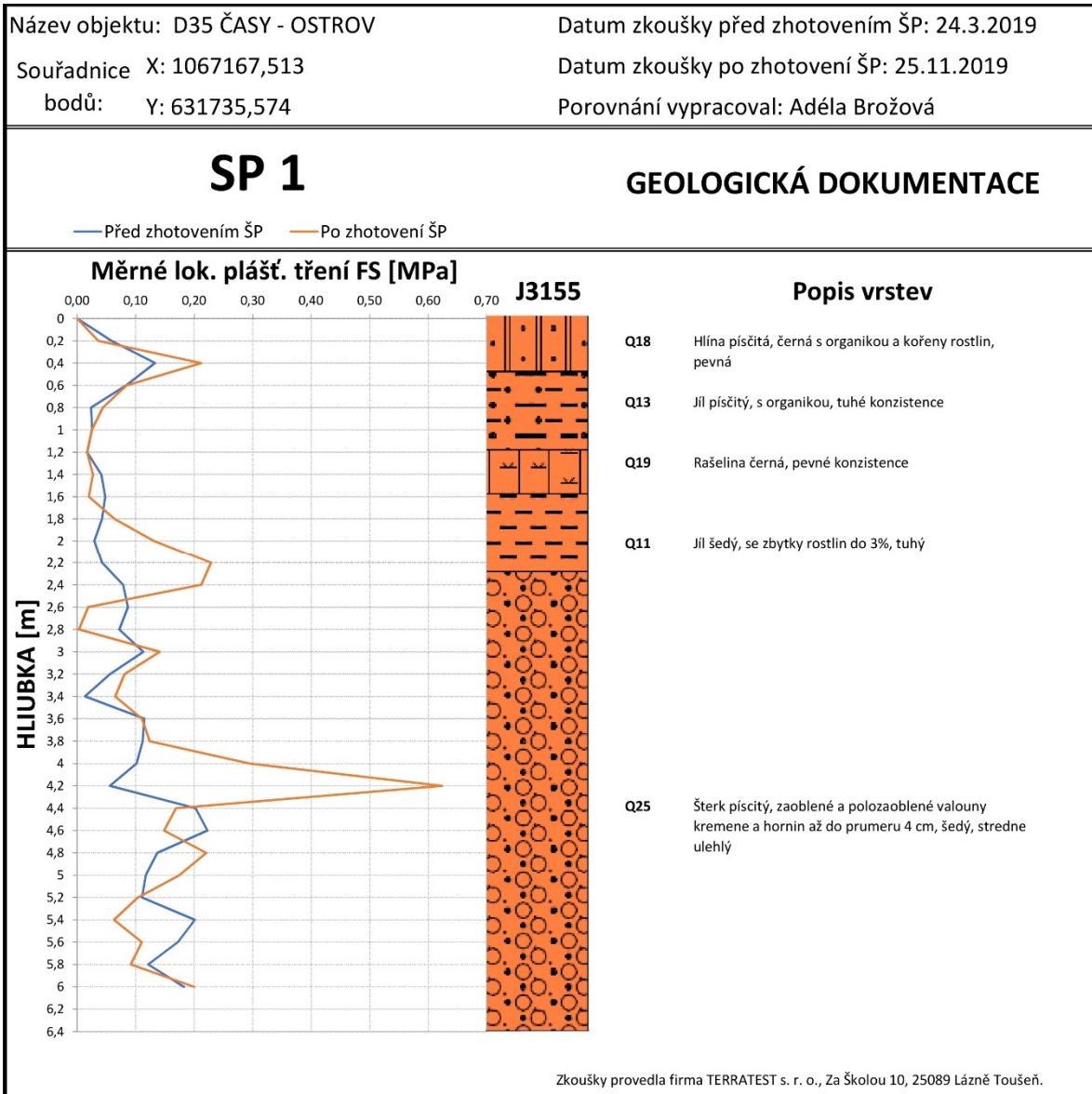
[26] Zakládání staveb, a. s. - Trysková injektáž. [online]. Copyright © 2008 [cit. 22.07.2020]. Dostupné z: <https://www.zakladani.cz/cs/vyrobní-program/technologie/tryskova-injektaz>

Přílohy – Naměřená a vyhodnocená data

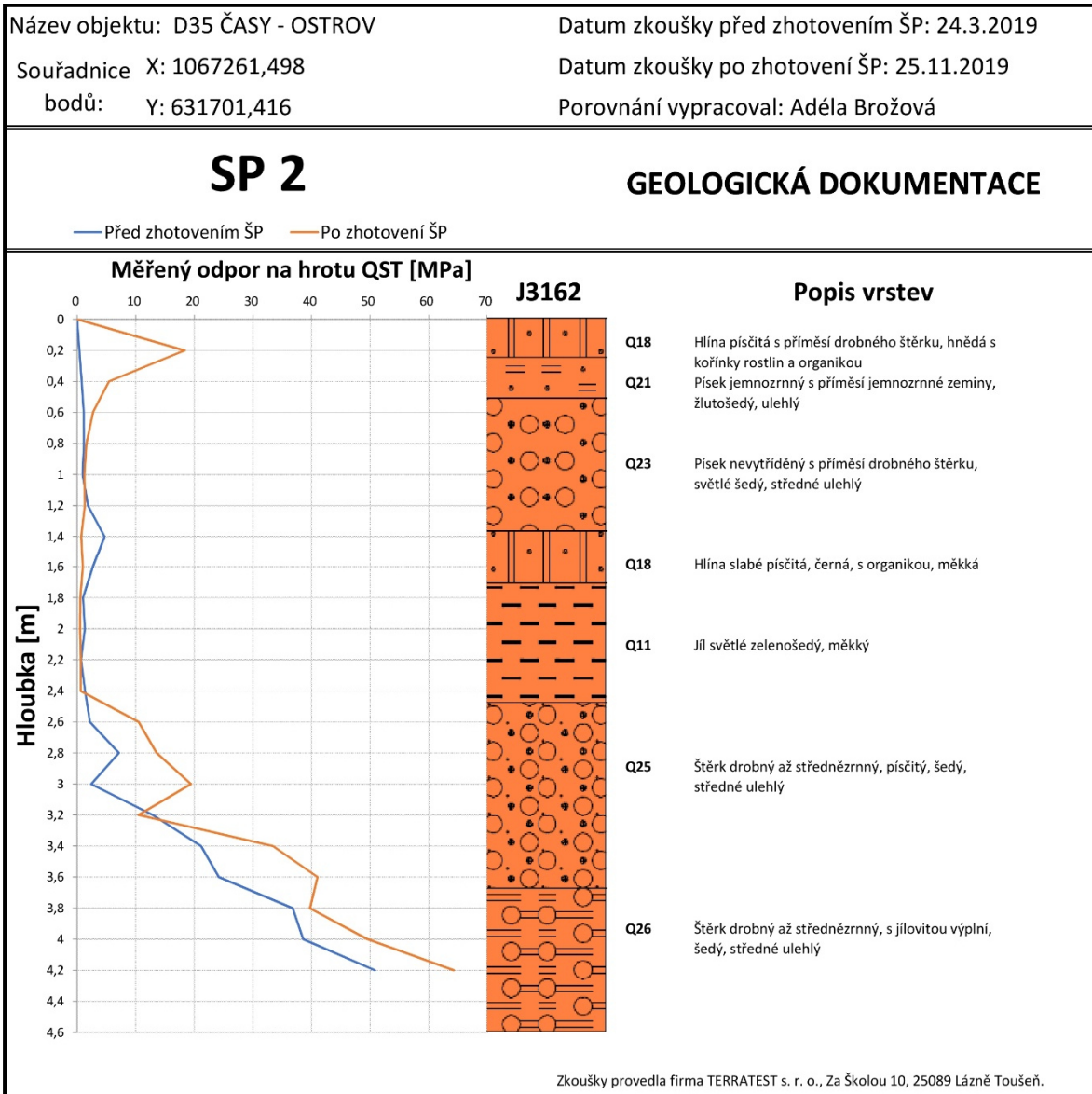
Statická penetrační zkouška



Obrázek 32. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP



Obrázek 33. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP



Obrázek 34. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP

Název objektu: D35 ČASY - OSTROV

Datum zkoušky před zhotovením ŠP: 24.3.2019

Souřadnice X: 1067261,498

Datum zkoušky po zhotovení ŠP: 25.11.2019

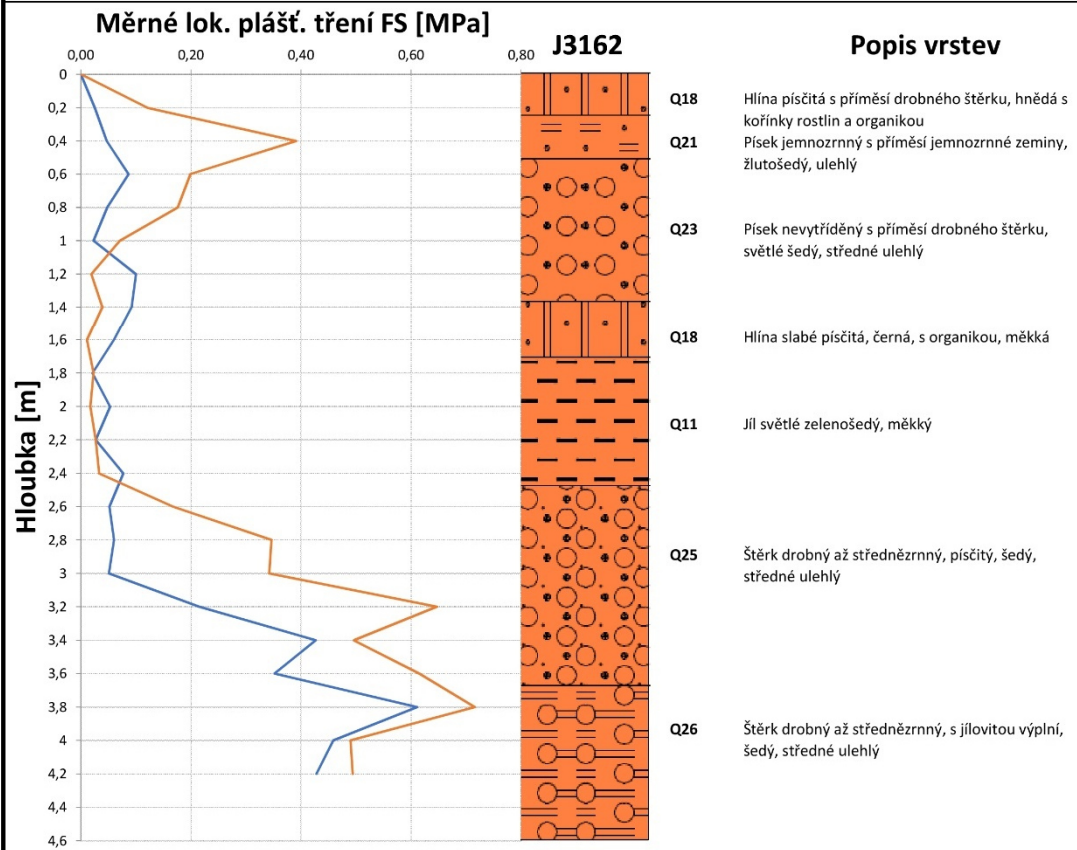
bodů: Y: 631701,416

Porovnání vypracoval: Adéla Brožová

SP 2

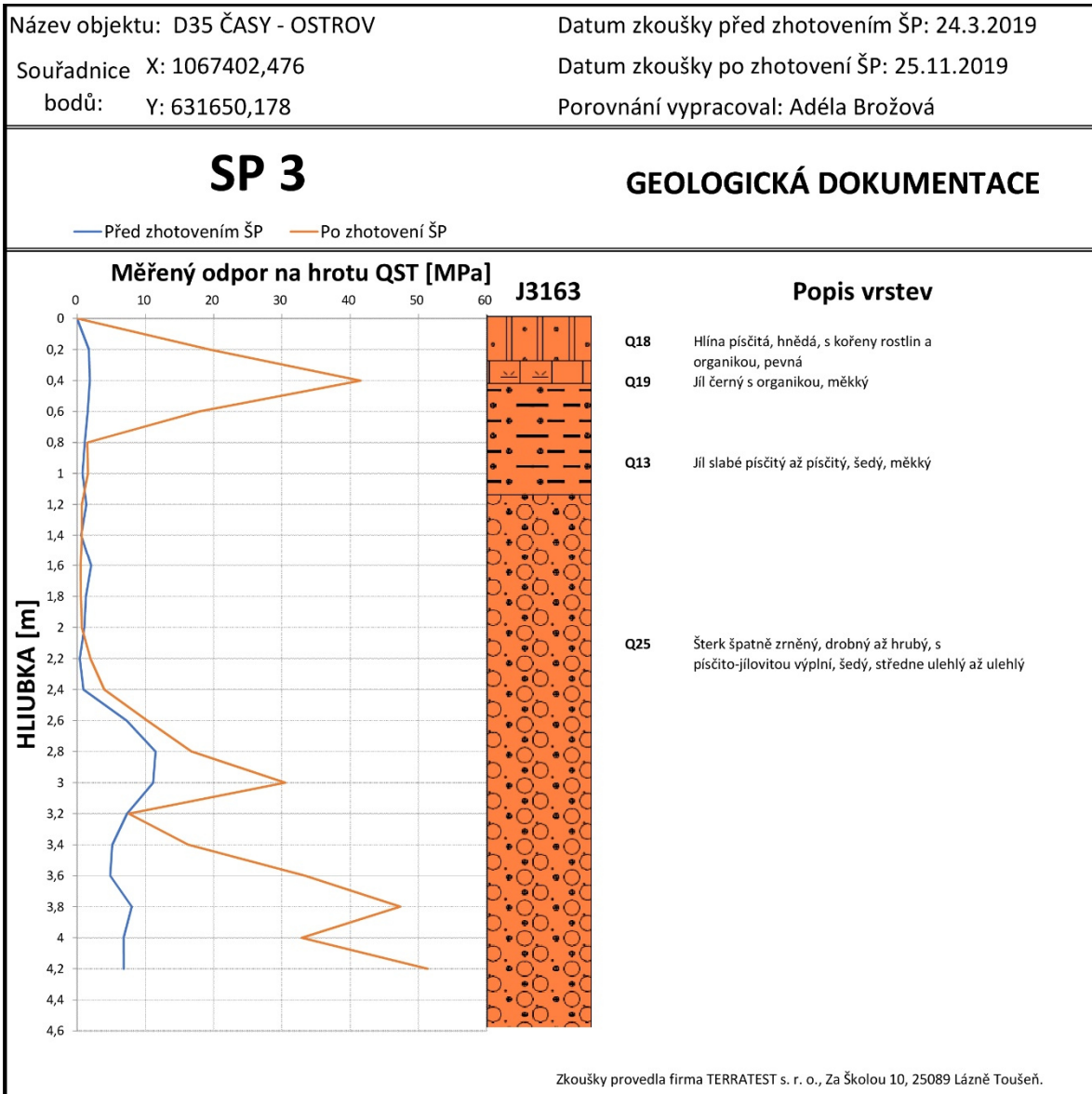
GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE

— Před zhotovením ŠP — Po zhotovení ŠP

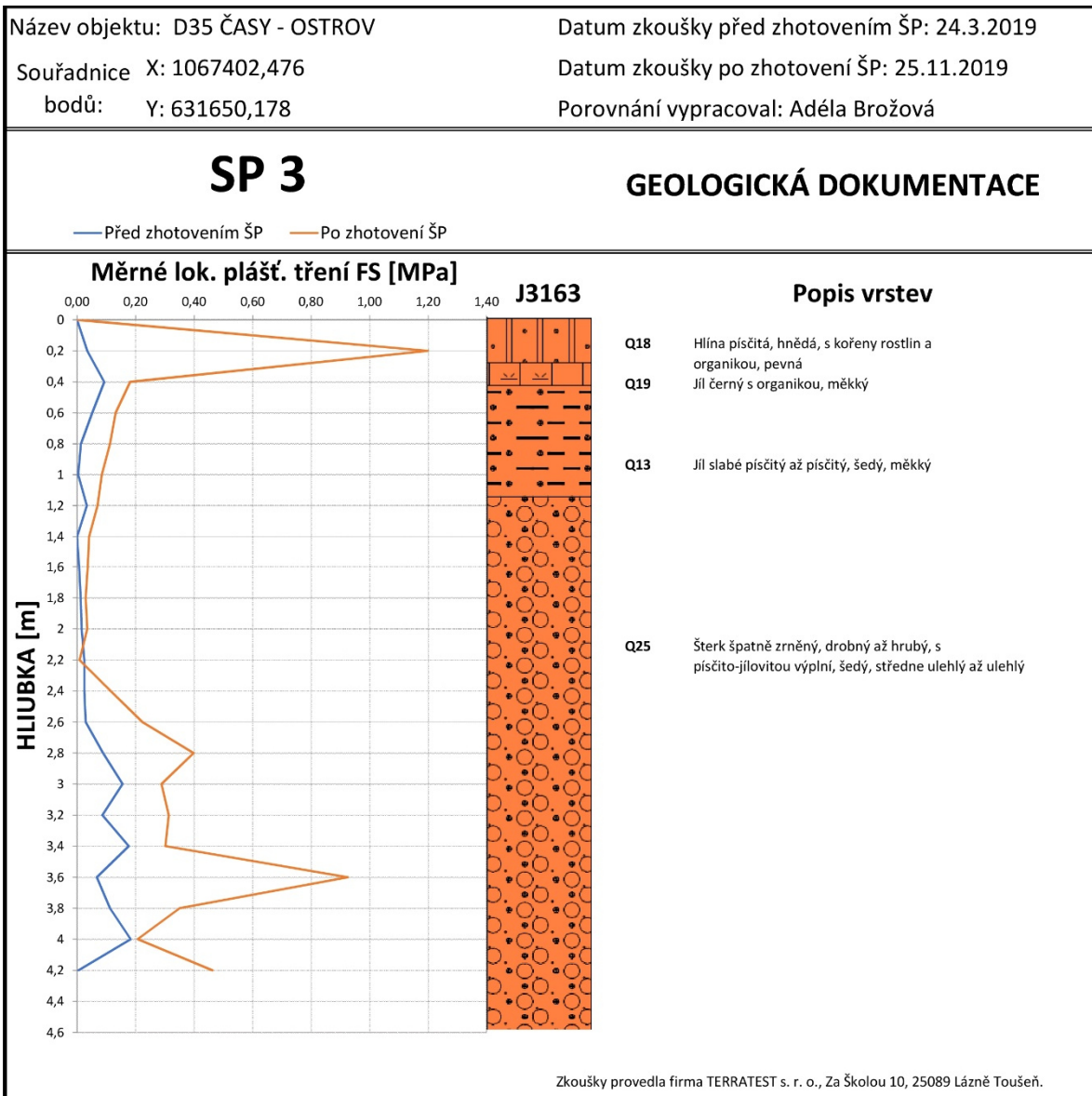


Zkoušky provedla firma TERRATEST s. r. o., Za Školou 10, 25089 Lázně Toušeň.

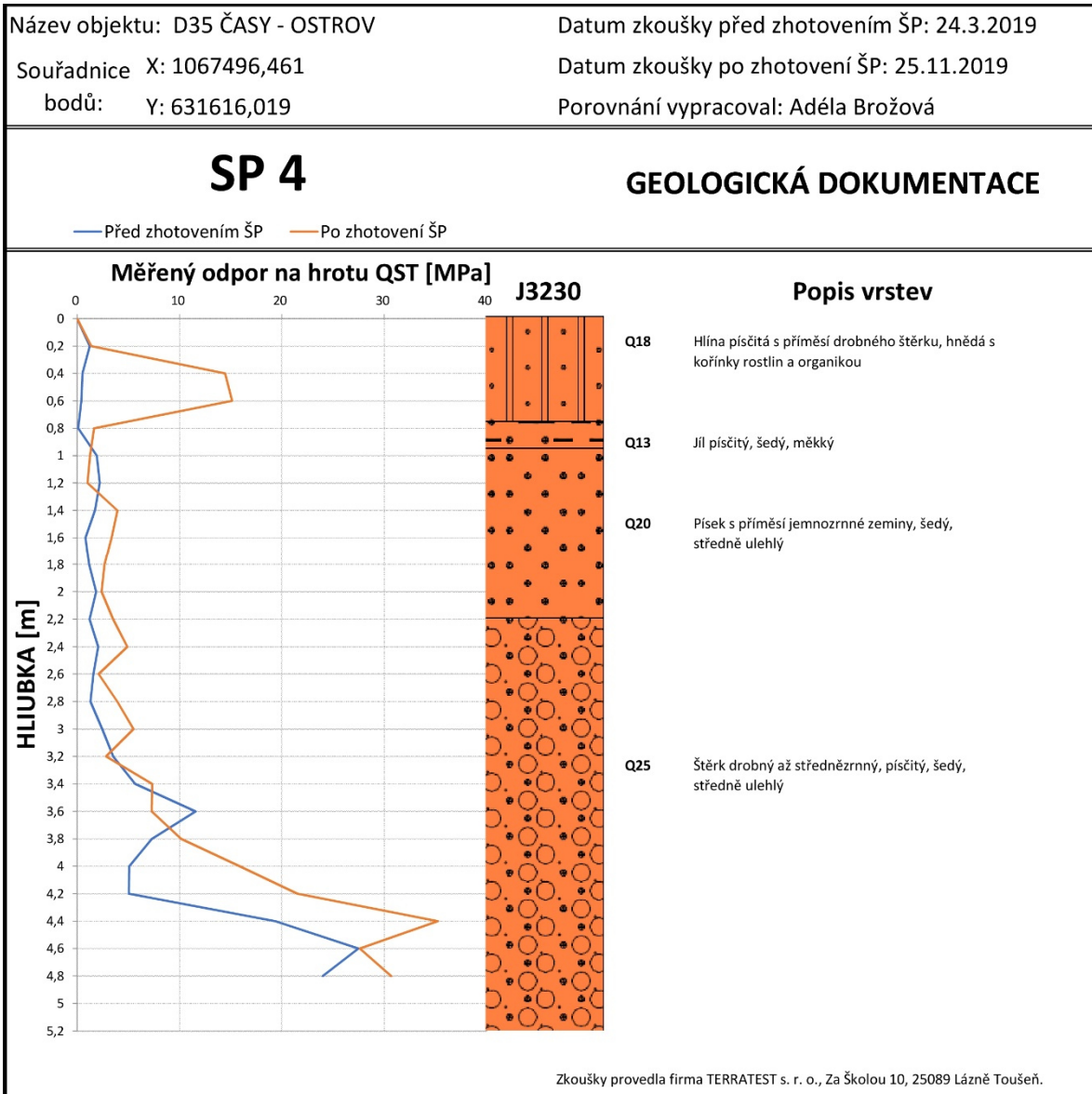
Obrázek 35. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP



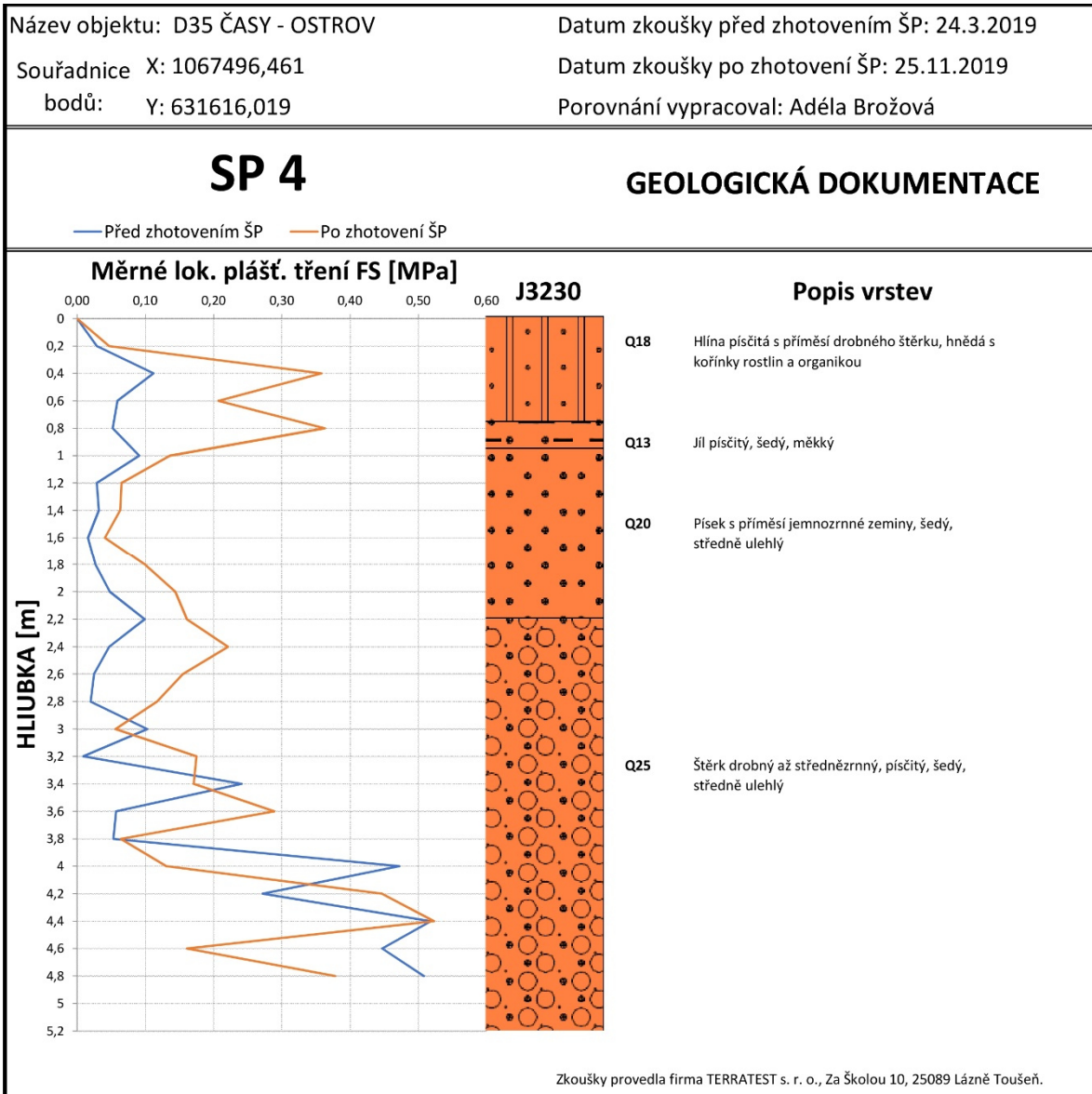
Obrázek 36. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP



Obrázek 37. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP



Obrázek 38. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP



Obrázek 39. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP

Název objektu: D35 ČASY - OSTROV

Datum zkoušky před zhotovením ŠP: 24.3.2019

Souřadnice X: 1067590,434

Datum zkoušky po zhotovení ŠP: 25.11.2019

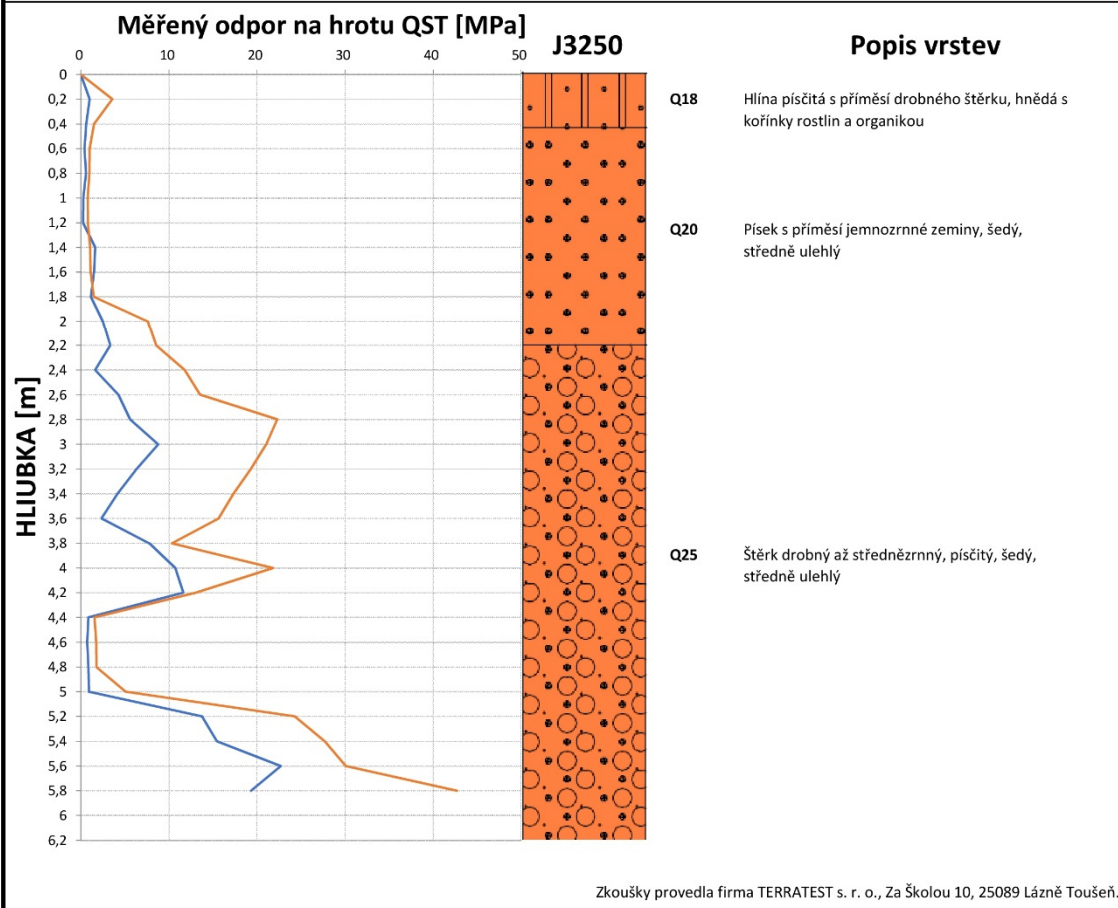
bodů: Y: 631581,828

Porovnání vypracoval: Adéla Brožová

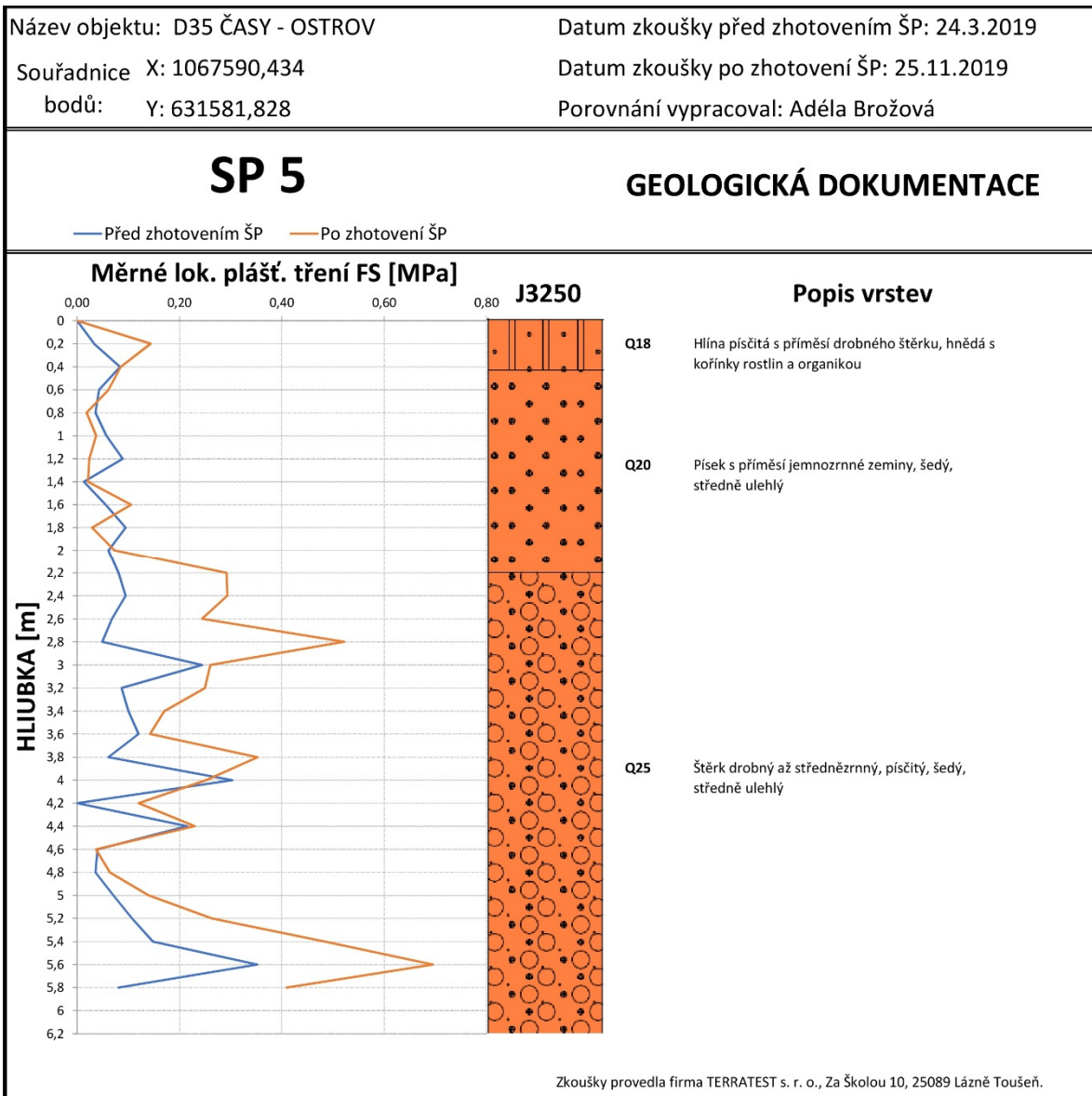
SP 5

GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE

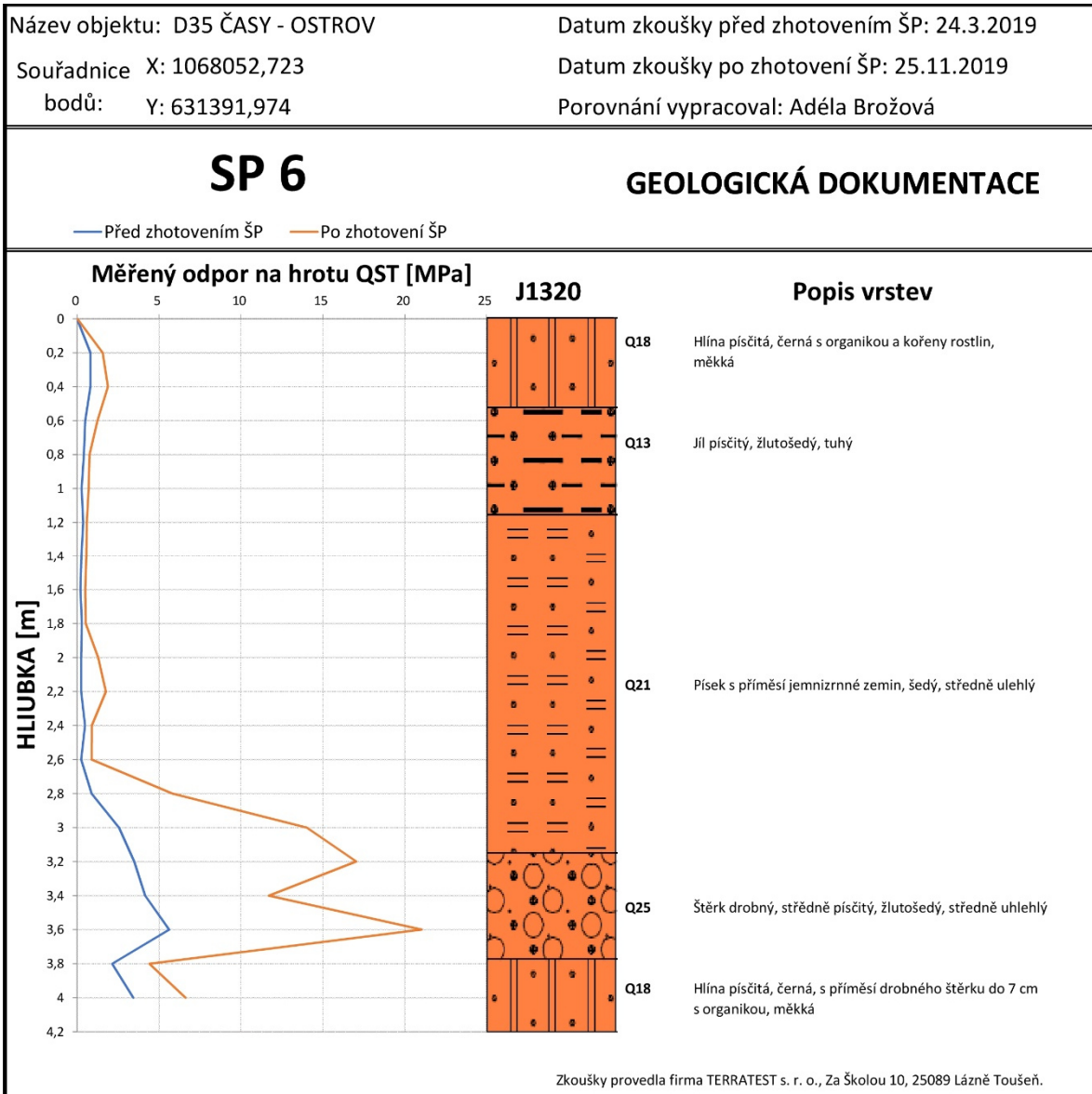
— Před zhotovením ŠP — Po zhotovení ŠP



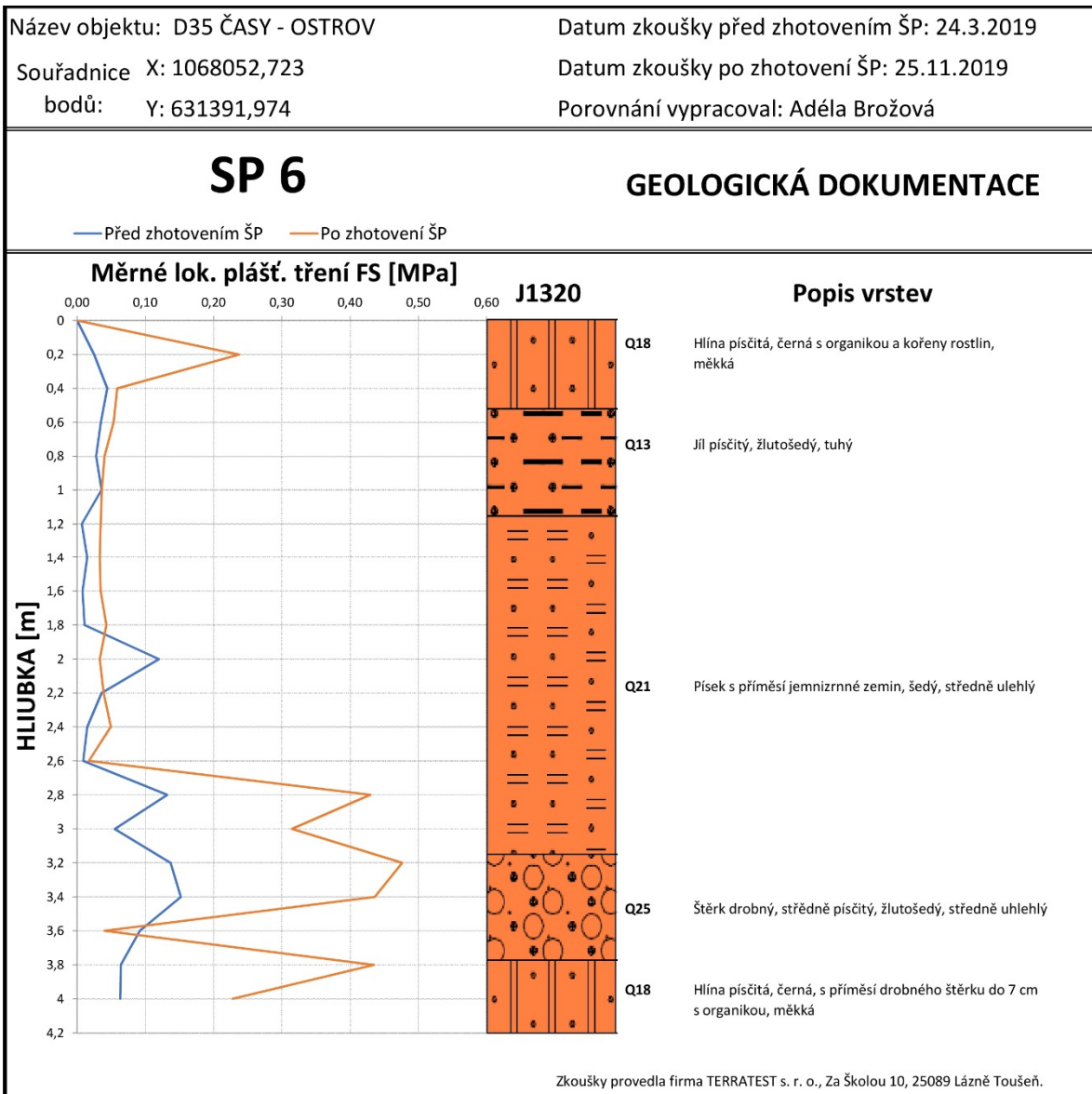
Obrázek 40. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP



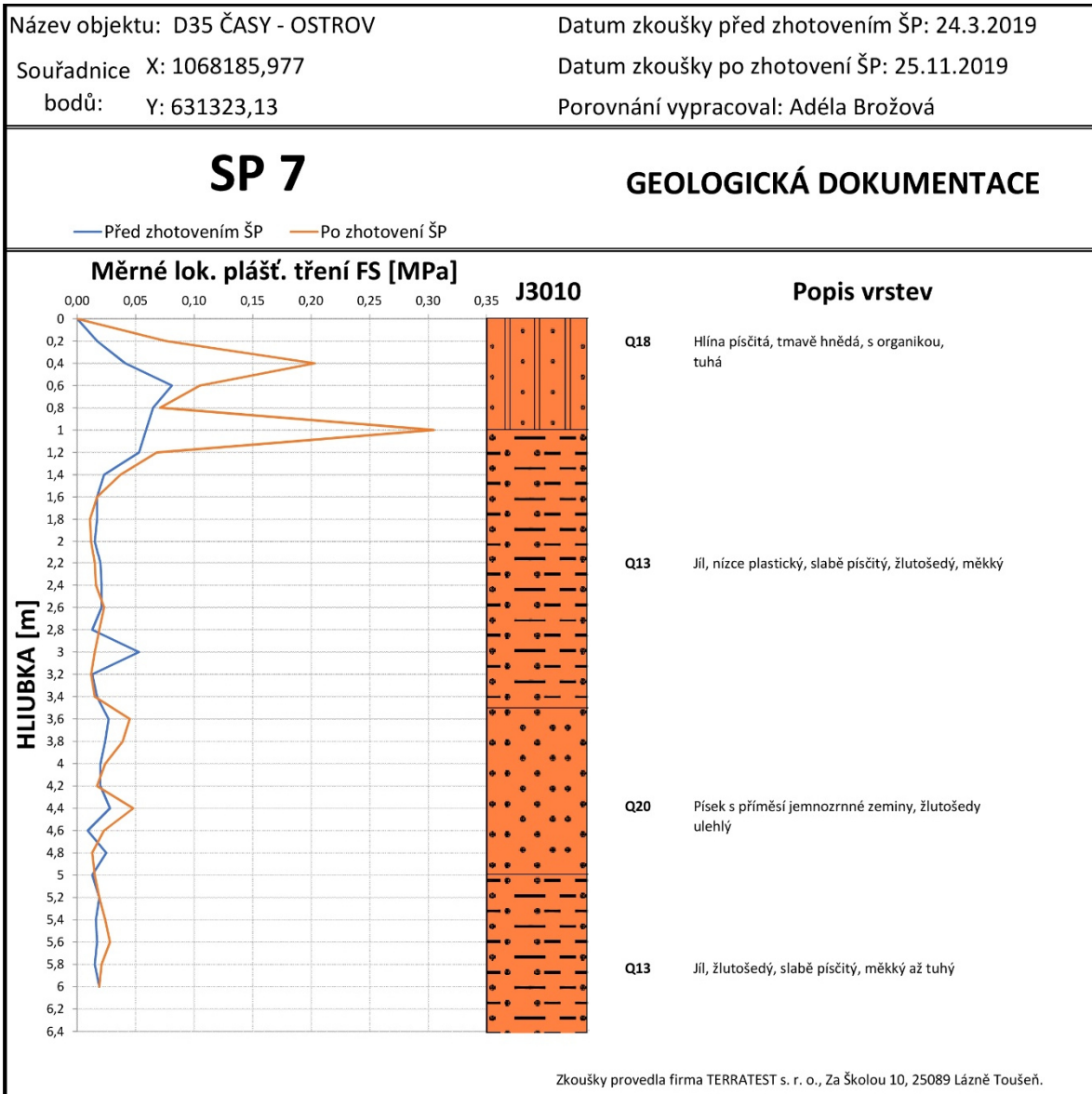
Obrázek 41. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP



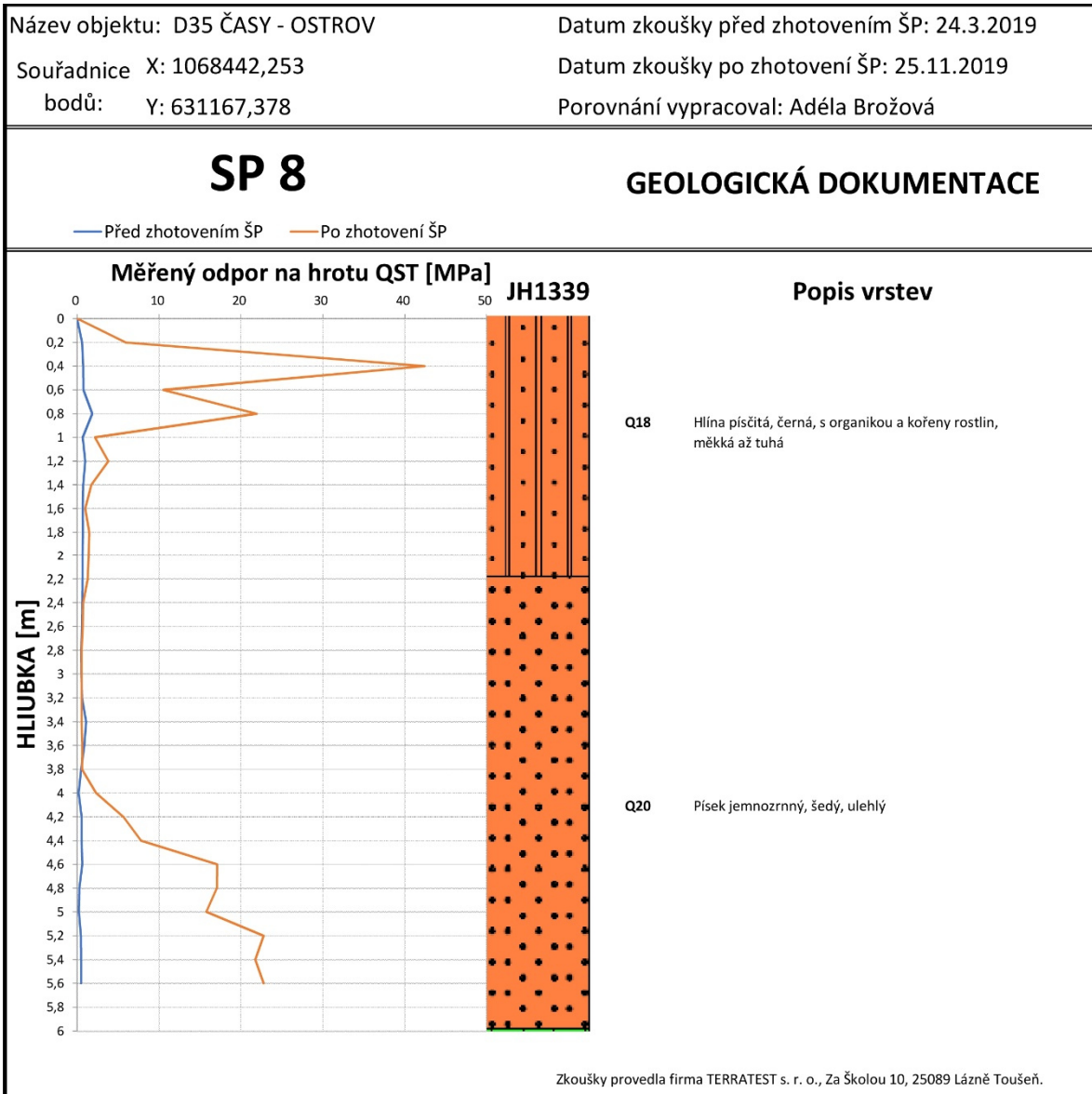
Obrázek 42. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP



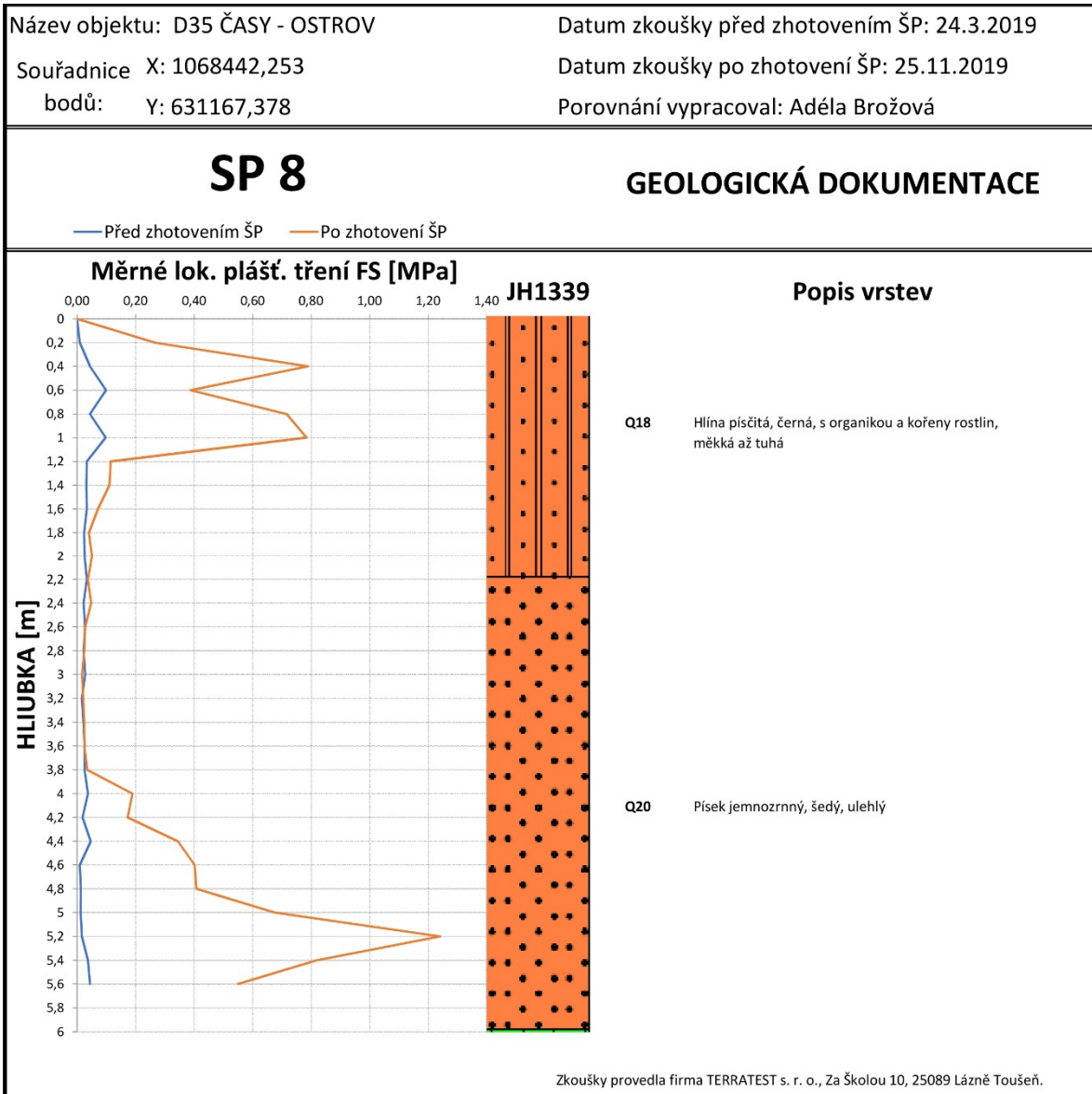
Obrázek 43. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP



Obrázek 45. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP





Obrázek 46. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP





Obrázek 47. Výsledky statické penetrační zkoušky před a po provedení ŠP

Dynamická penetrační zkouška

 		DPM 1 záznam dynamické penetrační zkoušky							
		Stavba: D35 Časy-Ostrov Stavbyvedoucí: Ing. Martin Basl Zkoušku provedl: Ing. Martin Basl Počátek měření: 0,00 m	Datum 25.03.2019 Umístění D35 Staničení 28,065	Výsledky: ID průměr = 0,48 ID min = 0,31 ID max = 0,69					
Water observation	Depth [m]	Počet úderů na 10 cm sondy (N10)						Míra zhutnění	Poznámky
		0	10	20	30	40	50	60	ID
	0	3						0,38	
	0,2	2						0,31	
	0,4	3						0,38	
	0,6	3						0,38	
	0,8	2						0,31	
	1,0	2						0,31	
	1,2	3						0,38	
	1,4	3						0,38	
	1,6	4						0,38	
	1,8	5						0,44	
	2,0	4						0,48	
	2,2	4						0,44	
	2,4	3						0,38	
	2,6	2						0,31	
	2,8	3						0,38	
	3,0	2						0,31	
	3,2	3						0,38	
	3,4	3						0,38	
	3,6	4						0,38	
	3,8	5						0,44	
	4,0	6						0,48	
	4,2	9						0,51	
	4,4	7						0,59	
	4,6	8						0,54	
	4,8	8						0,57	
	5,0	8						0,57	
	5,2	9						0,59	
	5,4	8						0,57	
	5,6	10						0,61	
	5,8	10						0,61	
	6,0	11						0,62	
	6,2	11						0,62	
	6,4	13						0,66	
	6,6	16						0,69	
	6,8	10						0,61	
	7,0	10						0,61	
	7,2	10						0,61	
	7,4	0							
	7,6	0							
	7,8	0							
	8,0	0							
	8,2	0							
	8,4	0							
	8,6	0							
	8,8	0							
	9,0	0							
	9,2	0							
	9,4	0							
	9,6	0							
	9,8	0							
	10,0	0							
	10,2	0							
	10,4	0							
	10,6	0							
	10,8	0							
	11,0	0							
	11,2	0							
	11,4	0							
	11,6	0							
	11,8	0							
	12,0	0							
	12,2	0							
	12,4	0							
	12,6	0							
	12,8	0							
	13,0	0							
	13,2	0							
	13,4	0							
	13,6	0							
	13,8	0							
	14,0	0							
	14,2	0							
	14,4	0							
	14,6	0							
	14,8	0							
	15,0	0							
	15,2	0							
	15,4	0							
	15,6	0							
	15,8	0							
	16,0	0							
	16,2	0							
	16,4	0							
	16,6	0							
	16,8	0							
	17,0	0							
	17,2	0							
	17,4	0							
	17,6	0							
	17,8	0							
	18,0	0							
	18,2	0							
	18,4	0							
	18,6	0							
	18,8	0							
	19,0	0							
	19,2	0							
	19,4	0							
	19,6	0							
	19,8	0							
	20,0	0							

Obrázek 48. Výsledky dynamické penetrační zkoušky před provedení ŠP

 	DPM 4 záznam dynamické penetrační zkoušky		
	Stavba: D35 Časy-Ostrov Stavbyvedoucí: Ing. Martin Basl Zkoušku provedl: Adéla Brožová Počátek měření: 0,00 m	Datum 25.03.2019 Umístění D35 Staničení 30,86	Výsledky: ID průměr = 0,22 ID min = 0,18 ID max = 0,31

Water observation	Depth [m]	Počet úderů na 10 cm sondy (N ₁₀)	Míra zhutnění	Poznámky
		0 10 20 30 40 50 60	Id	[-]
	0,0	1	0,18	
	0,1	1	0,18	
	0,2	1	0,18	
	0,3	1	0,18	
	0,4	1	0,18	
	0,5	1	0,18	
	0,6	1	0,18	
	0,7	1	0,18	
	0,8	1	0,18	
	0,9	1	0,18	
	1,0	1	0,18	
	1,1	1	0,18	
	1,2	2	0,31	
	1,3	2	0,31	
	1,4	2	0,31	
	1,5	2	0,31	
	1,6	2	0,31	
	1,7	2	0,31	
	1,8	1	0,18	
	1,9	1	0,18	
	2,0	1	0,18	
	2,1	2	0,31	
	2,2	1	0,18	
	2,3	1	0,18	
	2,4	1	0,18	
	2,5	2	0,31	
	2,6	2	0,31	
	2,7	2	0,31	
	2,8	2	0,31	
	2,9	1	0,18	
	3,0	1	0,18	
	3,1	0	0,18	
	3,2	0		
	3,3	0		
	3,4	0		
	3,5	0		
	3,6	0		
	3,7	0		
	3,8	0		
	3,9	0		
	4,0	0		
	4,1	0		
	4,2	0		
	4,3	0		
	4,4	0		
	4,5	0		
	4,6	0		
	4,7	0		
	4,8	0		
	4,9	0		
	5,0	0		
	5,1	0		
	5,2	0		
	5,3	0		
	5,4	0		
	5,5	0		
	5,6	0		
	5,7	0		
	5,8	0		
	5,9	0		
	6,0	0		
	6,1	0		
	6,2	0		
	6,3	0		
	6,4	0		
	6,5	0		
	6,6	0		
	6,7	0		
	6,8	0		
	6,9	0		
	7,0	0		

Obrázek 54. Výsledky dynamické penetrační zkoušky před provedení ŠP

