

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

TĚSNÍCÍ PODZEMNÍ STĚNY

SEALING DIAPHRAGM WALLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN KADERKA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR SVOBODA, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program

B3607 Stavební inženýrství

Typ studijního programu

Bakalářský studijní program s prezenční formou studia

Studijní obor

3647R013 Konstrukce a dopravní stavby

Pracoviště

Ústav geotechniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student

Jan Kaderka

Název

Těsnící podzemní stěny

Vedoucí bakalářské práce

Ing. Petr Svoboda, Ph.D.

**Datum zadání
bakalářské práce**

30. 11. 2012

**Datum odevzdání
bakalářské práce**

24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Budou předávány vedoucím bakalářské práce průběžně.

Zásady pro vypracování

Podzemní těsnicí stěny (PTS) jsou v rámci protipovodňových opatření nebo zajištění nepropustnosti v podloží velmi žádanými geotechnickými konstrukcemi. Lze je dělit dle technologie provádění nebo parametrů, které musí plnit. Předmětem bakalářské práce by měla být historie a účel provádění PTS, typy používaných technologií a konkrétní příklady využití (těsnicí stěny v rámci protipovodňových opatření podél řeky Moravy v Olomouci, rekonstrukce těsnících jader hrází VD Šance a nádrže Kohútka, těsnicí stěna v rámci sanačních opatření kontaminovaného území v areálu SPOLANA Neratovice).

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací.

.....
Ing. Petr Svoboda, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Tématem této práce je historie, účel provádění podzemních těsnících stěn, typy používaných technologií a konkrétní příklady jejich využití v praxi. Část práce se bude věnovat parametrům pojiv a injektážních směsí.

Klíčová slova

podzemní těsnící stěny, technologie, suspenze

Abstract

The topic of this thesis is history, the purpose to carry out diaphragm wall, types of the employed technologies and specific examples of its application in practise. Part of this thesis will concentrate on the parameters of bonding agents and the grouting mixtures.

Keywords

diaphragm walls, technologies, suspension

Bibliografická citace VŠKP

KADERKA, Jan. *Těsnící podzemní stěny*. Brno, 2013. 54 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce Ing. Petr Svoboda, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2013

.....
podpis autora
Jan Kaderka

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu Ing. Petru Svobodovi, Ph.D. za odborné rady a připomínky, které mi poskytl, a byly mi pomocí při zpracování této práce.

Obsah:

1	Úvod.....	9
2	Těsnící konstrukce	10
2.1	Historie	10
2.2	Použití.....	12
2.2.1	Výplň podzemních stěn.....	13
2.2.1.1	Betonová směs.....	13
2.2.1.2	Jílocementová betonová směs	14
2.2.1.3	Jílocementová směs	14
2.3	Technologie	15
2.3.1	Podzemní těsnící stěny (Milánské stěny).....	15
2.3.2	Jílocementové stěny.....	20
2.3.3	Převrtávané pilotové stěny	21
2.3.4	Trysková injektáž	24
2.3.5	Deep soil mixing DSM - Hloubkové zlepšování zemin.....	27
2.3.6	Trenchmix	30
2.3.7	Geomix.....	32
2.3.8	Jílocementové tenké těsnící podzemní stěny TTPS	33
2.3.9	Štětovnicové stěny	33
3	Těsnící stěny a jejich použití	35
3.1	Jílocementové podzemní těsnící stěny	35
3.2	Trysková injektáž	36
3.3	Deep soil mixing	39
4	Příklady z praxe	41
4.1	Ski centrum Kohútka.....	41
4.2	SPOLANA Neratovice	43
4.3	Ščučí	45
5	Závěr.....	48
	Seznam použitých zdrojů	49
	Seznam obrázků	52
	Seznam tabulek	54

1 ÚVOD

Vývoj civilizace je odedávna spojen s věčným bojem lidstva s nepříznivými přírodními a klimatickými vlivy. Velmi nepříjemným a nebezpečným přírodním živlem, který ohrožoval, ohrožuje a bude ohrožovat lidskou společnost a její výtěžky, je proudící voda. V případě, kdy jsou ohroženy lidské životy nebo majetek, budují se různé ochranné konstrukce a stavby.

Práce se zabývá historií vývoje technologií, budováním konstrukcí bránících průniku, průsaku a infiltraci vody. Jejich mechanické a fyzikální vlastnosti se hojně využívají i při výstavbě nových konstrukcí, které jsou ohrožovány podzemní vodou. V tomto případě spolu velmi souvisí prvky zakládání staveb a těsnících stěn.

Působnost člověka na tomto světě není vždy nejvhodnější pro životní prostředí, proto je nutné jeho chyby napravovat. Těsnící podzemní stěny nám v tom mohou pomoci například v oblasti chemicky znečištěné půdy či podzemní vody. V závěru práce jsou na příkladech prezentovány účelná využití předností určitých technologií.

2 TĚSNÍCÍ KONSTRUKCE

2.1 Historie

Před rokem 1950 nastává velký rozvoj nových metod zakládání staveb. Tehdy běžné snižování hladiny podzemní vody a husté rozepršení stavebních jam, již nestačilo požadavkům tehdejších staveb především v městských oblastech. Z budování širokoprofilových pilot je známa a dobře zvládnuta zkušenost s jílovým výplachem. Od těchto prací byl jen krůček k realizaci první podzemní stěny v Kalifornii (1950), které chránily průmyslové oblasti před zaplavováním vodou. Byla vytvořena 15 m hluboká rýha vyplněná jílem. Autorem první podzemní stěny byl A. D. Rhodes.

Myšlenkou realizace pažících nebo konstrukčních podzemních stěn se zabývala řada autorů (např. k uzavření zkušebního injekčního pole pro přehradu Serre-Ponç byla navržena stěna z převrtávaných pilot – 1952). Dalšími předními průkopníky byly firmy Rodio a ICOS. Firma ICOS použila ve velkém měřítku podzemní stěnu s podporou jílové suspenze při výstavbě metra ve městě Miláně v Itálii. Proto se podzemním stěnám říká také Milánské. První patenty byly tedy podány v Itálii v roce 1952 (Veder) a počátkem roku 1953 (Marconi).

Velký rozvoj, jenž nastal po úspěšném vybudování těchto italských projektů, dal vznik řadě konstrukcí hloubících strojů. Jeden z nejpoužívanějších strojů – drapák na vodící tyči ovládaný hydraulicky nebo lanem – byl patentován v roce 1956 firmou Solétanche. Někdy kolem roku 1970 začaly přední firmy (Slétanche, Bauer) zabývající se touto problematikou vyvíjet frézy, které by umožnily hloubení rýh pro podzemní stěnu i ve skalních horninách.

V ČSSR byla první podzemní stěna realizována v roce 1962 v Teplicích nad Bečvou (Verfel). Další významnou realizací byla v letech 1962 až 1965 u vodního díla Nechanice a v letech 1963 až 1964 u vodního díla Gabčíkovo. Zde bylo v silně propustných štěrkopískových náplavech dosaženo hloubky 50 m. V té době byla pravděpodobně nejhlubší podzemní stěna na světě.

Začátkem šedesátých let vznikl způsob vytváření těsnících clon prořezáváním zeminy paprskem vody vystupujícím z trysky velkou rychlostí. Postupem času se

vyvíjely trysky a čerpadla umožňující prořezávat zeminu cementovou směsí. Tímto způsobem je možné realizovat tenké těsnící podzemní stěny i vodorovné těsnící prvky.

Trysková injektáž byla poprvé použita v letech 1960 až 1962 v Pákistánu firmou Cementation. Práce byly popsány v časopisu Ground Engineering. Metodu převzala roku 1965 japonská firma Yamakado.

Na začátku sedmdesátých let vyvinul Nakanishi metodu CCP (Chemical Churning Pile) tvořenou proříznutím zeminy paprskem cementové suspenze tryskající velkou rychlostí za současné rotace a zdvihání. Tím vznikl pevnější válec ze zeminy s cementem o průměru kolem 0,6 m.

Téměř současně Yharo a jeho tým vyvinuli metodu JG (Jet Grount) spočívající v proříznutí zeminy paprskem vody tryskajícím jedním směrem. Účinek paprsku je zvětšen obalem vzduchu.

Oba tyto způsoby daly základ vzniku metody CJG (Column Jet Grount) vytvořenou Kajimou. CJG spočívá v prořezávání zeminy vodou při ochraně vodního paprsku vzduchem. Současně pod rozrušenou zeminu tryská cementová suspenze. Vše se děje za rotace a zdvihu monitoru. Takto vzniklý válec má několikanásobně větší průměr oproti metodě CCP.

V ČSSR byla trysková injektáž poprvé použita na přehradě Josefův Důl (1979), kde se s pomocí JG realizovala těsnící clona v hydrotermálně porušených žulách. [1]

Štětovnice Larssen jsou známé pro stavební inženýry po celém světě. Jejich spolehlivost a všestrannost, jako opěrné struktury a těsnící lamely, byly prokázány již mnohokrát. V roce 1902 pan T. Larssen vyvinul jako první na světě ocelové štětovnice. Zámkový systém u štětovnic, jak jej známe dnes, se však vyvinul až roku 1914. [2]

Kolem roku 1960 vzniká v USA také metoda zvaná Deep Soil Mixing, která se dále vyvíjela zejména v Japonsku a Skandinávii. V západní Evropě se tato metoda objevila až kolem roku 1990, kde se užívala na izolaci skládek nebezpečných odpadů. Tato metoda se stále ještě zdokonaluje i dnes. [3]

2.2 Použití

Podzemní těsnící konstrukce se budují tam, kde je třeba vytvořit souvislou stěnu zabráňující průsaku vody (např. hráz vodního díla), přítoku vody (např. stavební jámy se dnem pod hladinou podzemní vody), infiltraci vody (např. z řeky na přilehlé území). Rovněž mohou být použity jako ochrana životního prostředí (zabránění kontaminace do širšího okolí – skládky, chemické provozy, letiště atd.). Základními parametry jsou koeficient propustnosti k , který by měl být menší než 10^{-8} ms^{-1} , pevnost a modul pružnosti. V případě těsnění v prostředí agresivních vod musí být stěny budovány z odolných materiálů, rovněž musí být schopny zachytávat škodlivé látky (kontaminanty).

V intravilánu velkých měst je snaha o maximální využití podzemních prostor pro hluboké suterény budov, podzemní garáže, podchody apod. Podzemní prostor je velmi cenný, a proto je častou snahou investorů účelně využít celou výšku nadloží. Stavební jámy takovýchto objektů mohou být značně hluboké a plošně rozlehlé, navíc jsou obvykle hloubeny v husté zástavbě. Ve většině případů nelze použít jámy svahované, které jsou prostorově velmi náročné. Proto se velmi často využívá i funkce pažicí. [1]

Podstatnou a mnohdy i zásadní protipovodňovou konstrukcí jsou podzemní těsnící clony zabudovávané do podloží kolem toků nebo do jádra ochranné hráze. Stávající hráze se velmi často sanují a doplňují právě těsnícími clonami. Smyslem těchto stěn je prodloužení průsakové čáry při vysoké hladině vody v přilehlé vodoteči a zabezpečení okolí toků před zaplavením vlivem spodního (zemního) proudění. Propustnost těsnících protipovodňových clon se rovněž udává hodnotou koeficientu filtrace asi 10^{-8} ms^{-1} . Velmi obvyklé a donedávna výhradně využívané byly pro tyto účely štětové stěny nebo podzemní stěny, které tento požadavek splňují. [4]

Volba technologie zapažení a utěsnění stavební jámy či zájmového území je závislá na celé řadě faktorů, jejichž význam je v různých případech velmi proměnlivý. Je třeba vycházet z geologických a hydrogeologických poměrů staveniště, z charakteru vlastní stavby a jejího okolí (extravilán, intravilán, komunikace, inženýrské sítě apod.), z charakteru pažení a těsnění vyplývajících z jeho trvalé či dočasné funkce a z ohledu na jednotlivé stavební fáze při zřizování pažení i při budování vlastního objektu. Hlavními kritérii při návrhu těsnících stěn jsou bezpečnost a hospodárnost. Proto se

návrh často zpracovává na úrovni studie vždy v několika variantách, z nichž se optimální řešení zpracuje ve vyšších projektových stupních. [5]

2.2.1 Výplň podzemních stěn

Výplň vyhloubené rýhy se navrhuje podle účelu, jemuž bude podzemní stěna sloužit. Pro příklad uvádím nejvíce používané.

2.2.1.1 Betonová směs

Betonová směs se používá při budování konstrukčních stěn, které budou použity jako pažení, či přímo nosná konstrukce budoucí stavby.

Při návrhu betonové směsi je velmi podstatná tekutost pro dokonalé vyplnění rýhy a obalení výztuže. Beton tedy musí mít stanovené minimální procento písku. Jde o to, aby zrna štěrku (sama nepohyblivá) byla rovnoměrně rozložena v maltovém prostředí tvořeném pískem, cementem, vodou a dalšími přísadami. Pískové malty musí být dostatek, aby zrna byla obalena a při dobrém promísení se o sebe neopírala. Taková směs je pak dobře tvárná, přestože se zrna štěrku mohou vzájemně posouvat. Aby nedošlo k sedimentaci štěrkových valounů (vytlačování malty z povrchu), je nutné volit štěrk s odstupňovanou zrnitostí. To platí jak o štěrk a maltě, tak o písku a cementové kaši. Proto je třeba dobře odstupňovat i zrnitost písku.

V tomhle je zásadní rozdíl oproti běžným betonovým směsím, kde na plynulosti kameniva tolik nezáleží nebo je dokonce přetržitá zrnitost vhodnější. Podstatná je účast nejmenší složky (písku). Zvětšením podílu jemného písku od 0,1 do 0,5 mm se zvětší plocha vnitřního povrchu, což způsobí příznivější hodnoty sedimentace. Je proto nutné dávkovat větší množství cementu.

Vyhovující tekutou betonovou směs nelze získat použitím čistých říčních písků. Je třeba použít více frakční betonovou směs a prospěšné je i přidání plastifikátoru. V praxi se osvědčuje množství písku 40 až 50 % a 350 až 400 kg cementu na 1 m³ betonové směsi. Betonová směs nesmí být příliš tekutá, nestírala by dobře kůru ze stěn rýhy a ocelové výztuže.

Důležité je pravidelně odebírat vzorky betonové směsi pro průkazné zkoušky betonu, pokud tak betonárna nečiní sama. Přestože se betonová směs dnes již vyrábí ve velkých betonárnách, je velmi důležité, aby byla schopná dodat poměrně velké množství betonu za relativně krátký čas. [1]

2.2.1.2 Jílocementová betonová směs

Jílocementová betonová směs je spolu s jílocementovou směsí jednou z hlavních výplňových hmot těsnících podzemních stěn. Při jejím složení není třeba tak důsledně sledovat navržené složení jako u litého betonu. Způsobuje též menší koagulaci výplachu (menší obsah cementu v 1 m³ směsi). Směs je dostatečně odolná proti vyplavování a příznivá je i její odolnost proti působení agresivní vody. Protože látek, které by voda mohla napadnout, např. cement, je malé množství a přístup k nim je bráněn jílovými zrny. Jelikož počátek tuhnutí je pomalejší, jsou i menší nároky na dobu jejího zpracování.

Jílocementový beton se skládá ze štěrkopísku a z malty složené z jílu, cementu a vody. Vzhledem k většímu měrnému povrchu jílových zrn, než jaký mají zrna cementu, vážou jílová zrna i větší množství vody (bez ohledu na vodu vázanou v jílové mřížce). Jílové částice se separují na povrchu cementových zrn, čímž se zpomaluje tvrdnutí a zvětšuje se i odolnost proti agresivitě. Zmenšením obsahu cementu klesá také modul pružnosti jílocementového betonu (i na hodnoty kolem 400 MPa). Nízké moduly se získají na úkor malé pevnosti v prostém tlaku kolem 0,4 MPa. Zpracovatelnost lze kontrolovat sednutím kužele, závisí na obsahu jílu v 1 m³ betonu a na jeho mineralogické příslušnosti, která rovněž určuje vodní součinitel. Zpracovatelnost je dále závislá na použitém písku a štěrkopísku, avšak v menší míře než u betonové směsi. Jílocementový beton je pro poměrně velké množství jílu náchylný k vysychání, což zhoršuje jeho vlastnosti. Musíme jej tedy před vysycháním chránit. Při výrobě jílocementové betonové směsi je třeba, aby jíl s vodou byly dobře rozptýleny. [1]

2.2.1.3 Jílocementová směs

Jílocementová směs se skládá z cementu, bentonitu a vody. Přesným složením se dnes zabývají specializované firmy.

Jílocementová betonová směs je jako výplňová hmota lepší než jílocementová směs, má menší koeficient filtrace, vzdoruje lépe agresivním účinkům, je levnější atd. Má však tyto nevýhody: nutnost použití koutových rour (pažnic) a vyrábět ji v míchačce na betonovou směs. Její používání je tedy náročné na pracnost. Naproti tomu jílocementová směs se může vyrábět v automatické mísírně, kde pro obsluhu zařízení o kapacitě několika desítek až set m³ za den potřebujeme jen několik pracovníků, avšak záleží na velikosti zařízení. [1]

2.3 Technologie

Pro budování podzemních těsnících stěn bylo již za téměř 60 let vyvinuto mnoho druhů technologií. Následující vyjmenované způsoby budování nejsou uvedeny všechny, pouze nejznámější.

2.3.1 Podzemní těsnící stěny (Milánské stěny)

Jedná se o železobetonové prvky, které jsou v současné době poměrně často využívány jako konstrukční jednotky a to ze dvou důvodů. V průběhu výstavby stavební jámy jsou použity jako pažení svislých stěn a zároveň je lze použít i jako budoucí obvodové stěny podzemních podlaží.

Železobetonové stěny navržené čistě k pažicím účelům nebo jako dočasné se dnes téměř z ekonomického hlediska nepoužívají. Provádění podzemních stěn i jejich kontrola a příslušná supervize jsou stanoveny normou EUROCODE 7.

Podle charakteru se dále dělí na:

- monolitické, jsou betonovány na místě,
- prefabrikované.

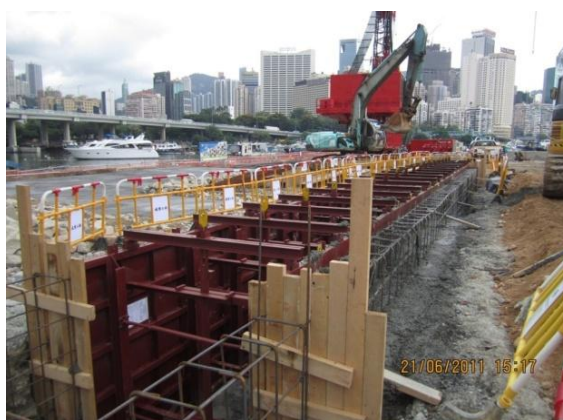
Technologický postup při budování monolitických podzemních stěn: pro budování podzemních stěn je velmi důležité vytvoření technického zázemí. Jedná se o vytvoření ploch k umístění čistící a čerpací techniky suspenze. Dále také místo pro uložení odpadní suspenze, pokud není transportována ze stavby. Pro pohyb těžící a transportní mechanizace je nutné vytvořit dostatečně únosné pracovní plošiny.



Obr. 2.3.1.1 Čistička suspenze [6]

Pro co nejpresnější hloubení rýhy se budují vodící zídky. Jedná se o betonové, po obou stranách prováděné zídky a obvykle slabě vyztužené svařovanými sítěmi. Jejich výška je nejméně 0,8 m, nejčastěji 1,0 – 1,5 m, tloušťka 0,2 – 0,3 m. Vnitřní rozměr mezi zídkami je o 50 – 100 mm větší, než je šířka hloubicího nástroje. Takto provedené zídky se na určitou vzdálenost zahradí a napustí se pažící suspenzí. V ostatních místech se rozepřou nebo zasypou zeminou.

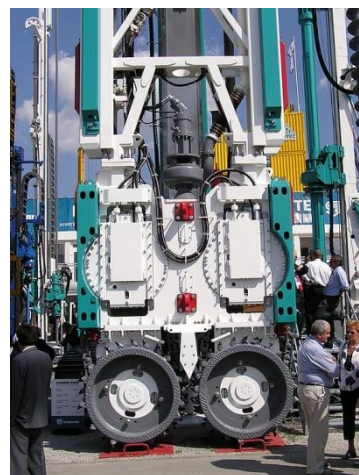
Rýhy jsou hloubeny pomocí speciální těžké mechanizace. Pro hloubení v měkkých horninách se užívají drapáky a v tvrdých horninách hydrofrézy.



Obr. 2.3.1.2 Bednění vodících zídek [7]



Obr. 2.3.1.3 Drapák [8]



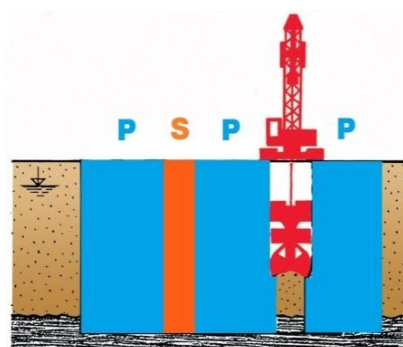
Obr. 2.3.1.4 Hydrofréza [9]

Podzemní stěny se budují o tloušťkách 400, 600, 800 a 1000 mm, zatímco tloušťka 400 mm je zcela mezní z důvodu možností betonáže sypákovými rourami. Tloušťka 1000 mm, případně i větší, je využita zcela výjimečně.

Při použití drapaků je délka 2,5 m a hloubí se lamely jednozáběrové (primární x sekundární) nebo trojzáběrové (dvě primární a jedna sekundární). V případě použití fréz se provádějí většinou jednozáběrové lamely délky 2 - 3 m.



Obr. 2.3.1.5 Lamely jednozáběrové [10]

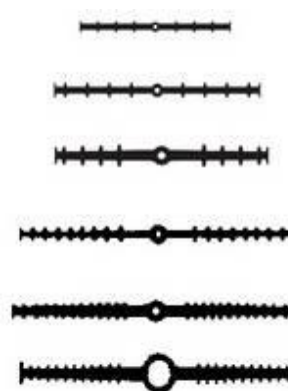


Obr. 2.3.1.6 Lamely trojzáběrové [10]

Po vyhloubení lamely se rýha vyčistí od napadané zeminy a zkontroluje se kvalita pažící suspenze (obzvláště její písčitost – částice písku mohou být ve vznosu – odstranění se provede přečištěním v čističce). Poté se osadí koutové pažnice, které jsou tvořeny ocelovými troubami nebo plochými průřezy s navlečenými water-stopy. Water-stop je pryžová nebo plastová membrána, jenž zabraňuje pronikání vody přes pracovní spáry. V případě použití hydrofrézy se koutové pažnice nepoužívají a lamely se přefrézují po částečně zatvrdlém betonu.



Obr. 2.3.1.7 Koutová pažnice s
water-stopem [11]



Obr. 2.3.1.8 Průřezy
water-stopů [12]

Dále se osadí výztuž ve formě armokoše. Velmi podstatné je, aby u armokoše složeného z podélných a příčných nosných prutů, byla zajištěna tuhost pro jeho transport a spouštění do rýhy. Potřebné tuhosti docílíme vložením spojovacích diagonál. Armokoš se osazuje vcelku, pokud je to možné, protože spojování je složité. Na armokoš jsou instalovány distanční tělíska pro dostatečné krytí výztuže.

Po přečištění pažící suspenze, maximálně však do 2 hodin, se zahájí betonáž. Betonuje se pomocí sypákových rour pod pažící suspenzi. Sypáková roura je na horním konci opatřena násypkou trychtýřovitého tvaru, jenž je schopna pojmout dostatečné množství betonu tak, aby betonáž probíhala plynule. Před zahájením betonáže se sypáková roura opatří zátkou a spustí se do rýhy tak, aby nedošlo k promíchání betonu se suspenzí. Naplní se betonem a povytáhne se o výšku rovnající se asi průměru roury. Při dalším postupu betonáže se roura pozvolna vytahuje. Její konec musí zůstat ponořen

v betonu nejméně 3,0 m, zvláště tehdy, betonuje-li se více sypákovými rourami. Při šířce lamely 2,5 m se použije jedna sypáková roura, pro 3záběrovou lamelu šířky 6,5 m se použijí nejméně dvě. Roura se zkracuje zásadně shora a je nutné sledovat, aby nedošlo k sacímu efektu.

V průběhu betonáže se pažící suspenze odčerpává, přečišťuje a skladuje pro další možné použití. Stěna se přebetonuje tak, aby projektovaná výška stěny byla z neznečištěného betonu. Koutové pažnice se vytahují po zatuhnutí betonu.

Po odtěžení zeminy se stěna kotví předpjatými kotvami do okolní zeminy podle statického výpočtu. Pro snazší vrtání a úpravu kotevní oblasti se na armokoš mohou upevňovat speciální předem připravené formy, které zajistí dokonalou roznášecí plochu kotev a průchod předpínacího kabelu.

Monolitické podzemní stěny jsou oproti prefabrikovaným budované častěji, neboť jsou levnější a rychlejší. Jejich nevýhodou může být nerovný povrch, který kopíruje stěny vyhloubené rýhy. Z toho důvodu je velmi často v případě konstrukčních stěn požadována úprava povrchu stěn po odtěžení zeminy. Úprava se realizuje frézováním – rotační frézy nebo stříkaným betonem, někdy i kombinací obou technologií.

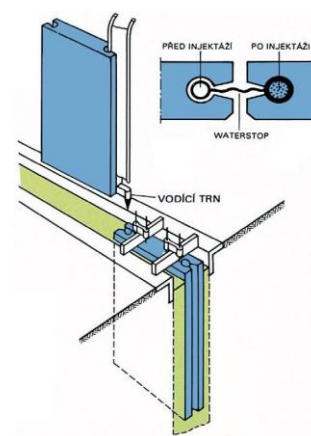
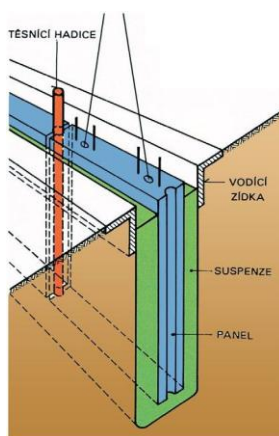
Prefabrikované podzemní stěny se navrhují pro trvalé konstrukce zárubních zdí i hloubených tunelů. Jejich výhodou je dokonalá povrchová úprava lící plochy a dosažení naprosto přesné polohy jednotlivých panelů. Naopak nevýhodou je relativně vysoká cena, která je způsobena výrobou a zejména jejich transportem na staveniště.

Technologický postup při budování prefabrikovaných podzemních stěn: vybudování vodících zídek je stejné jako u monolitických, ale jejich světlá šířka je o 200 – 300 mm větší než je šířka panelů. Musí se počítat i s rezervou pro hloubicí nástroj, tj. 50 – 100 mm. Rýha se hloubí jako jednozáběrová či trojzáběrová lamela. Pažení rýhy obvykle zajišťuje samotvrdnoucí suspenze, která na rozdíl od suspenze použité pro stěny těsnící má jistý nárůst pevnosti, jež bývá větší než v případě stěn těsnících, např. na úkor vodotěsnosti.

Do vyčištěné rýhy pod suspenzí se vkládají železobetonové panely. Kontroluje se jejich poloha a svislost. Rozměry panelů jsou dány nejen statickým posouzením, ale také jejich hmotností, která je limitována kapacitou zvedacích mechanismů a finančními nároky na transport. Panely se neopírají o dno rýhy, vyvšují se na vodící zídky pomocí příčných nosníků. Jistý problém spočívá v napojování jednotlivých panelů. Je vytvořeno několik systémů, které zajistí vodotěsnost a spolupůsobení panelů. Jednou z možností je například použití ocelového vodícího trnu, který ukotví následující panel a znemožní mu vybočení jakýmkoliv směrem. Do kruhových drážek ve styku obou sousedních panelů se vloží těsnicí hadice z umělé hmoty spojené water-stopem. Tyto hadice se po zatvrdnutí suspenze, tedy zafixování panelu, zainjektují vhodným materiálem. Dojde tedy k utěsnění spár mezi jednotlivými panely. Lící strany panelů se mohou natírat separačním materiálem (např. želatiny) za účelem snadnějšího odstranění samotvrdnoucí suspenze při odkopu zeminy. [2]



Obr. 2.3.1.9 Osazování
prefabrikovaných panelů [13]

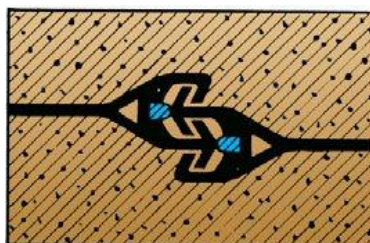


Obr. 2.3.1.10 Použití systému s ocelovým trnem [10]

2.3.2 Jílocemencové stěny

Pro čistě těsnicí funkci, například protipovodňové stěny, se betonová výplň podzemních stěn nepoužívá. Je to velmi neekonomické. Pro tyto účely je výplň tvořena jílocementovou samotvrdnoucí suspenzí. Pracovní postup je stejný jako u betonových podzemních stěn, nepoužívá se armokoš. Jílocementová samotvrdnoucí směs zde tvoří hlavní těsnicí element. Při náročných okolnostech, zejména při zvýšeném

chemickém znečištění vody, lze spolehlivost a trvanlivost těsnícího účinku jílocementových podzemních stěn dále zvýšit osazením geomembrány. Jedná se o svislé pásy z fólie HDPE spojované speciálními zámky. Lze ji použít pro hloubky až do 30 m. [10]



Obr. 2.3.2.1 Speciální zámky fólie
z HDPE [10]

2.3.3 *Převrtávané pilotové stěny*

Jde o velmi rozšířenou konstrukci průběžných těsnících stěn. Díky jejich provádění většinou nahrazují stejně kvalitní podzemní stěny např. v městské zástavbě, kde odpadá použití jílové suspenze. Jsou výhodné také po jejich finanční stránce.

Převrtávané piloty jsou považovány za konstrukce vodotěsné, které jsou schopny odolávat hydrostatickému tlaku. Pokud jsou piloty vetknuty do nepropustného podloží, lze je považovat jako dokonale těsnící konstrukci. Převrtávané pilotové stěny se kromě trvalých konstrukcí, např. suterény budov, vhodně používají i jako pažení kruhových šachet. Pomocí nich lze vytvořit prakticky dokonalý kruh o průměru 5 – 6 m (minimální průměr např. kolektorových šachet). Ze statického hlediska je jejich hlavní výhodou pouze radiální vodorovné napětí a není třeba zvláštních podpor. Je ovšem nutné kontrolovat velikost tlaku v betonu pilot tak, aby nedošlo k příčným tahům v primárních (nevyztužených) pilotách, a to s ohledem na velikost kontaktní plochy převrtané piloty při tolerancích ve sklonu pilot a jejich půdorysném umístění. Z převrtaných pilot lze vytvořit i šachtu eliptického půdorysu. Zde však vznikají ohybové momenty, na něž je nutné průřezy navrhnout. V některých případech postačí vnitřní ostění z vyztuženého stříkaného betonu. Jindy se nevyhneme návrhu železobetonových rámců.

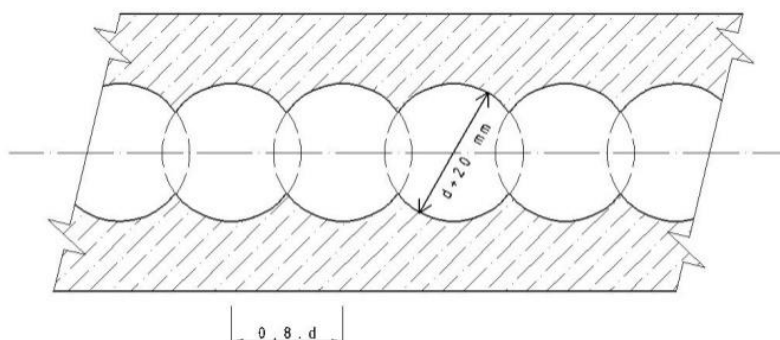
Technologie provádění: přípravné práce spočívají v přípravě dostatečně únosné pracovní plošiny a vytvoření vodící šablony pro vrtnou soupravu. Vodící šablony nahrazují vodící zídky použité u podzemních stěn. U převrtávaných pilot je velmi podstatné dodržení polohy a svislosti pilot tak, aby výsledná stěna byla souvislá.



Obr. 2.3.3.1 Vodící šablony [14]

Zhotovení šablon je však komplikovanější. Její výška by měla být nejméně 0,8 m a měla by co nejpřesněji kopírovat půdorys převrtávaných pilot. Šablona je dřevěná nebo svařena z ocelových trub a segmentů. Do připravené rýhy šířky větší o 0,5 – 0,6 m, než je průměr pilot, se osadí svařenec z ocelových trub a segmentů (nebo dřevěná šablona), potažená pryží tloušťky 10 mm. Průměr otvorů je o 20 mm větší, než je průměr příslušné pažnice při provádění pilot. Takto připravená šablona se obetonuje betonem kvality nejméně C16/20, popřípadě se do bloků vloží výztuž ve formě svařovaných sítí. Šablona se používá opakovaně. Po zatvrdnutí betonu šablony se provádí vrty pro piloty. Stěna se skládá z primárních pilot, které se realizují s časovým předstihem a jsou vyplněny prostým betonem. Tyto primární piloty jsou ze statického působení nenosné, plní pouze funkci těsníci. Nemusí být ani prováděny na výpočtovou hloubku, musí však stále splňovat těsnící funkci.

Po určité časové prodlevě, je-li beton primárních pilot již tuhý, ne však zatvrdlý, se realizují piloty sekundární. Výsledná osová vzdálenost převrtávaných pilot v řadě závisí na jejich průměru d , volné výšce stěny H a na geotechnických poměrech na staveništi. Bývá kolem $0,8 \times d$. Sekundární piloty jsou železobetonové – nosné a jsou vetknuty na výpočtovou délku pode dno stavební jámy nebo výkopu. Vrty pro piloty se vrtají za pomoci spojovatelné ocelové pažnice, jenž do zeminy rotuje buď pomocí teleskopu nebo pomocí dopažovacího zařízení. Z pažnic se zemina vybírá příslušným nástrojem, šapou nebo spirálem, přičemž se pata pažnice nepodvrtává. Tuhost pažnic o tloušťce stěny 40 mm zajišťuje spolu s vodící šablonou polohu a svislost jednotlivých pilot a pilotové stěny jako celku.



Obr. 2.3.3.2. Schéma převrtávaných pilot

Jde o náročnou práci jak na technologické provádění, tak i na organizaci, protože beton primárních pilot tuhne a tvrdne bez ohledu na možné komplikace (překážky a přerušení vrtání). [2]



Obr. 2.3.3.3. Výsledná převrtávaná pilotová stěna [15]

2.3.4 Trysková injektáž

Jde o metodu, při které dochází k zlepšování vlastností půdy. Je založená na rozrušování struktury půdy v okolí vrtu vysokou mechanickou energií tryskaného média, jejího částečného nahrazení a smíchání rozrušené zeminy s cementačním pojivem. Podle metody provádění se dělí:

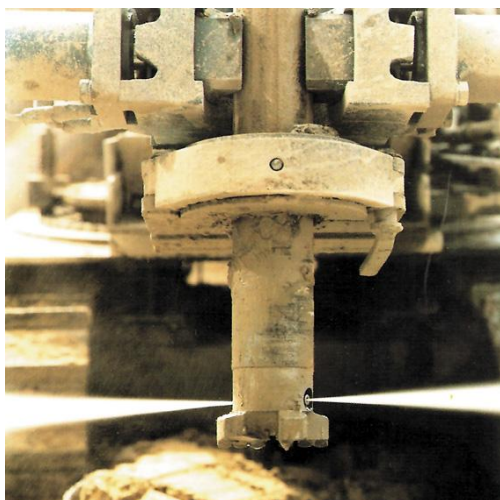
Jednofázový systém – při němž se rozrušování zeminy, jakož i její zpevnění, dosahuje jedním médiem o vysoké mechanické energii. Nejčastěji se jedná o paprsek cementové suspenze.

Dvoufázový systém vzduchový – při němž se rozrušení zeminy a její zpevnění dosahuje vysokou mechanickou energií tryskaného paprsku, zpravidla cementové suspenze, za podpory stlačeného vzduchu. Stlačený vzduch obaluje paprsek cementové suspenze a činí jej průraznějším.

Dvojfázový systém vodní – při němž je rozrušování zeminy zajištěno pomocí vodního paprsku o vysoké mechanické energii a zpevnění je docíleno odděleným paprskem injekční směsi (většinou cementové).

Trojfázový systém – při němž je rozrušování zeminy docíleno vodním paprskem o vysoké mechanické energii za podpory stlačeného vzduchu. Zpevnění nastává odděleným paprskem injekční směsi, vesměs cementové.

Technologický postup provádění tryskové injektáže (dále jen TI): vyvrtání (bezejádrových) maloprofilových vrtů, předem určených geometrických vlastností, obvykle o průměru 100 – 200 mm. Vrty TI se provádějí jako maloprofilové stejnou technologií jako vrty pro mikropiloty, kotvy či klasickou injektáž. Vrtání zajišťuje vrtná souprava pro TI – běžná rotačněvrtná souprava pro maloprofilové (vesměs bezejádrové) vrtání umožňující regulaci rotace a posun vrtného soutyčí a nářadí. Vrtné soutyčí pro TI má jednoduché, dvojité, popř. trojitě vnitřní kanály, umožňující vést jednotlivá média k monitoru. Monitor je nástroj montovaný na konec soutyčí (resp. mezi konec soutyčí a vrtný nástroj), umožňující tryskat paprsek, popř. paprsky tekutého média TI do zeminy.



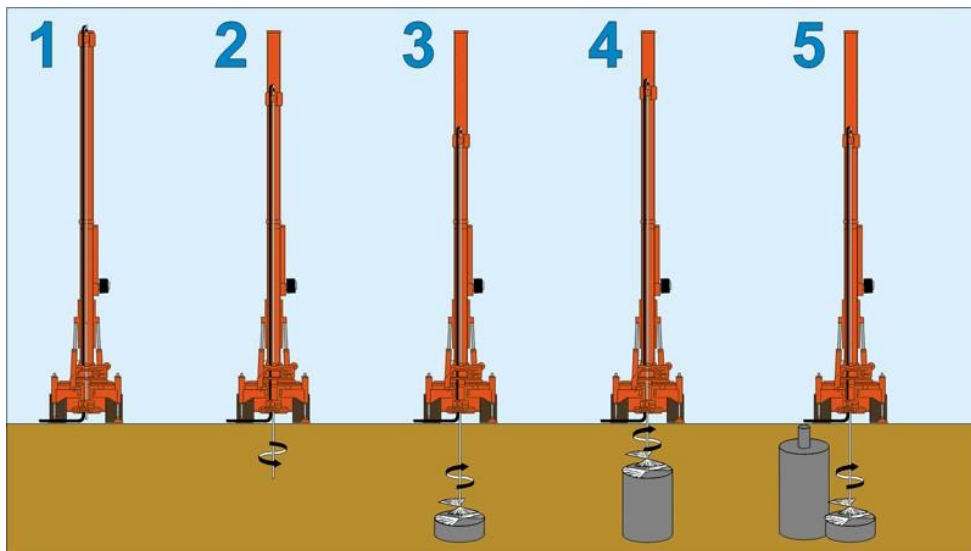
Obr. 2.3.4.1 Monitor s vrtnou hlavicí [16]



Obr. 2.3.4.2. Vrtná souprava [17]

Do monitoru je montována speciální výměnná tryska zajišťující transformaci média TI ve vrtném soutyčí do paprsku tryskajícího do zeminy. Trysky jsou vyrobeny ze slinutých karbidů nebo speciální keramiky. Mají různé tvary a průměry otvorů. Po zavrtání vrtného soutyčí na požadované dno se začne s tryskáním rozrušujícího média a přidáváním pojiva zpevňujícího zeminu za současného vytahování a otáčení soutyčí

s předem určenými hodnotami pro rychlost vytahování a otáčení, pro tlak a průtok každého jednotlivého média. Tyto operace se provádějí automaticky a jsou řízeny mikroprocesorem. Hlavní prvky používané při budování těsnících clon jsou sloupy – z nich vytvořená stěna či deska, lamely – z nich vytvořená stěna.



Obr. 2.3.4.3. Schéma postupu TI [18]

Sloup či lamela se tryská až do požadované úrovně. Ta však musí být pod úrovní pracovní plošiny, neboť do její úrovně nelze efektivně tryskat (není k dispozici potřebný odpor). Tento výškový rozdíl by měl být nejméně 1,0 m. Jednotlivé druhy TI se volí s ohledem na geotechnické poměry na staveništi, na požadovaný tvar a vlastnosti výsledných prvků TI, popř. konstrukcí.

Vyplavený materiál je již smíchaný s rozrušenou zeminou a nelze jej znovu použít. Skladuje se nejčastěji v sedimentačních jámách, pokud to staveniště umožňuje nebo se transportuje v tekutém stavu ze stavby cisternami. Použitá cementová suspenze má různé složení dané vodním součinitelem, který se pohybuje od 0,5 do 1,5. Suspenze je zkoušena a musí splňovat dané parametry.

Provádění tryskové injektáže vyžaduje:

- Vrtnou soupravu vybavenou pro TI, tzn. se soutyčím pro TI, monitorem a zařízením k pohonu soutyčí, jenž musí být tak uzpůsoben, aby umožnil pohyb vrtného soutyčí stanovenou rychlostí otáčení a posunu.
- Míchací zařízení pro přípravu médií TI, včetně jejich skladování.
- Vysokotlaké čerpadlo s vysokotlakým potrubím spojující vrtnou soupravu a čerpadlo.
- Zařízení k měření tlaku, průtočné rychlosti a množství, rychlosti otáčení a posunu, jakož i okamžité hloubky monitoru.
- Zařízení pro hospodaření s vyplaveným materiálem.

TI lze výhodně použít pro budování pažících a současně těsnících konstrukcí za účelem odkopání, popř. podkopání. Využívá se také k dotěsnění jiných konstrukcí (např. štětových stěn) při napojování na stávající stavby nebo jako těsnění dna stavební jámy nebo šachty (sloupy TI různých průměrů vzájemně se překrývající a tvořící tak dostatečně těsné dno šachty; i u velkých stavebních jam, kdy jejich stěny nezasahují do nepropustného podloží, protože se nachází příliš hluboko, může se vytvořit deska, ať už mělce nebo hluboce umístěná). [2]

2.3.5 Deep soil mixing DSM - Hloubkové zlepšování zemin

Jednou z mnoha způsobů využití DSM jsou pažící konstrukce nebo těsnící clony. Hloubkové zlepšování je však smysluplné pouze v oblastech kolem vodních toků (nížiny, delty řek, naplaveniny vyplněná údolí, apod.). Nemá smysl jej realizovat v prostředí ulehklých nesoudržných či pevných a tvrdých soudržných zemin i v horninách. Velmi vhodné je tuto metodu aplikovat na prostředí skládek, výsypek či jiných ploch s možným znečištěním životního prostředí. DSM je velmi rozvinuté v zemích, kde má tato metoda větší uplatnění, např. USA, Japonsko, Polsko, a to zásluhou velkých firem zabývajících se speciálním zakládáním (SOLÉTANCHE, KELLER, BAUER).

Výrobní proces se dělí na suchý a mokrý, při aplikaci na těsnící konstrukci lze použít pouze mokrý. Jde o míchání zeminy s cementovou suspenzí. Ta se připravuje v míchacím centru a čerpadlem se dopravuje do koncového míchacího nářadí. Dalším podstatným aspektem je druh nasazeného mechanismu. Využívá se jednoho či více míchacích aparátů (nářadí). Pádlá, šneky a vrtule různých průměrů 0,4 – 2,0 m jsou sestaveny buď samostatně, nebo jako soustavy v řadě.



Obr. 2.3.5.1 Míchací nářadí [19]

Jsou tak vytvářeny jednotlivé pilíře promíchané zeminy v určitém systému, tvarech, resp. vzdálenostech, či se takto zpracovává (míchá) 100 % objemu původní zeminy. V závislosti na konzistenci, respektive ulehlosti, druhu procesu a požadované délce (hloubce) je třeba volit průměr nářadí, a tedy i velikost (sílu, kroutící moment) mechanismu. Výkonné stroje dokážou promíchat zeminu i do hloubky přes 10 m. Úskalím této metody je závislost na návrhu správné receptury (míchací energii), množství a druhu pojiva apod. V současnosti je zřejmý značný technologický a mechanizační rozvoj, teorie však ještě není dovedena do uspokojivých výsledků.

Procesem míchání se v důsledku přidání pojiva vylepší blok zeminy, přesně řečenolepší se vlastnosti zeminy, nicméně se výrazně zkomplikuje zadávání parametrů do výpočtu, resp. sestavení výpočtového modelu. Získání návrhových podkladů pro zlepšenou zeminu je ještě obtížnější než pro zeminu přirozenou. Správná interpretace výsledků polních a laboratorních zkoušek je v zásadě jedinou možností, jak dospět

k dobrému výsledku. Je tedy důležité rozsáhlé testování in situ před zahájením procesu a porovnání s výsledky v laboratoři. Nezbytné je také monitorování v průběhu provádění a po dokončení konstrukce.

Použití DSM je vhodné zejména v měkkých jemnozrnných zeminách, organických zeminách, jako jsou rašeliny, v některých antropogenních navážkách a samozřejmě v kyprých nesoudržných zeminách. Vrtná souprava není příliš odlišná od vrtaček používaných na zhotovování velkopřůměrových pilot, které mohou být podle parametrů vrtání vybaveny jedno až tří-tyčovým (hlavovým) vrtným nářadím. Postavení, resp. počet vrtáků (šlehačů) má pak zásadní vliv na tzv. mixovaný tvar tělesa. V případě jednoho nástroje se podle síly zhotovovacího stroje vytvářejí kruhové pilíře odpovídajícího průměru. Při použití většího počtu nástrojů vznikají lamely.



Obr. 2.3.5.2 Kruhové pilíře [20]



Obr. 2.3.5.3 Budování lamel [20]

Ve špici vrtného nářadí je osazena soustava zubů pro rozpojování zeminy. Často je využíváno i šneků nebo spirály. Pro co nejkvalitnější mechanické míchání jsou zásadní tzv. pádla osazená na vrtné tyči. Při míchání např. ulehlé zeminy nebo balvanitého štěrku dochází k silné abrazi míchacího nářadí. Pro posílení rozpojovací energie se může použít i vysokotlakého paprsku vody nebo cementové suspenze, které jsou přiváděny do zeminy tryskami umístěnými těsně na špici vrtného nářadí.

Nedílnou částí výrobního zařízení je stacionární míchací zařízení. To se skládá ze zásobníků nebo přívodů komponentů (cement, voda apod.), míchačky se zásobníkem na suspenzi a pumpy (čerpadla). Z míchacího centra se směs vede hadicemi k vrtnému stroji přímo do špičky vrtného-míchacího nářadí. Pro těsnící konstrukci jsou sloupy či lamely vytvářeny podobně jako převrtávané piloty, tedy primární a sekundární.

Ve velmi měkkých jemnozrnných, organických a kyprých nesoudržných zemínách, zvláště pokud jsou plně nasyceny vodou, je zpracování (míchání) velmi efektivní a rovnoměrné. Naopak jíly s vysokou plasticitou či suché spraše se mícháním se suspenzí do homogenní podoby nedaří zpracovat. V mnohem větší míře než u předchozího typu dochází k vytěžení části zeminy z vrtu a tudíž k vyšší spotřebě suspenze. Čím jemnozrnnější nebo vrstevnatější zemina, tím vícrát je potřebné míchání opakovat. Je tedy zřejmé, že počet míchacích cyklů se odvíjí od typu zeminy. Docílí se tak homogennějšího promísení zeminy se suspenzí, čímž se zvýší integrita produktu. Průměry vrtání, resp. míchání, se pohybují mezi 0,5 až 2,0 m a dosahuje se hloubek téměř 15 m.

Velmi významnou výhodou metody DSM je i výrobní proces, jenž se realizuje bez dynamických otřesů. Nabízí se tedy možnost realizovat pilíře blízko nadzemních překážek (zdivo sousedních objektů). [21]

2.3.6 Trenchmix

Podzemní stěnová konstrukce zpevněné zeminy promíchané s hydraulickým pojivem, jako například cement. Je realizována speciálním zařízením trencher s následujícími přednostmi:

- Zemina je rozrušena a promísená na místě bez významného vytěžení na povrch.
- Zařízení umožňuje rovnoměrně dávkovat a promísit pojivo in-situ do zlepšované zeminy.

Dávkování pojiva může být realizováno ve formě prášku (suchá metoda) nebo ve formě tekuté suspenze (vlhká metoda). Pro provádění je zapotřebí trencher, míchárna směsi a výkonná čerpadla pro dopravu směsi. Jako pojivo se používá cement a mohou být použity další příměsi pro úpravu reologie, nepropustnosti a chemických vlastností. Tloušťka promíchané rýhy je obvykle 400 mm, avšak záleží na typu použitého trencheru. Trencher dosahuje hloubky max. 10 m.



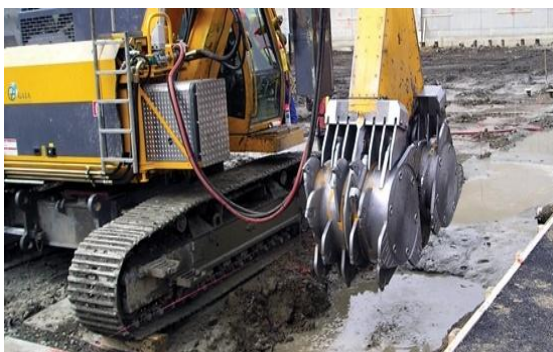
Obr. 2.3.6.1 Trencher [10]

Tato metoda je nejlépe použitelná zejména do nesoudržných, ale i do některých soudržných zemin. Velké balvany mohou způsobit potíže nebo dokonce zastavit postup. Práce je třeba přerušit v místech křížení s podzemními sítěmi. Ideální je pro budování protipovodňových opatření. Stejně tak vhodná metoda i pro těsnění kontaminovaných lokalit. V případě vyztužení ocelovými profily se dá použít i pro pažení stavební jámy pod hladinou podzemní vody. Velmi výhodná metoda pro stavby s velkým objemem podzemních těsnících bariér. Téměř odpadá nutnost likvidace výkopku (výhoda u kontaminovaných lokalit). Jistou nevýhodou je omezený hloubkový dosah. Vysoká produktivita (až 1000 m²/den) a tím příznivá i cena. [10]

2.3.7 Geomix

Jedná se o kombinaci DSM a hloubení podzemních stěn za pomoci frézy. Podzemní stěnová konstrukce zpevněné zeminy promíchané s hydraulickým pojivem je realizována speciálním zařízením CSM, a to ve dvou krocích: Nejprve je zemina při sestupu dolů rozrušena a homogenizována na místě bez významného vytěžení na povrch při současném dávkování části pojiva. Následně je při vzestupném pohybu zemina konsolidována a rovnoměrně doplněna zbývajícím pojivem. Pro budování touto metodou je zapotřebí CSM, míchárna směsi a výkonná čerpadla pro transport směsi. Jako pojivo se používá cement a další příměsi pro úpravu reologie, nepropustnosti a chemických vlastností.

Stěny zhotovené touto metodou mají šířku 500, 600 nebo 800 mm. Dosahují hloubky až 30 m, případně do úrovně nepropustného podloží. Jsou nejlépe použitelné do nesoudržných zemin, ale za určitých podmínek je možné aplikovat tuto metodu i v prostředí soudržných zemin.

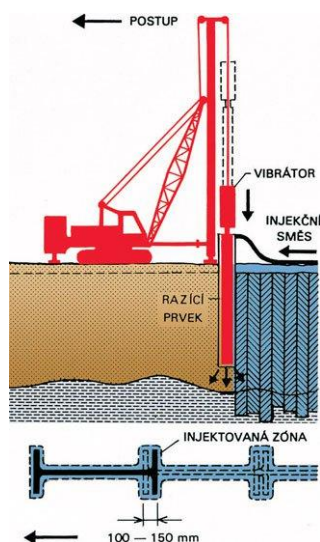


Obr. 2.3.7.1 CSM zařízení [10]

Ideální pro protipovodňová opatření a těsnění kontaminovaných lokalit. Mohou být vyztuženy ocelovými profily a mohou tak sloužit i jako pažící konstrukce stavební jámy pod hladinou podzemní vody. Jedná se o velmi univerzální metodu, jak z hlediska geologie, tak z hlediska hloubkového dosahu. Téměř bez nutnosti likvidace vytěžené zeminy (značná výhoda u kontaminovaných lokalit). [10]

2.3.8 Jílocementové tenké těsnící podzemní stěny TTPS

TTPS se zřizují postupným vibračním zarážením ocelového I profilu, přičemž je na břitu vháněna injekční směs (jílocementová). Při zpětném vytahování profilu se uvolňovaný prostor tlakově vyplňuje touto směsí. Následující zarážený prvek se částečně překrývá s prvkem předchozím (100 – 150 mm) a vzniká tak postupně souvislá stěna. Používá se vibrační souprava se speciálním razícím prvkem. Dále je třeba připravit injekční směs, čerpadla pro její dopravu a další příslušenství. Výsledná tloušťka stěny je cca 100 mm a dosahuje hloubky 20 m. Používá se v zeminách, kde lze úspěšně použít vibrační techniku, ideální pro protipovodňová opatření. Výhodou je velmi nízká náročnost na zabudované materiály. Nevýhodou jsou silné dynamické rázy, odpadá použití v zástavbě. [10]



Obr. 2.3.8.1 Schéma budování TTPS [10]



Obr. 2.3.8.2 Realizace TTPS [10]

2.3.9 Štětovnicové stěny

Pro vytvoření stavební jámy pod hladinou vody se využívá zejména jímek. Ty jsou nutné tehdy, buduje-li se konstrukce pod hladinou volné vody v řece, rybníku nebo jezeru. Jedná se tedy o dočasné konstrukce, které ohrazují stavební jámu. Pokud je to technologicky možné, používají se jímky ocelové ražené, jež vyhoví pro vzdutí 8 – 10 m. V našich podmínkách se používají ocelové štětovnice typu Larssen. Ve světě, zvláště v přímořských oblastech se využívá i jiných typů ocelových štětovnic. Pro

beranění se používá metoda vibroberanění. Tato metoda je účinná především v nesoudržných zeminách. Pro beranění v soudržných zeminách se používá metoda úderového beranění. Štětovnicové stěny mohou být dle potřeby rozepřené nebo kotvené. Spojují se pomocí speciálních zámků. [2]



Obr. 2.3.9.1 Realizace štětovnicových stěn [22]



Obr. 2.3.9.2 Zámek štětovnic [23]

3 TĚSNÍCÍ STĚNY A JEJICH POUŽITÍ

Kapitola se bude zabývat fyzikálními a mechanickými vlastnostmi některých technologií těsnících clon, které neslouží jako nosné konstrukce

3.1 Jílacementové podzemní těsnící stěny

Pro budování čistě jen těsnících clon je beton nebo dokonce železobeton velice neekonomické těsnící médium. Proto se používají směsi, které jsou schopny tuto úlohu bezpečně splnit.

Na trhu je mnoho výrobců zabývajících se výrobou kompletních směsí pro budování těsnících stěn. Jde o pažící a samotvrdnoucí jílocementové suspenze. Jejich přesná receptura je chráněna výrobcem a má svoji registrovanou značku. Jako příklad jsou uvedeny produkty firmy TIWO, jenž se zaměřuje na výrobu směsí pro podzemní stavitelství.

Pro podzemní těsnící stěny jsou vyráběny směsi TIWODUR, které jsou složeny z hydraulických pojiv a bentonitů:

- TIWODUR® 272 - komponenty jsou zaměřeny na jednofázové podzemní tenké těsnící stěny s vysokou pevností.
- TIWODUR® 273 - produkt na bázi komponentů pro tenké podzemní těsnící stěny.
- TIWODUR® 274 RV - produkt pro jednofázové kopané podzemní těsnící stěny.

Receptura	Jednotka	TIWODUR® 272	TIWODUR® 273	TIWODUR® 274 RV
TIWODUR®	kg/m ³	245	795	230
TIWO mletý vápenec	kg/m ³	70	ve směsi	-
Pitná voda	kg/m ³	890	715	920
Vlastnosti vytvořené PTS				
Hustota	t/m ³	1,2	1,51	1,14
Válcová pevnost *	N/mm ²	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 0,5
Propustnost **	m/s	≤ 5 · 10 ⁻¹⁰	≤ 1 · 10 ⁻⁹	≤ 1 · 10 ⁻¹⁰

Tab. 3.1.1 Směsi TIWODUR [24]

* Výsledné parametry jsou měřeny na hranolech (4 x 4 x 16 cm); mísicí poměr voda/pojivo/normovaný písek = 1/1/5; podmínky skladování vzorků: 20 °C pod vodou.

** Válec (čistá suspenze) h/d = 10/10 cm; měření alespoň 3 dny od začátku tuhnutí vzorku, tlakový spád $i = 30$; při teplotě 20 °C.

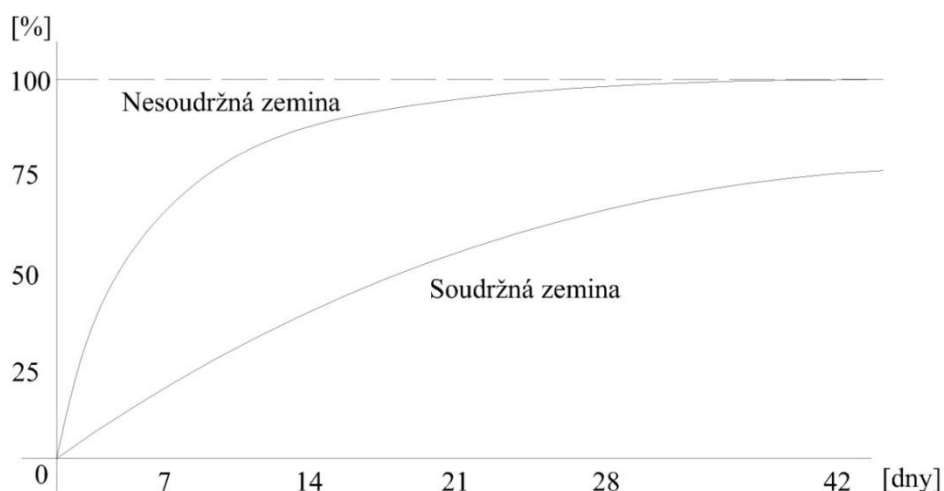
Směsi jsou navrhovány přesně pro daný typ použití. Všechny splňují kritérium propustnosti $k < 10^{-8}$ m/s, jsou podrobovány laboratorním zkouškám, například zkouška viskozity pomocí kulové harfy, zkouška penetrační jehlou, zkouška Maršova válce.

3.2 Trysková injektáž

Tryskovou injektáž lze provádět v soudržných i nesoudržných zeminách. Pevnost těles budovaných TI je závislá na typu zeminy. S velikostí zrn pevnost roste. Soudržné zeminy mají po aplikaci trykové injektáže pomalejší nárůst pevnosti. Pevnost těles v prostředí soudržných zemin je podstatně menší než v případě zemin nesoudržných (viz tabulka a graf).

Závislost pevnosti v tlaku na velikosti zrn (orientační)			
Pojivo - cement	prach	písek	štěrk
Pevnost v tlaku N/mm ²	≤ 5	≤ 10	≤ 25

Tab. 3.2.1 Závislost pevnosti v tlaku na velikosti zrn [25]



Obr. 3.2.1 Nárůst pevnosti [25]

Receptura cementové suspenze je před aplikací podrobena zkouškám. Musí splňovat podmínky, pro které byla navržena zejména propustnost, pevnost v tlaku a modul pružnosti. Pro potvrzení shody se často budují zkušební tělesa, z kterých se odebírají vzorky.

Injektážní pojiva firmy TIWO jsou vyráběna jako suché prefabrikované směsi různého materiálového základu a velikosti zrna dle potřeby dané vlastnostmi zeminy. HDI- Binder N, HDI- Binder R, HDI- Binder L jsou příklady směsí, které lze použít pro tryskovou injektáž. Rozlišují se podle doby tuhnutí, pevnosti a propustnosti.

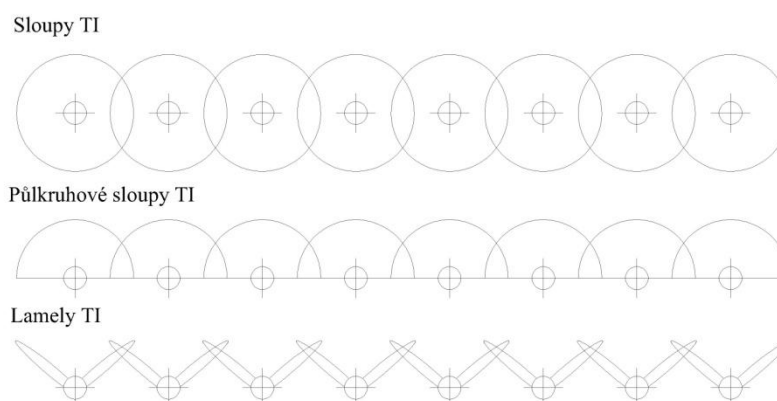
Receptura	Jednotka	HDI- Binder N	HDI- Binder R	HDI- Binder L
HDI- Binder	kg/m ³	755	755	745
Pitná voda	kg/m ³	755	755	745
Hustota		1,51	1,51	1,49
Nárůst pevnosti *				
3 dny	N/mm ²	≥ 3	≥ 4	≥ 2
7 dní	N/mm ²	≥ 5	≥ 6,5	≥ 3
28 dní	N/mm ²	≥ 10	≥ 10	≥ 5
Propustnost **	m/s	≤ 1·10 ⁻⁸	≤ 1·10 ⁻⁸	≤ 1·10 ⁻⁸

Tab. 3.2.2 Injektážní pojiva TIWO [24]

* Výsledné parametry jsou měřeny na hranolech (4 x 4 x 16 cm); mísicí poměr voda/pojivo/normovaný písek = 1/1/5; podmínky skladování vzorků: 20 °C pod vodou.

** Válec (čistá suspenze) h/d = 10/10 cm; měření alespoň 3 dny od začátku tuhnutí vzorku, tlakový spád $i = 30$; při teplotě 20 °C.

Velkou výhodou tryskové injektáže je téměř neomezený rozsah tvarů těles. Toho je využíváno zejména z ekonomického hlediska. Je zřejmé, že při výrobě kruhových sloupů bude spotřebováno více suspenze, než v případě subtilních lamel. Způsob, kterým bude TI prováděna, však závisí na požadavcích řešeného problému (viz. příklad z praxe - Ski centrum Kohútka). [32]



Obr. 3.2.2 Tvary těles TI

3.3 Deep soil mixing

Tuto metodu je možno využít vedle běžného zakládání objektů i pro budování dočasných nebo trvalých protipovodňových ochranných stěn.

DSM svou efektivitou pracovního procesu i ekonomikou provozu zcela nahrazuje použití tryskové injektáže. Jako metoda zlepšování podloží v případě, že není nutné vrtat přes betonové, zděné či jiné obtížně vrtatelné překážky nebo provádět zlepšení v hloubkách několika desítek metrů. Pokud lze míchacím – vrtným nářadím zhotovit pilíře v celé jeho délce, je výhodnější použití DSM, než tryskovou injektáž.

Množství cementového pojiva bývá přibližně 80 až 450 kg na m³, dávkování je závislé na typu zeminy, proto je nutné provést laboratorní zkoušky a optimalizovat tak množství pojiva.

Po vybudování clony jsou prováděny průkazné zkoušky na válcích získaných jádrovými vrty. Receptura by měla splňovat požadované vlastnosti jako propustnost, pevnost a modul pružnosti, v agresivním prostředí i odolnost vůči působení chemikálií obsažených v zemině.

Výsledné pevnosti v tlaku prováděných na tělesech dosahují přibližně od 1,0 MPa v organických zeminách a více než 10 MPa v pískách. Pro výpočty se však doporučuje snížit hodnoty mechanicko-deformačních charakteristik cca 2 až 3krát.

Pro budování DSM vyrábí firma TIWO také injektážní pojivo MIP (mixed in place). Výsledné parametry jsou měřeny na hranolech (4 x 4 x 16 cm); mísicí poměr voda/pojivo/normovaný písek = 1/1/5 standard; podmínky skladování vzorků: 20 °C pod vodou [24].

Receptura	Jednotka	MIP
HDI- Binder	kg/m ³	745
Pitná voda	kg/m ³	745
Hustota		1,49
Nárůst pevnosti*		
3 dny	N/mm ²	≥ 1
7 dní	N/mm ²	≥ 2
28 dní	N/mm ²	≥ 7
Propustnost **	m/s	≤ 1·10 ⁻⁸

Tab. 3.3.1 Injektážní pojivo TIWO MIP [24]

* Výsledné parametry jsou měřeny na hranolech (4 x 4 x 16 cm); mísicí poměr voda/pojivo/normovaný písek = 1/1/5; podmínky skladování vzorků: 20 °C pod vodou.

** Válec (čistá suspenze) h/d = 10/10 cm; měření alespoň 3 dny od začátku tuhnutí vzorku, tlakový spád $i = 30$; při teplotě 20 °C.

4 PŘÍKLADY Z PRAXE

4.1 Ski centrum Kohútka



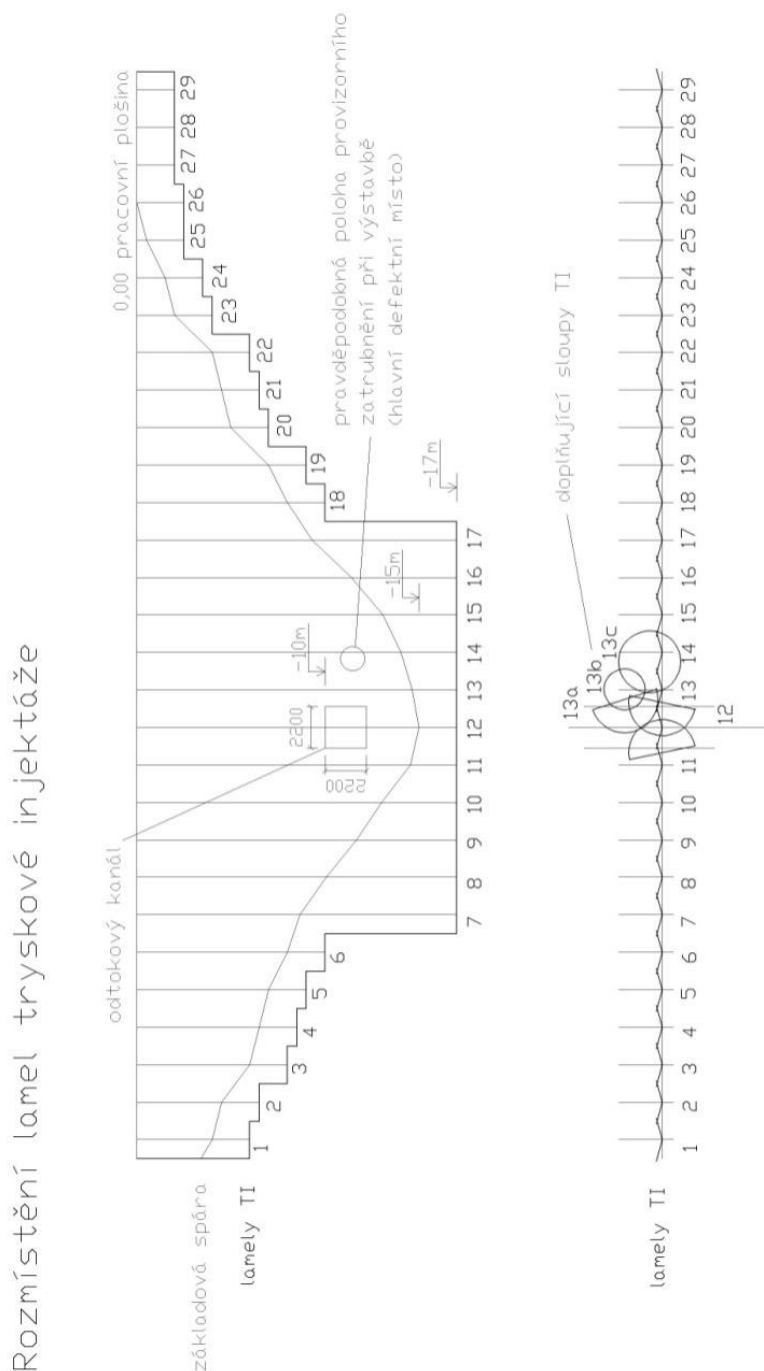
Obr. 4.1.1 Ski centrum Kohútka

Malá nádrž vybudovaná za účelem shromažďování dešťové a povrchové vody k zimnímu zasněžování svahů. Problémem nádrže byla těsnost její hráze a to zejména v oblasti provizorního zatrubnění při výstavbě.



Obr. 4.1.2 Průsak vody
u výpusti

Jako sanační opatření bylo nevhodnější použít tryskovou injektáž, a to přetěsnit celé těleso hráze pomocí vzájemně se překrývajících lamel do maximální hloubky 17 m, resp. vetknutých do nepropustného podloží. V této praktické úloze je velmi vhodně využit potenciál TI. Dokonalé těsnosti v oblasti odtokového kanálu bylo dosaženo pomocí dodatečných sloupů TI (13a, 13b, 13c). Bylo zhotoveno cca 450 m² těsnící clony.



Obr. 4.1.3 Schéma rozmístění lamel TI

4.2 SPOLANA Neratovice

Kvůli nápravě staré ekologické zátěže v lokalitě staré elektrolyzy v areálu továrny Spolana Neratovice byla realizována podzemní těsnicí stěna. Jako nejvhodnější metoda byla zvolena metoda Deep Soil Mixing.

Před zahájením prací bylo nutné připravit místo pro technické zázemí (mísicí zařízení, pumpa, atd.) a vytyčit trasu provádění. Pro použití DSM, bylo nutné podloží prozkoumat georadarem. Bylo zjištěno, že se v projektované trase nacházejí staré železobetonové základy, které bylo nutné ještě před samotným prováděním odstranit. Podél vytyčené trasy byla vyhloubena rýha hloubky cca 750 mm (pod úroveň pracovní plošiny) a šířky do 800 mm. Těsnicí stěna byla vedena v délce 726,7 m, hloubce 5 až 6 m, se zavázáním cca 1 m do slínovcového podloží.

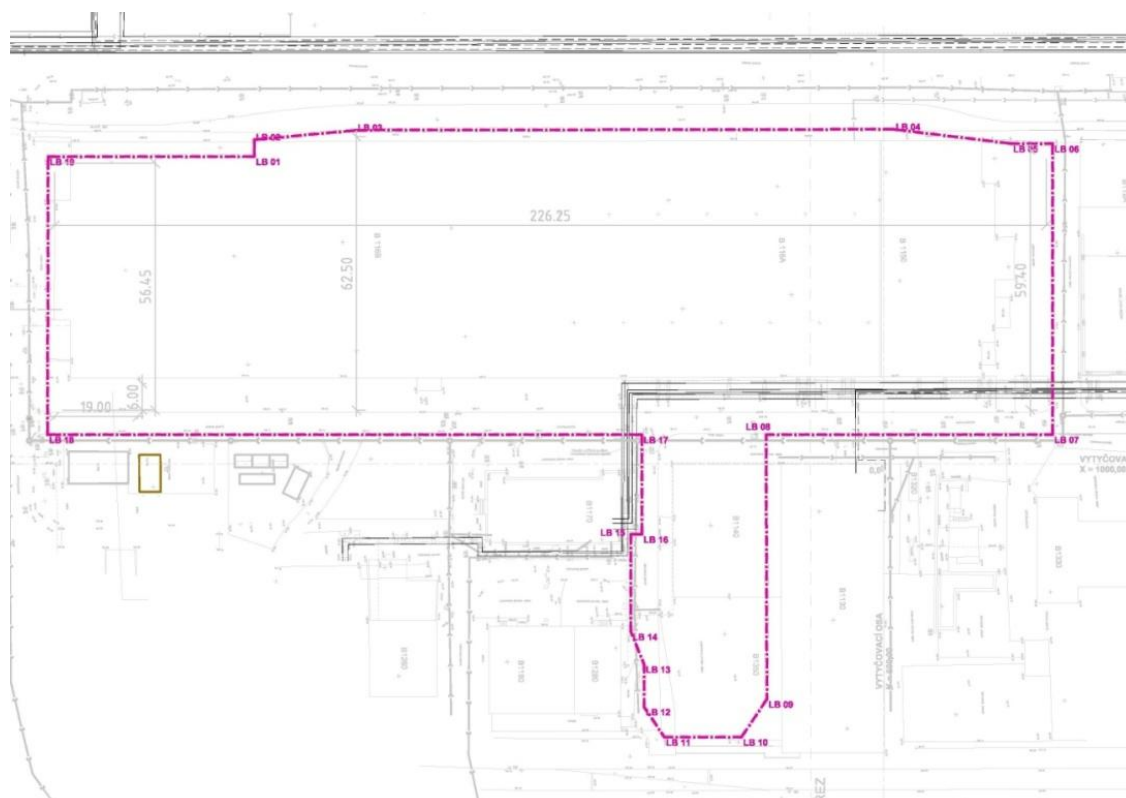
Byly vytvořeny stěny z jednotlivých lamel DSM šířky 600 mm a délky min. 1,2 m (míchací zařízení - trojitá kolona), které se navzájem protínaly, čímž vznikla souvislá stěna potřebné plochy. Lamely DSM byly provedeny 0,8 m pod úroveň pracovní plošiny. Vrtání-míchání bylo prováděno ve dvou fázích: a) rozvrtávání zeminy - penetrace do paty lamely, resp. stěny a b) míchání s cca dvojnásobným ponořováním za přívodu cementové suspenze.



Obr. 4.2.1 Staré betonové základy



Obr 4.2.2 Technické zázemí

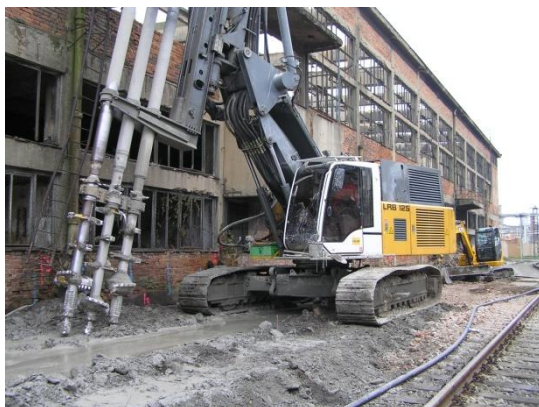


Obr. 4.2.3 Půdorys lamel

Penetrace mísícího nářadí do vrstvy slínovců byla potvrzena rychlou změnou rotace kolony, potřebného kroutičního momentu a rychlosti rotace. V takovém okamžiku byla kolona vyzvednuta o cca 1 m a znovu ponořena, aby se zefektivnilo zavázání do nepropustného jílovitého podloží.

Jako pojivo bylo použito TIWO Mixed in Place (MIP). V lamele min 150 kg/m^3 . Minimální požadovaná pevnost cementové suspenze v prostém tlaku byla: 2 MPa. Tolerance provedení sklonu vrtání $\pm 2 \%$ z hloubky vrtu. Půdorysná odchylka osy pilíře $\pm 100 \text{ mm}$ – nutný průnik sousedních lamel.

Pro laboratorní zkoušky (ověření mechanicko-fyzikálních vlastností) bylo provedeno rovnoměrně 12 jádrových vrtů v ose podzemní těsnicí stěny do hloubky nově vybudované PTS + 0,5 m do slínovců. Byly zkoumány zejména: koeficient propustnosti, odolnosti vůči kyselým vodám a agresivnímu prostředí. Ihned po odvrtání bylo provedeno tlakové zalití vrtu suspenzí, která byla používána při provádění PTS.



Obr. 4.2.4 Míchací mechanizace



Obr. 4.2.5 Vybudovaná stěna

4.3 Ščučí

Potok Ščučí protékající městskou částí Ostrava – Hrabová o délce cca 5 km. Téměř každoročně při jarním tání a vydatných deštích ohrožoval obyvatele Ostravy - Hrabové a působil tak i škody na majetku. Problémem bylo nedostačující koryto potoka, které nebylo schopno pojmout takové množství vody. Z tohoto důvodu bylo nutné provést opatření, které by navýšilo kapacitu potoka.

Byla provedena výstavba odlehčovacího koryta a navýšení kapacity potoka v délce cca 2,356 km. Stavba byla řešena tak, aby v budoucnu umožnila připojení části vod potoka Zif do potoka Ščučí.

Podél odlehčovacího koryta byla vybudována ochranná sypaná hráz, u které bylo nutné zajistit těsnost v případě rozvodnění potoka resp. dostatečně prodloužit průsakovou čáru, tak aby nezaplavovala okolní pole.

Zde se přímo naskýtá použití metody Deep Soil Mixing. Sypaná hráz z nepropustných materiálů byla utěsněna stěnou z lamel šířky 600 mm, vytvářených trojitou kolonou vrtného-míchacího nářadí. Jako pojivo bylo použito TIWO Mixed in Place (MIP). Délka stěny byla 463 m a hloubka 7 m pod úroveň pracovní plošiny.



Obr. 4.3.1 Nově vybudovaná hráz



Obr. 4.3.2 Začátek budování
stěny



5 ZÁVĚR

Ukazuje se, jak úzce souvisí technologie speciálního zakládání s protipovodňovou ochranou a s tím spojenou ochrannou životního prostředí. Zmíněné metody speciálního zakládání staveb a hloubkové zlepšování zemin mohou do budoucna přispět k zefektivnění protipovodňových a sanačních staveb a snížení jejich ekonomické zátěže.

Na příkladech jsem ilustroval, že v rámci budování podzemních těsnících stěn a protipovodňové ochrany mohou být zvoleny rozdílné metody speciálního zakládání. Obvykle jen podrobná analýza a kombinace metod představuje to nejlepší, jak se přizpůsobit složitým geologickým nebo prostorovým podmínkám. V práci nebyly představeny všechny existující metody, ale spíše metody dostupné v České republice.

V České republice bude třeba podpořit ekonomicky nenáročné moderní metody zhotovování těsnících podzemních clon. K tomu může přispět rozvoj technické vybavenosti firem speciálního zakládání, výzkum tohoto odvětví a v neposlední řadě také rozšiřující se znalosti projektantů a investorů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VERFEL, J. *Injektování hornin a výstavba podzemních stěn*. 2. přeprac. Brno: MÚS Bradlo, Bratislava, 1992. 511 s. ISBN 80-7127-043-1.
 - [2] MASOPUST, J. *Speciální zakládání staveb*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., Brno, 2006. 150 s. ISBN 80-7204-489-3.
 - [3] Deep Excavation LLC. *Slurry Walls - Diaphragm Walls for Deep Excavations and Earth Retention - Deep Excavation* [online]. © 2003, poslední aktualizace 18. 5. 2013 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.deepexcavation.com/en/diaphragm-walls-slurry-walls>
 - [4] JAGA GROUP, S. R. O., *Technologie protipovodňových podzemních těsnicích clon* | asb-portal.cz [online]. 2002, poslední aktualizace 27.10.2009 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/geotechnika/technologie-protipovodnovych-podzemnich-tesnicich-clon-1528.html>
 - [5] TURČEK, P.-HULLA, J.-BARTÁK, J.-VANÍČEK, I.-MASOPUST, J.-ROZSYPAL, A. *Zakládání staveb*. Bratislava: JAGA GROUP, S. R. O., 2005. 314 s. ISBN 80-8076-023-3.
 - [6] TOPGEO.CZ. *Výplachové hospodářství* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.topgeo.cz/img/catalog/gallery/s-007/detail/vyplachove-hospodarstvi.jpg>
 - [7] CWBAE.COM. *Stránka bez názvu* [online]. 2011, poslední aktualizace 6.11.2011 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.cwbaecom.com/t1/tc/photo-JUN11.htm>
 - [8] HBM.HU. *Technológiák ::HBM* [online]. 2013, [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.hbm.hu/technologia/technologia.php?mid=14bdc36c151c93>
 - [9] WIKIMEDIA COMMONS. *File:Trench cutter casagrande.jpg* [online]. 2010, poslední aktualizace 20.4.2013, [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trench_cutter_casagrande.jpg
 - [10] SOLETANCHE ČESKÁ REPUBLIKA S. R. O. *Podzemní stěny - speciální základy pro Vaši stavbu: podzemní stěny, trysková injektáž, mikropiloty, kotvy, záporové pažení, piloty, zlepšování základových zemin, ekologické sanace znečištění a další* [online]. 2013, [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://www.soletanche.cz/technologie_podzemni_steny/
-

- [11] DIAPHRAGM. *Diaphragm Wall* [online]. 2011, poslední aktualizace 23. 4. 2011, [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.p3planningengineer.com/productivity/diaphragm%20wall/diaphragm%20wall.htm>
 - [12] SELL: PVC.COM. *Sell : PVC Waterstop* [online]. 1997, [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.ec21.com/offer_detail/Sell_PVC_Waterstop--8643334.html
 - [13] ADATION SOLUTIONS, S. R. O. *Protipovodňová opatření Zbraslav - SMP CZ* [online]. 2011, [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.smp.cz/sluzba-93>
 - [14] PILOT V.O.S. *Praha – bytový dům U Žižkovské radnice | TOPGEO BRNO, spol. s r.o.* [online]. 2013, [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.topgeo.cz/cs/katalog/reference-prehled/polozka-praha-bytovy-dum-u-zizkovske-radnice-r5-2008-034>
 - [15] BACHY SOLETANCHE. *Bachy Soletanche cleaning up the River Ribble with deep Diaphragm wall shafts / The Digital Newsroom* [online]. 2013, [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.digitalnewsroom.co.uk/bachy-soletanche/preston-shafts/>
 - [16] HEIDELBERG. *Injektionen - HeidelbergCement in Deutschland* [online]. 2013, [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.heidelbergcement.com/de/de/country/zement/lieferprogramm/geotecnik/anwendungen/Injektionen.htm>
 - [17] BACHY SOLETANCHE. *Storm water tank installation is walk in the park for Bachy Soletanche / The Digital Newsroom* [online]. 2013, [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.digitalnewsroom.co.uk/bachy-soletanche/storm-water-tank/>
 - [18] GEOTEKNIK. *Muhendislik Ofisi- Geoteknik, Mimarlık, Mühendislik, İş Sağlığı, İş Güvenliği, Mühendislik Ofisi, Çevre Mühendisliği, Jeoloji ve Jeofizik Mühendisliği, Harita Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Zemin Islahı, Danışmanlık, Sondaj ve Zemin Etüdü* [online]. 2013, [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.muhendislikofisi.com/zemin-islahi.html>
 - [19] COMPILE. *Compile* [online]. 2013, [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://compile.com.au/Soil-Mix-Wall.php>
 - [20] DEEP SOIL MIXING. *Deep Soil Mixing* [online]. 2013, [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.deepsoilmixinguk.com/#!services>
 - [21] JAGA GROUP, S. R. O. *Použití metody Deep Soil Mixing v České republice | asb-portal.cz* [online]. 2013, [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/geotechnika/pouziti-metody-deep-soil-mixing-v-ceske-republice-969.html>
-

- [22] DEEPBUE MEDIA. *Piling* |David Smith Contractors [online]. 2012, [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://www.davidsmithcontractors.com/index.php/plant-hire/piling>
- [23] WIKIMEDIA COMMONS. *Larsenovy štětovnice, spoj.JPG* [online]. 2010, poslední aktualizace 3.5.2013, [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Larsenovy_%C5%A1t%C4%9Btovnic_e,_spoj.JPG
- [24] TIWO. *Ihr Partner im Spezialtiefbau und Umweltschutz* [online]. 2013, [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: http://www.tiwo.at/cz/front_content.php?idart=181
- [25] REBEX. *Technologie* [online]. 2013, [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.kellergrundbau.cz/technologie.aspx>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.3.1.1	Čistička suspenze [6]
Obr. 2.3.1.2	Bednění vodících zídek [7]
Obr. 2.3.1.3	Drapák [8]
Obr. 2.3.1.4	Hydrofréza [9]
Obr. 2.3.1.5	Lamely jednozáběrové [10]
Obr. 2.3.1.6	Lamely trojzáběrové [10]
Obr. 2.3.1.7	Koutová pažnice s water-stopem [11]
Obr. 2.3.1.8	Průřezy water-stopů [12]
Obr. 2.3.1.9	Osazování prefabrikovaných panelů [13]
Obr. 2.3.1.10	Použití systému s ocelovým trnem [10]
Obr. 2.3.2.1	Speciální zámky fólie z HDPE [10]
Obr. 2.3.3.1	Vodící šablony [14]
Obr. 2.3.3.2	Schéma převrtávaných pilot
Obr. 2.3.3.3	Výsledná převrtávaná pilotová stěna [15]
Obr. 2.3.4.1	Monitor s vrtnou hlavicí [16]
Obr. 2.3.4.2	Vrtná souprava [17]
Obr. 2.3.4.3	Schéma postupu TI [18]
Obr. 2.3.5.1	Míchací nářadí [19]
Obr. 2.3.5.2	Kruhové pilíře [20]
Obr. 2.3.5.3	Budování lamel [20]
Obr. 2.3.6.1	Trencher [10]
Obr. 2.3.7.1	CSM zařízení [10]
Obr. 2.3.8.1	Schéma budování TTPS [10]
Obr. 2.3.8.2	Realizace TTPS [10]
Obr. 2.3.9.1	Realizace štětovicových stěn [22]
Obr. 3.2.1	Nárůst pevnosti [25]
Obr. 3.2.2	Tvary těles TI
Obr. 4.1.1	Ski Centrum Kohútka
Obr. 4.1.2	Průsak vody u výpusti

Obr. 4.1.3	Schéma rozmístění lamel TI
Obr. 4.2.1	Staré betonové základy
Obr. 4.2.2	Technické zázemí
Obr. 4.2.3	Půdorys
Obr. 4.2.4	Míchací mechanizace
Obr. 4.2.5	Vybudovaná stěna
Obr. 4.3.1	Nově vybudovaná hráz
Obr. 4.3.2.	Začátek budování
Obr. 4.3.3	Příčný řez

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1.1	Směsi TIWODUR [24]
Tab. 3.2.1	Závislost pevnosti v tlaku na velikosti zrn [25]
Tab. 3.2.2	Injektážní pojiva TIWO [24]
Tab. 3.3.1	Injektážní pojivo TIWO MIP [24]