

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

ROZBOR METOD PRO TĚSNĚNÍ NÁSYPŮ HRÁZÍ A JEJICH PODLOŽÍ POMOCÍ PODZEMNÍCH STĚN

The analysis of the methods for the sealing of embankments and their sub – base using cut - off walls

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Kachtík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Michal Kachtík

Název Rozbor metod pro těsnění násypů hrází a jejich podloží pomocí podzemních stěn

Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2013

Datum odevzdání bakalářské práce 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu



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

Podklady a literatura

The International Levee Handbook, CIRIA, C731, London, 2013.

VERFEL, J. 1992. Injektování hornin a výstavba podzemních stěn. MUS BRADLO Bratislava. ISBN 87-127-043.

VERFEL, J., TKANÝ, Z. 1974. Těsnění základových půd. SNTL, Praha. 318 str. Zakládání staveb. Propagační materiály. (<http://www.zakladani.cz>)

BÓDI, J., GÁVEL, A., SZABÓ, S. 2002. Aplikace polyuretanových injekčních technologií při ochraně proti povodním. In: Sborník příspěvků 7. mezinárodního semináře. TU Ostrava.

BRADOVKA, J. 2003. Rekonstrukce a dotěsnění hráze vodního kanálu Nová řeka v CHKO Třeboň. Zakládání staveb, 2003/2.

CEPL, J. 1999. Zkouška modifikovaných postupů tryskové injektáže. Zakládání staveb.

ČSN 72 1014 Laboratorní stanovení meze tekutosti zemin

ČSN EN 12063 Provádění speciálních geotechnických prací – Štětové stěny

ČSN EN 12715 Provádění speciálních geotechnických prací – Injektáže

ČSN EN 12716 Provádění speciálních geotechnických prací – Trysková injektáž

ČSN EN 1538 Provádění speciálních geotechnických prací – Podzemní stěny

EM 1110-1-1804. Geotechnical Investigations. USACE, Engineering and Design. 1 January 2001.

EM 1110-2-3506. Grouting Technology. USACE, Engineering and Design. 20 January 1984.

ER 1110-1-1807. Procedures for Drilling in Earth Embankments. USACE, Engineering and Design. 1 March 2006.

FIEDLER, K. 1968. Nové metody injekčních prací. In: Sborník příspěvků. I.A.E.G.-IGHP n.p. Žilina, s.118–127.

HOBST, L., HOBST, O., KLABLENA, P., VERFEL, J. 1984. Technologie sypaných hrází. SNTL, Praha. 360 str.

HULLA, J., TURČEK, J. 1998. Zakladanie stavieb. Jaga group. Bratislava

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Předmětem práce bude rešeršní zpracování a rozbor metod pro těsnění násypů hrází a jejich podloží pomocí podzemních stěn. Práce bude obsahovat obecnou specifikaci použitelných metod, nároky na provádění (stroje, příprava staveniště, energie, způsoby provádění, zásobování), analýzu vhodnosti a použitelnosti jednotlivých metod, příklady provedených realizací (ČR, svět) a vzorová řešení na konkrétních lokalitách (příklad realizace malého rozsahu a velkého rozsahu).

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují)



prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ZADÁNÍ VŠKP

Zadáním práce je rešeršní zpracování a rozbor metod pro těsnění násypů hrází a jejich podloží pomocí podzemních stěn. Práce bude obsahovat obecnou specifikaci použitelných metod, nároky na provádění (stroje, příprava stanoviště, způsoby provádění, zásobování), analýzu vhodnosti a použitelnosti jednotlivých metod, příklady provedených realizací (ČR, svět).

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Tématem této práce je přehled o možných technologiích provádění těsnících podzemních stěn ve vodním stavitelství. Dále se zabývá analýzou materiálů použitých k jejich konstrukci, jejich funkcí, a také jejich konstrukčnímu uspořádání. Shrnutí a závěrečné hodnocení jednotlivých technologií je uvedeno na konci práce.

Klíčová slova

podzemní těsnicí stěny, vodní stavitelství, technologie, suspenze, výstavba

Abstract

The topic of the thesis is a survey of possible diaphragm walls technologies applied in water management. The analysis of materials used for their construction, their function and structural arrangement are studied as well. The summary and final evaluation of particular technologies is mentioned in the end of the thesis.

Keywords

diaphragm walls, hydraulic engineering, technologies, suspension, construction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

KACHTÍK, Michal. *Rozbor metod pro těsnění násypů hrází a jejich podloží pomocí podzemních stěn*. Brno, 2014. 64 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Tímto srdečně děkuji vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Jaromíru Říhovi, CSc. za cenné rady a připomínky při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Vítu Rainerovi a Ing. Petrovi Maláči za získání potřebných informací, podkladů a znalostí z oboru.

OBSAH

1	ÚVOD.....	11
1.1	OBEZNĚ O TĚSNIČÍCH PODZEMNÍCH STĚNÁCH	11
1.2	PŘEDMĚT A CÍL PRÁCE	12
2	ROZDĚLENÍ PODZEMNÍCH STĚN	13
2.1	DLE ÚČELU	13
2.1.1	Těsnicí podzemní stěny	14
2.1.2	Pažicí podzemní stěny	16
2.1.3	Konstrukční podzemní stěny.....	18
2.2	DLE TECHNOLOGIE POUŽITÍ	19
2.2.1	Stěny hloubené milánské	19
2.2.2	Stěny hloubené prefabrikované.....	21
2.2.3	Beraněné ocelové stěny	23
2.2.4	Pilotové stěny.....	26
2.2.5	Trysková injektáž.....	29
2.2.6	Hloubkové míchání zeminy	34
2.2.7	Vibrační metody	37
2.3	DLE KONSTRUKCE	38
2.3.1	Betonové a železobetonové podzemní stěny	38
2.3.2	Ocelové podzemní stěny	39
2.3.3	Podzemní stěny z jílocementového betonu	39
2.3.4	Jílové a jílocementové podzemní stěny	39
2.3.5	Jiné druhy výplně.....	40
3	POUŽITÍ PODZEMNÍCH STĚN VE VODNÍM STAVITELSTVÍ	41
3.1	DLE GEOLOGIE	42
3.1.1	Těsnicí podzemní stěny a clony ve zvodněné zemině	42
3.1.2	Těsnicí podzemní stěny a clony v suché zemině	43
3.2	DLE PŘÍPRAVY ORGANIZACE VÝSTAVBY	48
3.2.1	Doprava techniky a materiálu, příprava staveniště	49
3.2.2	Nárok na prostor při realizaci podzemních stěn.....	50
3.2.3	Vliv stavby na okolní prostředí	54
3.3	ČLENĚNÍ DLE SPOLEHLIVOSTI	55
3.3.1	Dodržení geometrie.....	55
3.3.2	Nepropustnost a agresivita prostředí.....	56
3.4	DLE DOSAŽITELNÉ HLOUBKY	57
4	ZÁVĚR.....	58
5	POUŽITÁ LITERATURA.....	59
	SEZNAM TABULEK	61

SEZNAM OBRÁZKŮ	62
SEZNAM PŘÍLOH	64

1 ÚVOD

1.1 OBECNĚ O TĚSNICÍCH PODZEMNÍCH STĚNÁCH

U vodních staveb je třeba zajistit těsnost a stabilitu jejich podloží. Za tímto účelem je možné vybudovat podzemní stěny.

Podzemní těsnicí stěny mají široké spektrum využití. Mezi nejčastější patří zamezení průsaku pod vodním dílem, přítoku vody do stavební jámy (např. při zakládání hydrocentrál, jezových těles a čerpacích stanic), infiltraci vody z řeky při vyšších hladinách, ale také utěsnění skládek, letišť, chemických továren s nebezpečím úniku znečištěné podzemní vody. Je nutné zmínit, že tyto stěny se budují především tam, kde by byl jiný způsob technicky nákladný a velmi obtížný.

Podzemní stěny se využívají nejen k těsnicím účelům, ale budují se také za účelem pažicím, konstrukčním a mnohdy mezi sebou vytvářejí kombinace.

Existuje mnoho metod pro budování podzemních stěn. Všechny typy stěn se budují z povrchu terénu a jsou buďto nahrazeny jiným materiálem, nebo promíchány s původní zeminou. Za účelem těsnicím lze použít podzemní stěny hloubené monolitické a prefabrikované, beraněné ocelové, převrtávané pilotové, stěny z prvků tryskové injektáže, stěny vytvořené promícháním těsnicího materiálu s původní zeminou a stěny vzniklé přidáváním a vtlačováním vhodného materiálu do stávající zeminy.

První podzemní stěny byly konstruovány v roce 1950 ve Spojených státech v Kalifornii, kde šlo o ochranu průmyslové oblasti zaplavované vodou. Autorem těchto prací byl A. D. Rhodes. Realizací podzemních stěn, zprvu těsnicích, se zabývala řada autorů. Roku 1949 byl navržen francouzskou firmou Solétanche způsob uzavření injekčního pole na přehradě Serre – Poncon stěnou z přesahujících se pilot, hloubených za pomoci jílového výplachu.

Výstavbu stěn doprovází mnoho problémů, které je zapotřebí před zahájením stavby řešit. Jsou to problémy spjaté s geologií, hydraulikou, hydrologií, ekonomikou a použitím technologie, která může mít negativní vliv na okolní prostředí.

1.2 PŘEDMĚT A CÍL PRÁCE

Předmětem práce je rešeršní zpracování a rozbor metod pro těsnění násypů hrází a jejich podloží pomocí podzemních stěn. V práci jsou obecně specifikované jednotlivé metody provádění, rozdělení podzemních stěn dle funkce, konstrukce, přehled metod z hlediska geologie, organizace výstavby, spolehlivosti a dosažitelné hloubky jednotlivých stěn. Je zde popsána analýza vhodnosti a použitelnosti jednotlivých metod, zmínky provedených realizací jak u nás, tak ve světě.

Cílem práce bylo poskytnout přehledný rozbor používaných metod na výstavbu podzemních stěn, jejich materiálu, a také přehled faktorů, které mají vliv na realizaci těchto stěn. Problém byl řešen po stránce vhodnosti použití jednotlivých metod v určitých specifických podmínkách. Práce využívá obecné poznatky z literatury, data použitá ze skutečných realizací děl, a také částečně data získaná od zasvěcených pracovníků v oboru speciálního zakládání staveb a vodního stavitelství.

2 ROZDĚLENÍ PODZEMNÍCH STĚN

Podzemní stěny lze dělit podle různých kritérií. Mezi tyto kritéria patří např. dle technologie použití, účelu, konstrukce apod.

2.1 DLE ÚČELU

První podzemní stěny byly navrženy pro těsnicí účely. Velmi rychle se však osvědčily i jako prvky sloužící k jiným účelům. Rozlišujeme zde tři základní kategorie:

1. **těsnicí,**
2. **pažicí,**
3. **konstrukční.**

Není pravidlem, aby podzemní stěny plnily pouze jeden účel. Naopak velmi časté je využití těchto stěn pro více účelů, které mezi sebou tvoří různé kombinace. Např. podzemní stěny navrhované pouze za účelem pažicím, tedy jako stěny dočasné, se v dnešní době téměř nepoužívají, neboť jejich výplň tvořená železobetonem je schopna dlouhodobě odolávat vnějšímu zatížení. Proto se v současné době využívá železobetonových podzemních stěn konstrukčních, které plní dvojí účel:

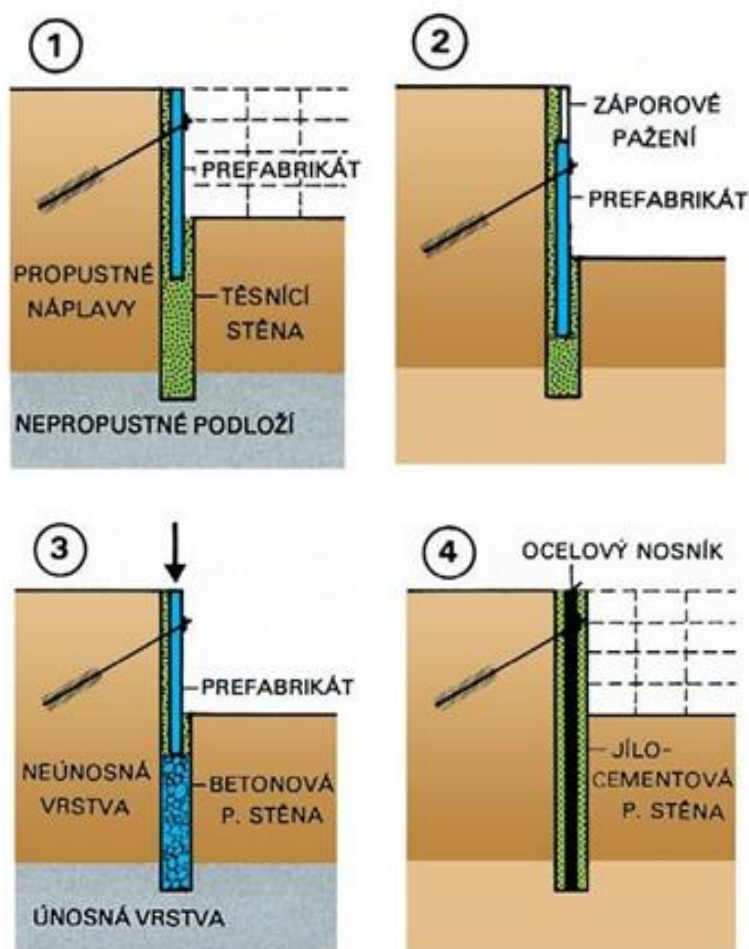
1. paží svislé stěny v průběhu výstavby stavební jámy nebo rýhy,
2. vytváří zároveň definitivní obvodové stěny suterénu, a to obvykle bez jakékoli významné úpravy dané např. přibetonováním.

Také při budování těsnicích podzemních stěn z betonu (železobetonu) se využívají současně jako stěny konstrukčních, např. pro budování obvodových zdí podzemních garáží apod. [Masopust a kol. 2011]. Originálním způsobem bylo provedeno založení pravobřežního pilíře přes Dunaj v Bratislavě. Větší část hmoty spočívá na šikmém pilonu, který stojí na mohutné desce nesené 56 stěnovými elementy (pilotami) o rozměru 0,6 m x 3,0 m, budovány do hloubky 33 m. Tyto elementy jsou rozmístěny ve dvou na sebe kolmých směrech, při čemž je dosaženo úplné prostorové tuhosti. Piloty po obvodu jsou v horní části doplněny v průběžnou podzemní stěnu s účelem těsnicím, pažicím i konstrukčním [Verfel 1992].

Ukázka možných kombinací podzemních stěn (obr. 2.1):

1. Prefabrikovaná stěna kombinovaná ve spodní části s těsnicí stěnou vetknutou až do nepropustného podloží. Dno výkopu lze při tomto řešení dobře odvodnit.
2. Prefabrikovaná stěna kombinovaná s dočasnou záporovou stěnou v horní části. Záporny jsou vetknuty do koruny panelů.
3. Prefabrikovaná stěna vetknutá patou do stěny z monolitického betonu, takže je schopna přenášet trvale vertikální zatížení z horní stavby.

4. Vyztužená jílocementová podzemní stěna kombinuje výplň stěny jílocementovou směsí s vyztužením ocelových nosných prvků (I - profily).



Obr. 2.1 Ukázka možných kombinací podzemních stěn [Soletanche 2014]

2.1.1 Těsnicí podzemní stěny

Těsnicí podzemní stěny tvoří souvislý těsnicí prvek, který zabraňuje průsaku vody pod vodním dílem, k infiltraci vody do přilehlého území při zvýšených hladinách a přítoku vody do stavební jámy hloubené ve štěrkopískových náplavech. Budují se do písku a štěrku, v jílu je vodotěsnost podloží dostatečná a clon není zapotřebí. Uplatnění těsnicích podzemních stěn je v dnešní době velmi široké (blíže v kapitole 3). Mezi dnes již běžné použití patří výstavba pro zabránění úniku znečištěné podzemní vody z území chemických továren, pohonných hmot, letišť apod.

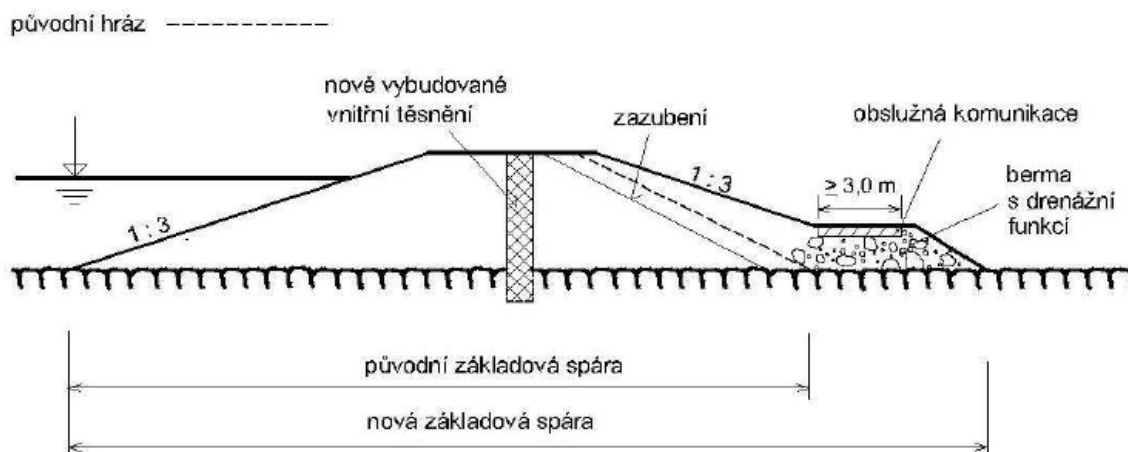
Tyto stěny byly u nás realizovány na několika přehradách. Těsnicí prvek se jako podzemní těsnicí stěna pod přehradním tělesem buduje tam, kde je skalní podklad zakryt polohou propustných štěrkopískových náplavů o mocnosti tak velké, že by se náplav musel nejprve

odstranit, než by se dalo vybudovat klasické navázání těsnícího prvku přehradního tělesa na skalní podklad, což by bylo obtížnější a nákladnější než vybudování této stěny [Verfel 1992].

Jedním z příkladů je přehrada Nechranice vybudována na řece Ohři v letech 1961 až 1968. Bylo nutno přetnout a utěsnit geologicky rozdílné vrstvy, mezi které patřily šterky, písky, uhelná sloj, a to do hloubky až 32 m. Jiný způsob utěsnění by byl z hlediska různorodosti geologických vrstev nejen velmi obtížný, ale i časově náročný [Verfel, Tkaný 1974].

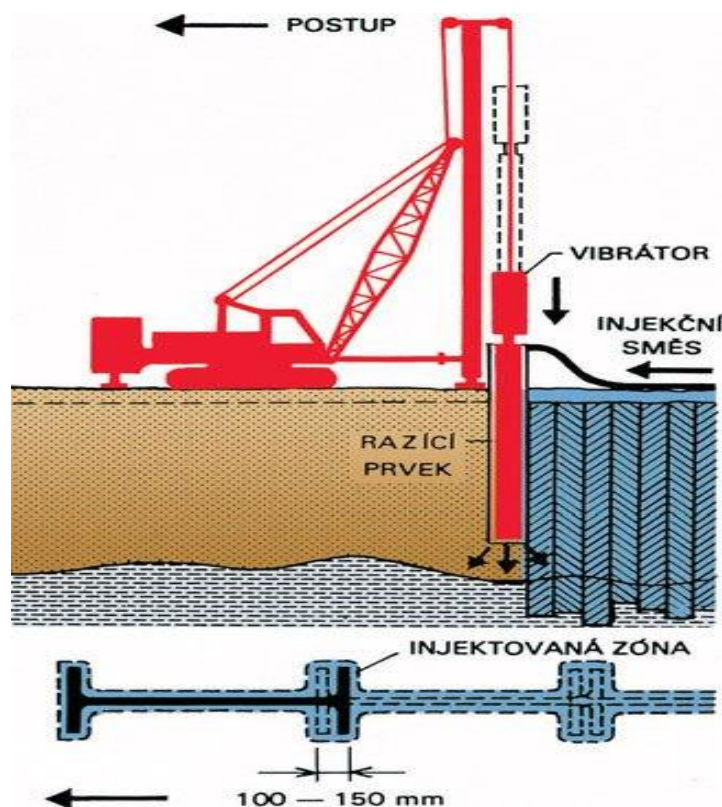
Území u velkých řek jsou často chráněna protipovodňovými hrázemi. Pokud dojde k dlouhotrvajícím povodním, nastává nebezpečí vyplavování podloží hrází v takovém rozsahu, že může dojít k prolomení hráze. Za tímto účelem je potřeba prodloužit cesty vody pod protipovodňovou hrází podzemní stěnou. Toto uplatnění bylo využito na dunajských hrázích. Jejich pomocí byla opravena i protržená hráz u Čičova.

Postup provádění, technologii výroby a konstrukce těsnících stěn bude probírán v následujících kapitolách počínaje kapitolou 2.2. Pokud se prvek buduje těsnicí, liší se od konstrukčních a pažicích stěn jinou volbou výplně. Nejčastější těsnicí výplň tvoří jílocementová směs a jílocementový beton. Pokud je agresivita prostředí vysoká, je možné zvýšit efekt stěny pomocí plastové fólie vložené do rýhy



Obr. 2.2 Vybudování dodatečného svislého těsnícího prvku [Říha 2010].

V mnoha případech těsnění se můžeme setkat s tenkými těsnícími stěnami, které se pohybují v tloušťkách cca 0,10 m až 0,15 m. Zhotovují se pomocí ocelových profilů tvaru I a H, které se zarážejí do země pomocí vibrační techniky. Na hrotu je profil vybaven tryskami, které vhání do rozrušené zeminy při zpětném vytahování injekční směs, kterou bývá obvykle jílocementová suspenze. Jednotlivé prvky se překrývají s předchozími, a tak vzniká postupně souvislá stěna. Hloubka stěny nepřesahuje 20 m. Tato metoda je vhodná jen do zemin, kde lze využít vibrační technologie (bližší rozbor v kap. 3.1).



Obr. 2.3 Zhotovování tenké těsnicí stěny [Soletanche 2014]

2.1.2 Pažicí podzemní stěny

Pažicí stěny se budují tam, kde není možno zakládat ve svahované jámě, když je stavební jáma příliš hluboká, nebo v zastavěném území. Tam, kde plní stěna účel jak pažicí, tak těsnicí (konstrukční), je vhodné stavět ji jako podzemní stěnu.

Stěny jsou z vyztuženého betonu a jsou často kotveny jednou nebo několika řadami kotev. Stavební jámy pažené podzemními stěnami často přesahují hloubku 20 m. Oblast použití pažicích stěn je široká. Výstavbu metra, stanic, vestibulů si dnes neumíme bez pažicích stěn představit. Pažicemi stěnami také bývají stavěny startovací komory pro razicí štít, u nichž se v průchodu štítu vynechává výztuž.

Myšlenkou realizace pažicích nebo konstrukčních (kap. 2.1.3) 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).

První pažicí stěna v ČSSR byla realizována při zakládání domu SNDK v Praze roku 1964. Dalším příkladem výstavby pažicí stěny je stavební jáma dostavby Národního divadla, kde byla uskutečněna řada úprav, jako např. u Národní třídy bylo nutno podzemní stěnu zahлубit 7,5 metru do skalního podkladu tvořeno skaleckými vrstvami. Kvůli tomu, že by bylo

hloubení velice náročné, upravit se projekt tak, že stěna končila na kótě 178,00 m a byla kotvena ve dvou řadách. Protože pod podzemní stěnou bylo třeba stavební jámu vyhloubit 2,5 m v břidlicích, zajišťovala se skalní stěna proti možnému vyjetí jednotlivých bloků vyztužením ocelí průměru 32 mm, vkládané do cementové zálivky do vrtů průměru 46 mm. Vrtů byly předtím injektovány jílocementovou směsí [Verfel 1992].

Pažicí stěny mají tedy velký rozsah využití. Jedním z příkladů z nedávné doby je budování malé vodní elektrárny Čelákovice a rybího přechodu na řece Labi. Stavební jáma pro MVE byla zajištěna několika technologiemi speciálního zakládání staveb. Objekty nátoky a výtoku byly paženy dočasnými a trvalými štětovými stěnami, které byly částečně kotvené (břehová část) a částečně zajištěny táhly (od řečiště). V oblasti budoucího objektu elektrárny mezi jezovým pilířem a břehem byly pro zapažení použity převrtávané pilotové stěny, rozepřené ve dvou úrovních ocelovými rozpěrami. Na práce speciálního zakládání zde byly kladeny vysoké nároky, mj. pro požadavek dodržení prakticky nulových pohybů pravého jezového pilíře [Zakládání staveb 2014].

Pokud jsou vhodné geologické poměry, může být pažicí stěna budována jako stěna pilotová (obr. 2.5). Průměr takových pilot se obvykle pohybuje v rozmezí 0,6 m – 1,2 m. Pokud je pilotová stěna navržena jako trvalá, bývá často v hlavách pilot opatřena železobetonovým věncem i pokud není kotvená. V líci stěny je z estetických důvodů lepší navrhovat místo stříkaného betonu železobetonovou přibetonávku betonovanou do bednění a s povrchovou úpravou [Trysková injektáž 2014].



**Obr. 2.4 Pažení nátoky a výtoku MVE Čelákovice pomocí štětových stěn
[Zakládání staveb 2014]**



Obr. 2.5 Kotvená pilotová stěna po odkopání [Technologie.fsv.cvut 2014]

2.1.3 Konstrukční podzemní stěny

Zásadním účelem konstrukčních podzemních stěn je, že přenášejí zatížení horní stavby do podloží. Používají se pro různé druhy zakládání, mezi které patří založení mostů, obchodních domů, zakládání vysokých komínů, zvláště je-li hladina podzemní vody pod povrchem území a základ je na málo únosných a stlačitelných zeminách. Klasickým způsobem pro tyto stavby bylo zakládání na mohutné a dostatečně hluboko založené betonové desce. Velmi často plní nejprve účel pažicí a poté účel konstrukční.

Založení na pilotách je výhodnější z toho důvodu, protože umožňuje patou prvku dosáhnout únosnější vrstvy. Železobetonové stěny konstrukční můžeme dle charakteru výplně rozdělit na stěny monolitické a stěny prefabrikované.



Obr. 2. 6 Konstrukční podzemní stěny pažicí stavební jámu, obchodní centrum Myslbek, Praha
[Zakládání staveb 2014]

2.2 DLE TECHNOLOGIE POUŽITÍ

Pro budování podzemních těsnicích stěn bylo za téměř 60 let vyvinuto mnoho druhů technologií. Následující vyjmenované způsoby budování nejsou uvedeny všechny, zahrnují pouze ty na našem území nejznámější:

- stěny hloubené milánské,
- stěny hloubené prefabrikované,
- beraněné ocelové stěny,
- pilotové,
- trysková injektáž,
- hloubkové míchání zeminy,
- vibrační metody.

2.2.1 Stěny hloubené milánské

Podzemní stěny milánské (monolitické) vznikají vyplněním vyhloubené rýhy příslušným materiálem (kap. 2.3). Mezi první budované podzemní stěny patřily stěny z navzájem se dotýkajících nebo přesahujících pilot. Nevýhodou těchto stěn však byla četnost spár a staticky nevýhodně působící výztuž vkládaná do pilot. Tyto nevýhody vedly k vytvoření stěny skládající se z jednotlivých lamel o obvyklé délce 4 až 6 metrů. První patenty byly provedeny v Itálii, roku 1952 stavitel Veder a roku 1953 Marconi, který využíval k hloubení drapáku a nepřímého výplachu. Ve větším měřítku se podzemní stěny hloubené po lamelách objevily při výstavbě metra v Miláně a z toho důvodu jsou často nazývány stěnami milánskými. U nás, tedy v bývalé ČSSR byla první zkušební rýha vyhloubena v navrhovaném přehradním profilu u Teplic nad Bečvou v roce 1962, druhá mezi lety 1963 až 1965 na přehradě u Nechranic. Obě podzemní rýhy jsou těsnící [Verfel, Tkaný 1974].

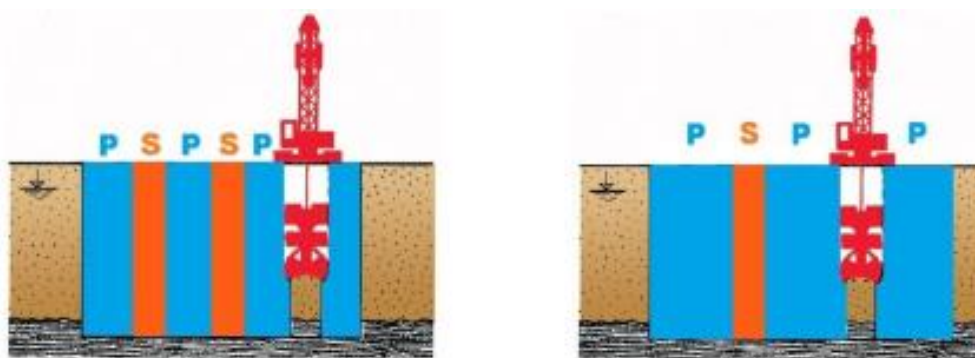
Na počátku výstavby je třeba vybudovat zpevněnou pracovní plochu a vodicí zídky, které určují jejich přesnou polohu, výškovou úroveň, poskytují oporu pro výrobní operace a zásobní prostor pro pažící suspenzi při zahájení těžby [Říha 2010]. Vodicí zídky se osazují po obou stranách výkopu, jsou betonové a obvykle slabě vyztuženy svařovanými sítěmi. Výška zídek se pohybuje kolem 1 m – 1,5 m a jejich vnitřní rozměr je o 50 mm – 100 mm větší, než je šířka hloubicího stroje.

Obvyklou směsí pro pažení výkopu je jílová a bentonitová suspenze. Výplach je suspenzí vodnatých křemičitanů, k nimž patří především jílový minerál montmorillonit, který je součástí bentonitových jílů. Kvalita výplachu se odráží především na krystalické struktuře jílové suroviny, velikosti jílových zrn a na charakteru vyměnitelných iontů.

Jak u firmy Zakládání staveb, TOPGEO, či Soletanche se rýhy hloubí především hydraulickým nebo lanovým drapákem (obr. 3.1). Drapák na vodicí tyči ovládaný hydraulicky

nebo lanem byl patentován v roce 1956 firmou Solétanche. Někdy kolem roku 1970 začaly přední firmy (Solétanche, Bauer) zabývajících se touto problematikou vyvíjet frézy, které by umožnily hloubení rýh pro podzemní stěnu i ve skalních horninách. Hloubky stěn prováděny drapákem zpravidla nejsou větší než 30 m, ale s použitím hydrofrézy (obr. 3.1) je možno hloubit podstatně hlouběji, tedy do hloubky i přes 100 m. Hydrofrézu je možné použít až po předvýkopu, který má hloubku okolo 3 metrů. Tudíž by bylo nasazení tohoto stroje do malých hloubek značně neekonomické a volil by se jiný typ zařízení.

Tloušťky bývají 400 mm – 800 mm, případně 1000 mm – 1200 mm. Hloubení probíhá postupně po lamelách, které mívají šířku okolo 7 m. Běžným pracovním postupem je střídavé provádění primárních a sekundárních lamel mezi nimi. Pro zajištění dobrého styku lamel se obvykle používají na krajích primárních lamel při betonáži dočasné koutové pažnice.



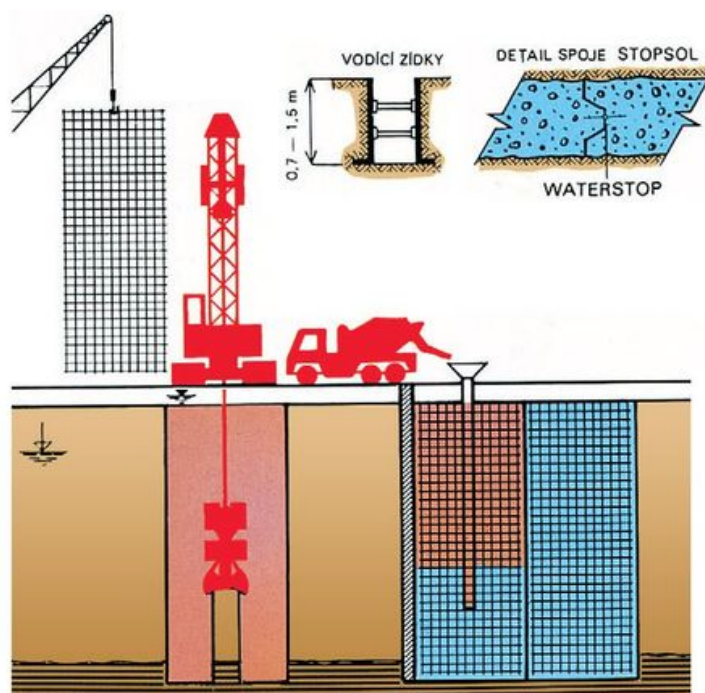
Obr. 2.7 Hloubení lamel jednozáběrových (vlevo) a trojzáběrových (vpravo) [Soletanche 2014]

Aby nedocházelo k průsakům mezi spáry lamel, je třeba tento nedostatek zajistit těsnícími pásy, které jsou navlečeny do ocelových pažnic tvořících bednění pracovní spáry, tzv. waterstop (obr. 2.9). Tyto pásy se osazují spolu s armokošem (pokud se provádí stěna armovaná) po vyhloubení rýhy.

Poté může započít betonáž, která se provádí pomocí betonářských rour od spodu směrem k povrchu terénu. Její konec musí zůstat ponořený v betonu alespoň 3 m. Je třeba dát si pozor na to, aby betonová (jílocementová atd.) směs byla tekutá pro dokonalé vyplnění rýhy a obalení ocelové výztuže. Dodávaná směs vytlačuje pažící suspenzi, která je odčerpávána, přečištěna a uskladněna pro další možné využití. Betonáž lamely musí proběhnout co nejrychleji a bez přerušení. [Zakládání staveb 2014].

U betonových těsnících stěn je třeba dávat pozor na to, aby vlivem ohybu stěna nepopraskala. Ovšem velký průřezový modul stěny a z toho plynoucí značná únosnost z hlediska ohybu je velkou výhodou. Mezi další výhody patří schopnost strojů vyhloubit rýhy do složitějších typů hornin, do kterých například nelze beranit, možnost provádění kotev i s hlavou pod úrovní podzemní vody a také značná nepropustnost.

Naopak k nevýhodám se přiklání cena, s ohledem na rozměry provádějících strojů je možnost provádění podmíněna dostatkem prostoru pro hloubicí stroje. Další nevýhodou je nerovný povrch po odtěžení, neboť se v podstatě jedná o odlitek rýhy vytvořené v základové půdě. Nejběžnější těžicí stroj, kterým je drapák, je schopen hloubit jen v určitých geologických podmínkách. Mezi tyto podmínky patří hloubení ve zvětralé břidlici, pískovci, jílovci, ne však v žule, vápenci, křemenných horninách. Pro tvrdší typ hornin je nutno použít jiný typ stroje (např. hydrofrézu), i ta má však při hloubení značné obtíže. Hloubicí stroj umožňuje provedení rýhy obvykle v minimální osové vzdálenosti od existujícího domu cca 0,9 m.



Obr. 2.8 Schéma postupu monolitických betonových stěn [Soletanche 2014]

2.2.2 Stěny hloubené prefabrikované

Tyto stěny jsou sestavovány ze železobetonových panelů, vyrobených na celou hloubku stěny. Velmi často se navrhuje pro trvalé konstrukce zárubních zdí i hloubených tunelů.

Vodicí zídky a mechanismy jsou obdobné jako u stěn monolitických, těžba však probíhá kontinuálně, těsně před následným postupným osazováním prefabrikátů do vytěžené rýhy. Hloubení rýhy se provádí buď pod ochranou jílocementové samotuhnoucí suspenze, která prefabrikát v rýze zároveň fixuje, nebo může být použito suspenze bentonitové s podbetonováním paty prefabrikátu [Soletanche 2014].

Těsnost svislých spár záleží na možnostech použití. V bezvodném prostředí mohou být spoje bez těsnění. U vodního prostředí je mezi jednotlivými prefabrikáty zajištěna těsnost gumovou

hadicí vloženou do zámku a zainjektovanou cementovou směsí. Pro dokonalé těsnění styku i ve velmi náročných podmínkách má SOLETANCHE BACHY k dispozici své řešení s waterstopem upnutým injektáží do drážek sousedních panelů.

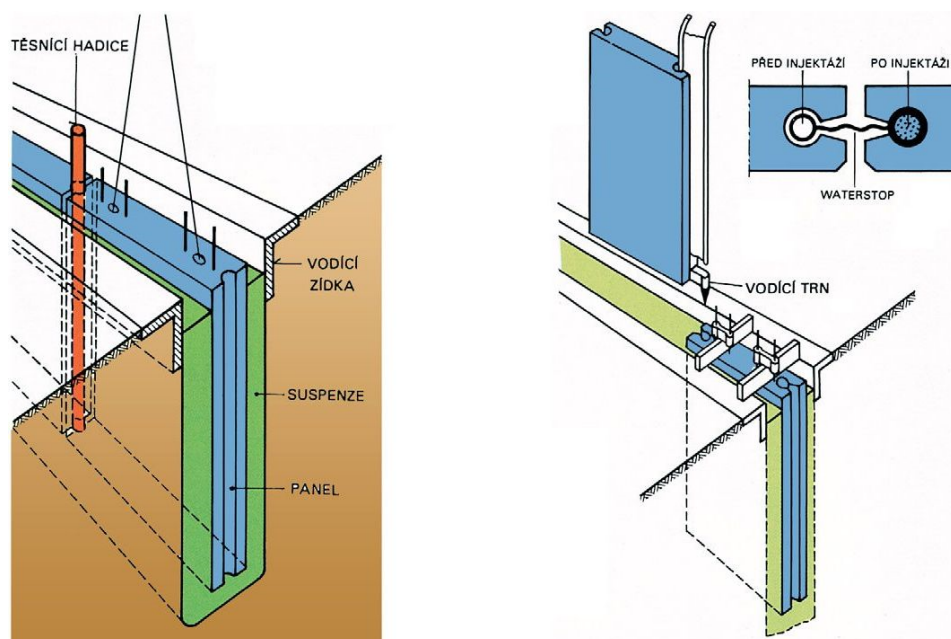
Tloušťka prefabrikátu bývá 25 cm – 40 cm, šířka asi 2 m. Prefabrikáty mohou mít nejrůznější tvar. Pokud je vyprojektována prefabrikovaná podzemní stěna o hloubce větší než 12 m – 14 m, provede se jako stěna kombinovaná, přičemž spodní část rýhy je vybetonována stejně jako monolitická stěna a do čerstvého betonu je ihned osazen prefabrikát, který tvoří odhalenou výšku stěny [Zakládání staveb 2014].

Výhody a nevýhody prefabrikovaných stěn jsou téměř shodné se stěnami milánskými. Přednost před monolitickými podzemními stěnami nachází především tam, kde je potřeba hladkého povrchu jejich líce, tedy tam, kde tvoří pohledovou část. Také při osazování je zajištěna přesná poloha jednotlivých panelů. Vhodné jsou např. při výstavbě nových plavidlových komor. Další předností před monolitickými podzemními stěnami je lepší vodotěsnost v zámcích a není potřeba obávat se přerušení dodávky betonové směsi.

K nevýhodám je možno zařadit výrobní rozměry, které jsou omezeny manipulační hmotností do cca 30 tun. Také ceny jsou relativně vysoké, což souvisí s výrobou a zejména transportem těchto panelů.



Obr. 2.9 Osazování panelu prefabrikované stěny do rýhy a vyhotovená stěna (kotvená)
[Zakládání staveb 2014]



Obr. 2.10 Těsnění prefabrikovaných dílců [Soletanche 2014]

2.2.3 Beraněné ocelové stěny

Ocelové neboli štětové stěny se uplatňují ve velkém rozsahu, např. jako nábrežní zdi a stěny plavebních komor, jako výhony pro ochranu břehů před erozí, jako břehová opevnění, stěny propustků a samozřejmě jako těsnicí stěny používané ve vodním stavitelství.

Nejběžnější štětovnice typu larssen jsou známy pro stavební inženýry po celém světě. Jejich spolehlivost a všestrannost, jako opěrné struktury a těsnicí lamely, byla prokázána 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.

Štětové stěny se razí pomocí beranidel či vibrátorů (obr. 3.2). Použití je omezeno na nepříliš kamenité prostředí, kde by vlivem vibrování a beranění neměly problém proniknout. Lze je razit do země s ojedinělými valouny o maximálním průměru kolem 200 (300) mm. Ocelové stěny jsou využívány především tam, kde je problematika proudění vody spjata se statickou funkcí. Z hlediska ekonomického vzhledem k ceně oceli a současným možnostem se tento způsob ve větším nasazení zdá neefektivní [Drochytka, Jandora, Miča, Hošková 2012].

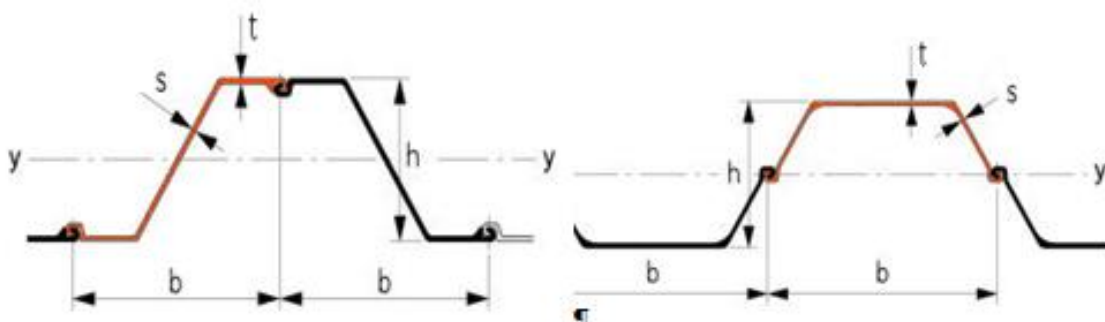
V dnešní době se štětovnice do země vpravují vesměs vibroberaněním, kde se používá výkonných vibrátorů s možností proměnné frekvence vibrování. Ty jsou vhodné především v šterkovité a písčité půdě. Pokud se v místě založení konstrukce nachází hlíny a jíly, používá se hlavně beranění pomocí beranů o značné hmotnosti.

Ocelové štětové stěny se skládají z ocelových štětovnic spojených tzv. zámky. Tloušťka stěn není velká. Pohybuje se okolo 10 mm, a tak se vlivem beranění do vhodného geologického

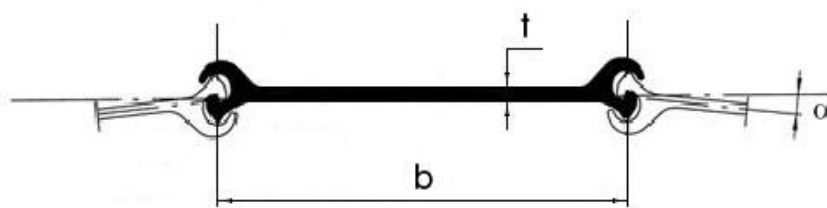
prostředí dobře zařezávají do zeminy. Tímto způsobem lze dosáhnout hloubky kolem 16 m, poté už je zapotřebí štětovnice navyšovat svárem (složitě provádění).

Štětovnice se vyrábějí různých tvarů, mezi které patří např.:

- Tvar **U** – **Larssen**, u nás známé pod jménem larsenky. Jsou opatřeny stejnými zámky jak na levé straně, tak na straně pravé. Sestavují se podélným zasouváním zámku jedné štětovnice do druhé, vždy jedna napravo od osy a druhá nalevo (obr. 2.11).
- Tvar **Z, S** – **Lucemburské štětovnice**, zámky mají v nejvzdálenějším místě od osy stěny, kterým nezávisí na hloubce beranění, a proto jsou výhodné pro těžké beranění (obr. 2.11).
- Ploché štětovnice **Belval P** – mezi zámky se nachází rovná stěna. Jsou vhodné pro válcové jímky, protože se při namáhání tahem neprotahuje jako zalomená stěna u tvarů U, Z, S (obr. 2.12).



Obr. 2.11 Štětovnice tvaru Z (vlevo), štětovnice tvaru U (vpravo) [ArcelorMittal 2014]



Obr. 2.12 Plochá štětovnice [ArcelorMittal 2014]

Beranění ocelových stěn probíhá postupně, jedna za druhou, přičemž beraněná štětovnice se vsunuje do zámků již zaberaněných prvků. Zámky slouží k vedení svislé dráhy štětovnice a k vytvoření celistvé stěny. Výška štětovnic se odřezává na předepsanou hloubku zaberanění, a pokud vnikne hlouběji, je možné ji nadstavit přivařením nové štětovnice nebo betonovou zídou.

Před zahájením prací se na hlavu štětovnice nasadí čepec chránící horní konec piloty, na který se umístí beran. Důležitým faktorem je udržet štětovnice svislé. Pokud se svislost nedodrží, je nutné ji opravit.

musí se u každého kusu jinak naklánět beranidlo a nelze použít nároží. Třením v zasouvaném zámku má stěna tendenci se vějířovitě naklánět, čemuž se brání vyvozením opačného momentu lanem připevněným k vršku štětovnice a excentrickým posazením beranu blíže k zaberaněné štětovnici. Možná hloubka závisí na druhu zeminy, jejím zvodnění, na profilu štětovnice a druhu a tíze beranu (vibrátoru).

V mírném pásmu ve sladké vodě je životnost ocelových pažnic asi 80 let, v tropech 70 let. Oproti tomu ve slané vodě vydrží jen 40 až 50 let. [Bažant 1981].



Obr. 2.13 Osazení beraněné ocelové stěny

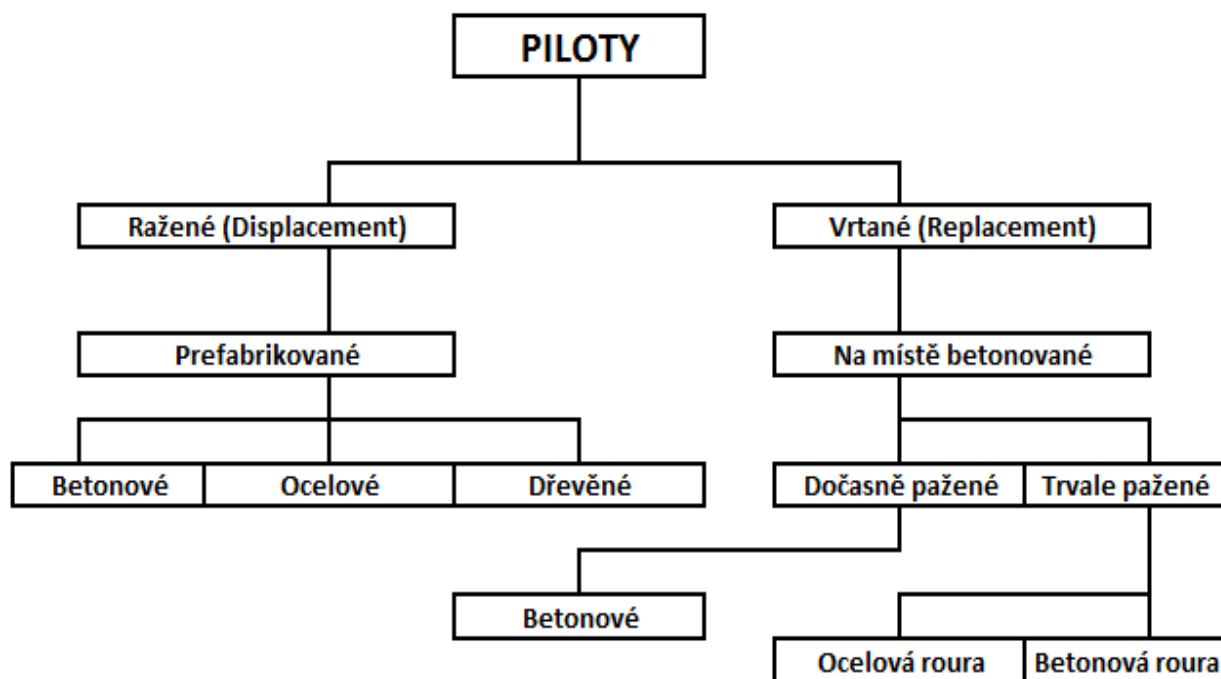
Mezi výhody lze zařadit, že jde o ekonomické řešení do hloubky od 10 m do 20 m. Jejich instalace a dostupnost je jednoduchá. Možnost snadného odstranění těchto konstrukcí, a to nejen u dočasných pažnicích konstrukcí po dokončení výstavby, ale i u trvalých konstrukcí po skončení životnosti stavby. Nezatěžují příliš okolní prostředí.

Nevýhodou je, že do skalního podloží lze štětovnice zaberanit jen na velmi malou hloubku - řádově několik (desítek) centimetrů. Vyšší ulehlost nesoudržných zemin nebo vyšší stupeň konzistence soudržných zemin nasazení štětových stěn značně eliminuje. Vzhledem k ceně oceli a současným možnostem se jeví masivní nasazení tohoto způsobu odclonění nebo zpomalení proudu vody v podzemí již jako neekonomické. Při beranění v těsné blízkosti stávajících domů je třeba zvážit, zda nedojde k negativním účinkům na stávající budovu – použít raději šetrnější vysokofrekvenční vibrátory.

2.2.4 Pilotové stěny

Piloty představují jednu z nejstarších metod hlubinného zakládání staveb a v současné době metodu velmi rozšířenou. V České Republice se nejvíce provádějí piloty vrtané, jež jsou hlavními a typickými představiteli první skupiny pilot a tvoří více než 90 % podíl všech pilot na našem trhu. To je dáno jejich relativně největší univerzálností, jež je nutná s ohledem na pestré geotechnické podmínky stavenišť na našem území a jistou tradicí a zkušenostmi s velkopřůměrovým vrtáním [Zakládání staveb 2014].

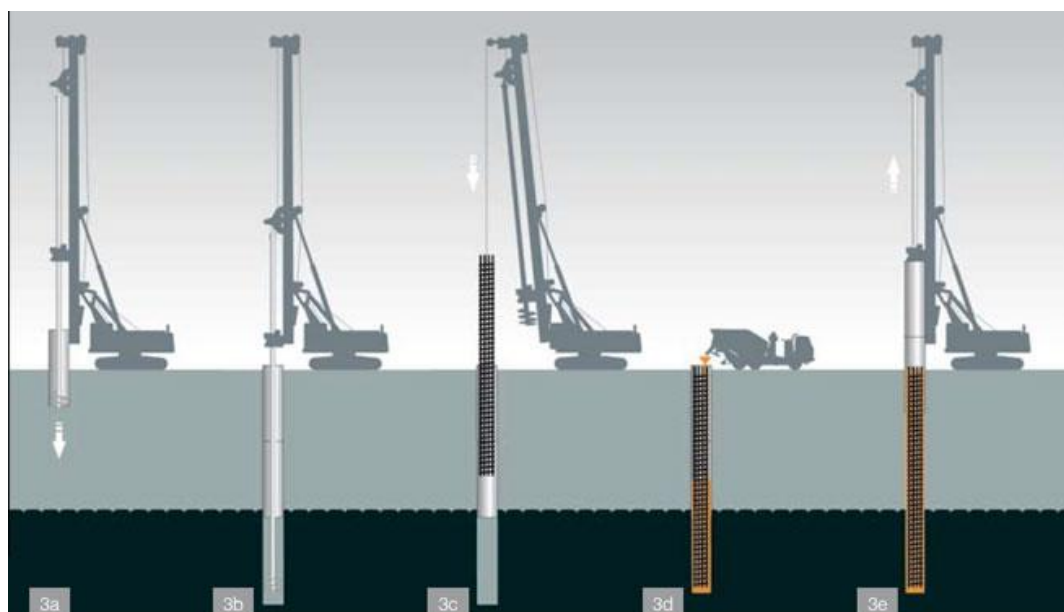
První podzemní stěny byly stavěny jako vzájemně se dotýkající nebo protínající se piloty. Jílového výplach byl poprvé použit při hloubení pilot v roce 1949 při stavbě tepelné centrály v Bône v Alžíru, kde byly piloty o hloubce 65 m a průměru 0,94 m. Před konečnou betonáží byl výplach nahrazen vodou. Roku 1950 bylo ve Vitry dovoleno betonovat pod jílovým výplachem. V té době vznikaly různé metody hloubení pilot pažené jílovým výplachem. Mezi tyto metody spadá například metoda ICOS-Veder, při které se používalo dláto o váze 1,8 t, zavěšené na dutém souutyčí, kterým se do vrtu vháněl jílový výplach. Výplach poté vynášel ze dna vrtu rozmělněný materiál směrem na povrch, kde byl čištěn. Tímto způsobem byla provedena stavba v roce 1954, tedy podzemní těsnicí stěna (z přesahujících se pilot) pod hrází Feddai v Itálii. Mezi další stavenišť v Itálii, kde bylo využito této metody, patří např. Rocca d'Evandro Voltuno, Rottenova di Cavarzone.



Obr. 2.14 Evropská klasifikace pilot [Masopust 2004]

Pilotové stěny představují především trvalou pažicí konstrukci, nebo konstrukci zárubních zdí. Tyto stěny se používají za účelem čistě těsnicím zřídka. Většinou plní funkce alespoň 2, tedy např. funkci těsnicí a zároveň statickou. Pilotové stěny lze rozdělit podle způsobu provádění na typ zvaný „replacement“, tj. z pilot vrtaných, které tvoří nadměrnou většinu. Při výrobě této piloty je zemina odstraněna z výkopu. Druhým typem je tzv. „displacement“, při jehož výrobě je zemina roztláčována do okolí budoucí piloty. Tento způsob pilot se při tvorbě pilotových stěn téměř nepoužívá. Další rozdělení pilot je podle volné výšky. Toto rozdělení specifikuje piloty jako volně stojící (nekotvené, nerozepřené) a kotvené (rozepřené).

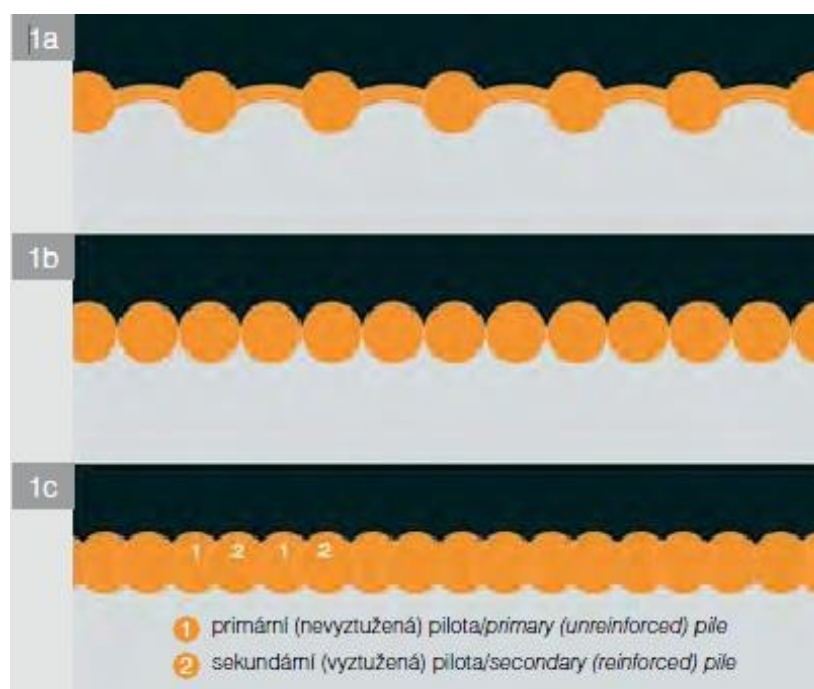
Vrty pilot se provádí hlavně technologií rotačně náběrového vrtání pomocí speciálních nástrojů, výjimečně také pomocí drapákového hloubení. Podle ČSN EN 1536 se za vrtané piloty považují jednak prvky kruhové s průměrem 300 mm – 3000 mm bez omezení délky, jednak prvky nekruhové, tzv. lamely podzemních stěn, jsou-li betonovány v jednom záběru a je-li jejich průřezová plocha menší než 10 m² [Zakládání staveb 2014]. Hlavy pilot lze opatřit monolitickými vrtanými patkami s kalichy pro přímou montáž prefabrikovaných železobetonových sloupů nebo spojovací výztuží pro navázání sloupů monolitických. Bezproblémové je rovněž využití pilot jako osamělých základů pro ocelové sloupy. V případě mimořádně velikých zatížení se navrhují ve skupinách spojených v hlavě železobetonovou patkou, pásem či deskou.



Obr. 2.15 Technologický postup provádění vrtané piloty pažené pažnicí [Zakládání staveb 2014]

(3a) zahájení vrtání, vkládání pažnice do vrtu, 3b) dovrtnání nezapažené části vrtu pod pažnicí, 3c) vkládání armokoše do vyčištěného a zapaženého vrtu, 3d) betonáž piloty, 3e) odpažování vybetonovaného vrtu)

Pokud chceme zajistit funkci vodotěsnosti, pak je třeba volit piloty převrtávané. Tyto druhy pilot značně konkurují průběžným stěnám podzemním zvláště z toho důvodu, že při jejich výrobě není nutné použití pažicí suspenze. Prvně se musí zavést piloty primární, které jsou tvořeny prostým neboli nevyztuženým betonem. Nejsou nosné z hlediska ohybového namáhání a nemusí ani zasahovat na vytyčenou hloubku pod dno stavební jámy. Jejich hlavní funkcí je tedy těsnění, respektive pomoc při vytvoření souvislé stěny. Po určité době, jakmile beton ztuhne (nesmí zatvrdnout, aby netvořil překážku pro převrtání), nastává čas pro budování pilot sekundárních. Výsledná osová vzdálenost převrtávaných pilot závisí na jejich průměru d , volné výšce stěny H a na geotechnických poměrech na staveništi. Uvádí se kolem $0,8d$. Sekundární piloty jsou zahloubeny pod dno stavební jámy nebo výkopu, jsou nosné železobetonové.



Obr. 2.16 Ukázka primárních (1b) a sekundárních (1c) převrtávaných pilot
[Zakládání staveb 2014]

Při provádění převrtávané piloty je zapotřebí dodržet polohu i svislost pilot tak, aby výsledná stěna byla souvislá. Za tímto účelem se připraví šablona na úrovni pracovní plošiny, která nahrazuje vodící zídky v případě podzemních stěn. Šablona se obetonuje betonem, jehož kvalita by měla být nejméně C16/20, případně se do boků vloží výztuž ve formě svařované sítě (armokoše). Po zatvrdnutí betonu šablony se provádí vrty pro piloty, které se vrtají pomocí spojovatelné pažnice, která se do půdy rotuje buď pomocí teleskopu, nebo pomocí dopažovacího zařízení. Z pažnic se poté zemina vybírá určitým nástrojem, přičemž se pata pažnice nepodvrtává. Pažnice spolu s šablonou zajišťují svislost a polohu jednotlivých pilot.



Obr. 2.17 Vodící šablony [TOPGEO 2014]

Provádění převrtávaných pilot je velice náročné jak na technologii, tak na organizaci a správné načasování. Tuhnutí betonu primárních pilot nelze zabránit a to může vést ke komplikacím. Převrtávané pilotové stěny se považují za konstrukce vodotěsné, jež jsou schopny být namáhány hydrostatickým tlakem. Pokud jsou piloty vetknuty do nepropustného podloží, můžeme považovat konstrukci za těsnicí [Masopust 2011].

Výhodou vrtaných pilot je možnost provádění i ve složitějších geologických podmínkách. Také podrobný geologický průzkum (pomocí pilot) na měnitelnost délky. Ovšem nesprávným postupem vrtání piloty, nadměrným přibrzdňováním vniku nástroje může dojít k nakypření okolních písků a tím k poklesu únosnosti piloty.

Pokud se zvolí technika beranění a vibrování, výhodou je prefabrikace a únosnost jednotlivých prvků clony. Nevýhodou je fakt, že při nevhodné a zastaralé technice vznikají značné otřesy a hluk, který může mít dopad na okolí staveniště. Tuto technologii provádění nelze uskutečnit do zemin, ve které se nachází shluky valounů. Beraněné pilotové stěny se nepoužívají ve vodním stavitelství.

2.2.5 Trysková injektáž

Konstrukce tryskové injektáže je složena z jednotlivých prvků injektáže (sloupů, lamel), případně kotev, mikropilot, stříkaného betonu. Mohou plnit funkci nosnou, tedy zesilování základů, nebo se používají pro vytvoření těsnicích či pažicích stěn [Masopust 2011]. Injektáže mají ve stavební praxi široké pole využití. Injektáží podloží přehrad a jiných vodních děl se vytvářejí těsnicí nepropustné clony, které brání průsakům vody z nádrží. Injektážemi jsou také vytvářeny zpevněné a vodotěsné zóny nad tunely, štolami a jinými raženými díly, které umožňují zrychlení postupu ražeb a zvyšují jejich bezpečnost. Injektáže se uplatňují při rekonstrukcích a opravách porušeného zdiva historických objektů, kde napomáhají zvýšení celkové tuhosti objektů [Zakládání staveb 2014].

Počátky prací sahají do začátku 19. století, kdy roku 1802 Francouz Bérigny představil svůj vynález na utěsnění podloží jezu v Dieppe. Použil pro dopravu směsi do injektovaného prostoru tzv. nárazové čerpadlo. Jílovou suspenzi použil pro těsnění přepadu, při rekonstrukci tělesa jezu a jeho podzákladí maltu. V letech 1802 až 1809 poprvé použil injektáž při stavbě přístavního bazénu v Dieppe k snížení přítoků vody. U nás, tedy v ČSSR byla injektáž poprvé použita pro utěsnění skalního podloží na přehradě Janov roku 1915 a pro těsnění nesoudržných zemin ve větším měřítku při průzkumných pracích pro založení vodní elektrárny Gabčíkovo (1963 – 1965).

V padesátých a šedesátých letech se v USA se rozvíjely metody na řezání kovů paprskem vody a jinými médii, přičemž použitý tlak přesahoval i 500 MPa. Pravděpodobně tyto práce vedly firmu Cementation Specialist k realizaci těsnicí clony na přehradě v Pakistánu roku 1960 metodou Jet Grouting, která byla založena na obdobném způsobu.

Pokusy provádějící Yamakado se svými spolupracovníky v Japonsku vedly k rozvoji metody nyní známé pod názvem trysková injektáž. Na počátku sedmdesátých let se začaly rozvíjet jednotlivé pracovní metody, kdy vznikaly čerpadla, které dokázaly čerpat cementové suspenze tlakem 40 MPa a vyšším. Podmětem k velkému rozvoji tryskové injektáže bylo odstranění nedostatků klasické injektáže při zpevňování a utěsňování písků, které vyžadovaly směsi s velkou penetrační schopností. Většina těchto směsí je však toxická nebo je omezena z důvodů ekologických.

Při výběru druhu směsi bychom se měli řídit pravidlem, že směs musí dobře vnikat do puklin a zde musí také ztuhnout. Tomuto kritériu vyhovují nejvíce směsi, které mají velikost zrna menší než 40 μm (jemně mletý cement nebo jílocementová směs). Z důvodů ekonomických a ekologických je použití chemických směsí omezeno. Jako výplně se používají cementová injekční směs, cementová směs stabilizovaná bentonitem a jílocementová směs.

Jaroslav Verfel (1992) ve své knize popisuje čtyři metody tryskové injektáže:

1. Metoda JG (Jet Grout) – Tato metoda byla vyvinuta v roce 1973 Japonci Yahiro – Yoshida. Princip je takový, že se mezi vodicími zídkami vyhloubí vrtý o průměru 100 mm – 120 mm. Osová vzdálenost vrtů může být různá, odvíjí se od druhu zeminy, rychlosti vytahování monitoru, výstupním tlaku vody, na ochraně vodního paprsku vzduchem atd. Vrtání probíhá za pomoci jílového výplachu. Po vyhloubení se do vrtu zapustí monitor, který je opatřen třemi tryskami. Tryska na přívod vzduchu, na přívod vody o průměru 2 mm a tryška cementové směsi. Trysky jsou natočeny stejným směrem, a jakmile dojde k propojení vrtů, začne se součtyčí s monitorem pomalu vytahovat směrem k povrchu při současném čerpání cementové suspenze do vrtu.

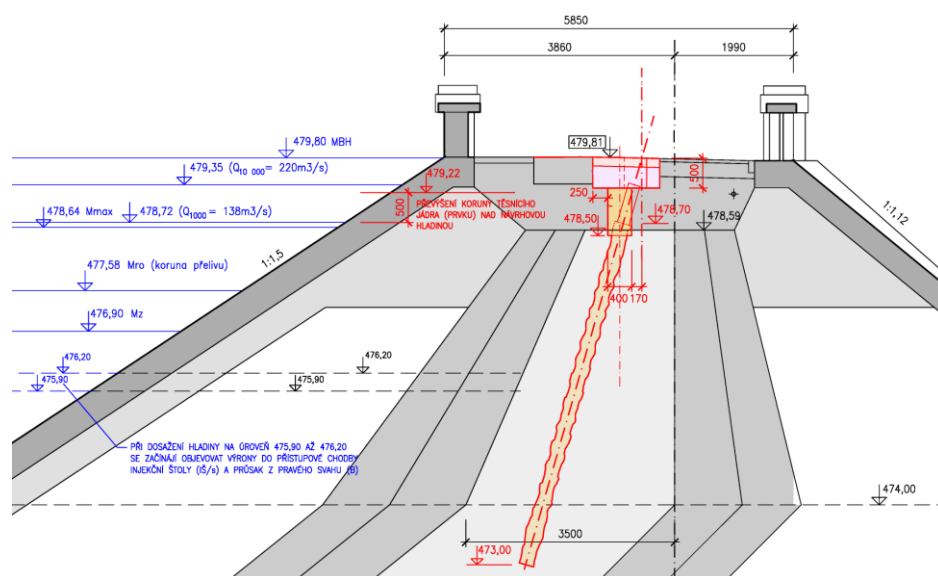
2. Metoda CCP (Chemical Churching Pile) – Nakanishi vyvinul téměř ve stejné době jako Yahiro metodu JG. Liší se v tom, že dochází k otáčení monitoru kolem své osy a současněmu horizontálnímu stříkání směsi do okolního prostředí, čímž vytváří válcový tvar. Nejprve proběhne hloubení vrtu o průměru 100 mm (nejčastěji dlátem). Po dosažení požadované hloubky se do vrtných trubek vhodí kulička, která ucpe výplachovou trysku. Tímto krokem je

zabezpečeno, že cementová směs bude proudit pouze horizontálními tryskami. Rotací a vytahováním nářadí se vytváří v zemině pilota. Průměr pilot potě závisí na druhu zeminy, rychlosti vytahování a samozřejmě na výšce tlaku. Často se využívá při hloubení metody předřezu, kdy tryska je ve vrtném dlátu a vrt se hloubí při pomalém chodu čerpadla (tlakem kolem 10 MPa). Při vytahování nářadí se zvýší tlak až na 50 MPa. Pevnost výsledného prvku je tím větší, čím je zemina sušší a propustnější. Například v jílovitých zeminách se zpevnění pohybuje jen kolem 2,5 MPa až 5 MPa, přičemž v aluviálních náplavech bylo dosaženo pevnosti v prostém tlaku i 40 MPa.

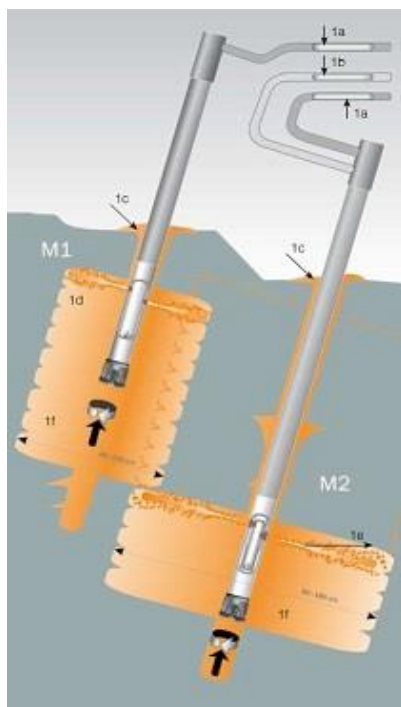
3. Metoda JSG (Jet Special Grout) – Metoda, při které se účinek prořezu zvětšuje ochranou paprsku cementové směsi paprskem vzduchu. Dosah prořezu je tedy větší než u metody CCP.

4. Metoda CJG (Column Jet Grout) – Umožňuje maximální prořez, kterého se dosáhlo zkonstruováním monitoru, vrtných tyčí a výplachové hlavy umožňujícím rotační pohyb a řezání zeminy pod vzduchovou ochranou. Pro vodní paprsek je výstupním tlakem 60 MPa až 80 MPa, pro vzduch 0,7 MPa až 1,7 MPa a pro cementovou suspenzi 2 MPa až 6 MPa. U této metody je snaha dosáhnout rychlosti vody a vzduchu u ústí trubky větší než 350 m/s.

Firma Zakládání staveb používá obdobné způsoby. Po vyhloubení vrtu na projektovanou hloubku se do trysek nad vrtným nástrojem čerpá pod vysokým tlakem cementová směs, jejíž paprsek po průchodu tryskou při metodě M1 (jednofázové) řeže a promíchává zeminu do vzdálenosti 40 cm – 140 cm nebo při metodě M2 (dvojfázové vzduchové), kdy je paprsek cementové směsi navíc usměrněn koaxiálním proudem stlačeného vzduchu do vzdálenosti 120 cm – 220 cm. Pokud se injekční soutyčí otáčí, vzniká základový prvek – sloup – což bývá nejčastější využití této technologie. Pokud se při vytahování injekční soutyčí neotáčí, vzniká rovinný podzemní prvek – segment nebo stěna. Pevnosti vytvořených prvků se dle druhu zeminy pohybují od 0,5 MPa do 15 MPa.



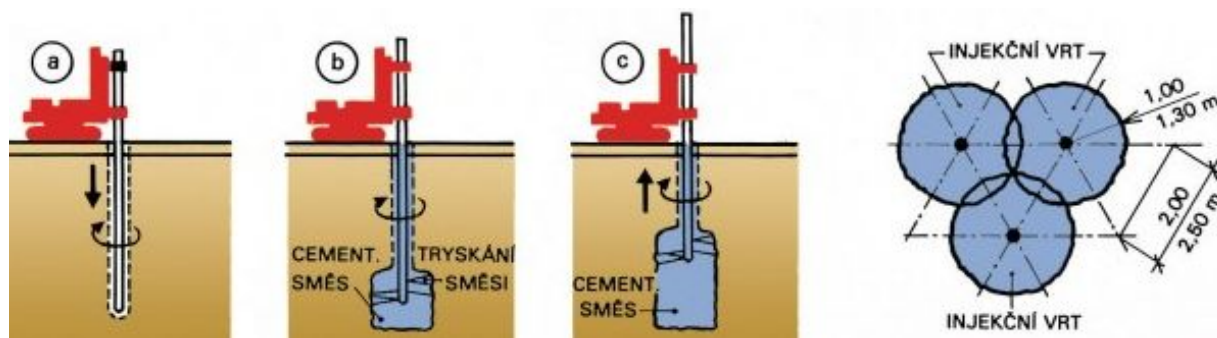
Obr. 2.18 Použití Jet Grouting technologie na přehradě Mostiště [Aquatis Brno]



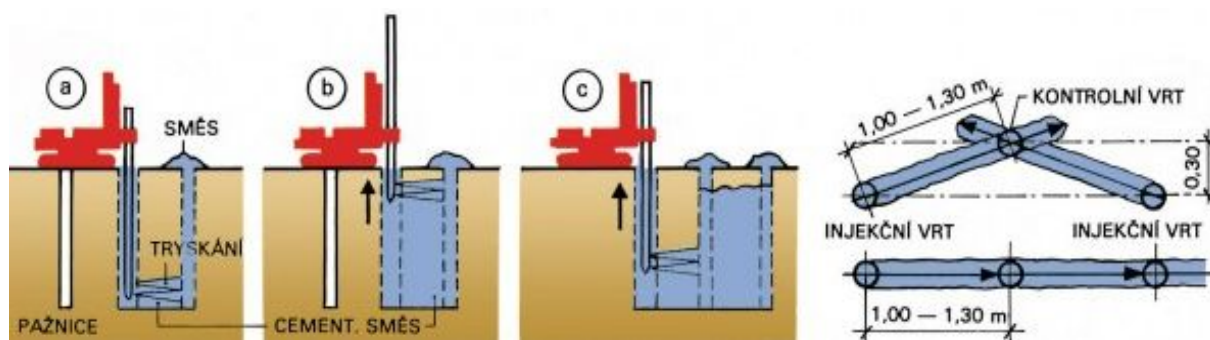
Obr. 2.19 Technologie tryskové injektáže metodou M1 a M2 [Zakládání staveb 2014]

(1a) injekční směs, 1b) stlačený vzduch, 1c) vyplavený materiál, 1d) paprsek injekční směsi, 1e) paprsek injekční směsi a stlačeného vzduchu, 1f) proinjektovaný sloup zeminy)

Firma Soletanche používá stejné metody jako firma zakládání staveb, jen pod názvem MONOJET a DOUBLEJET, kdy se u metody MONOJET po provedení vrtu při pomalém pohybu vrtného nástroje vzhůru a jeho pomalém otáčení vhání do trysky nad břitem cementová injekční směs pod tlakem 30 MPa - 50 MPa. U DOUBLEJET se účinnost tryskání zlepšuje koaxiálně vháněným vzduchem pod tlakem 0,6 MPa - 1,2 MPa. Průměr vytvořených sloupů tak dosahuje 0,8 m - 1,8 m. Také lze použít jednosměrnou injektáž, obdobným způsobem bez otáčení vrtného soustředí při vytahování, přičemž se vytvoří stěnové prvky, vhodné zejména pro omezení průsaků.



Obr. 2.20 Metoda DOUBLEJET [Soletanche 2014]



Obr. 2.21 Jednosměrná trysková injektáž [Soletanche 2014]

Jedná se o metodu, která je z hlediska strojního vybavení velmi nenáročná na prostor. K provozu tryskové injektáže (TI) je zapotřebí:

- 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

Základy mohou být podchyceny například zevnitř budovy, protože byly vyvinuty strojní soupravy i velmi malých rozměrů. Problémy nečiní úzký vjezd, apod. Vrty lze provádět stávajícími základy, při injektáži tak dochází také k zlepšení vlastností stávajícího základu. Tryskovou injektáž lze realizovat i do skalního podloží. Ve skalní hornině bývá ovšem průměr vytryskaných sloupů výrazně menší, takže v této úrovni již obvykle nelze vytvořit souvislou clonu. Jako stavební materiál je v zásadě použita cementová směs ve spojení s přírodním zemním materiálem, který není třeba těžit, dopravovat, zpracovávat. Trysková injektáž odpovídá požadavkům ekologie podzemních vod. Za značnou výhodu lze považovat případnou vodotěsnost tryspaných stěn. V případě pažení stavební jámy v těsném sousedství stávajícího objektu lze někdy využít všech výhod tryskové injektáže.

Za nevýhodu se uvádí především to, že se jedná o finančně náročnou záležitost [Technologie.fsv.cvut 2014].

2.2.6 Hloubkové míchání zeminy

Jedná se o metody, ve které dochází ke smíchání stávající zeminy a dodávaného pojiva. Jednou z technologií hloubkového míchání zeminy je **TRENCHMIX**, kterou používá firma Soletanche. Byla vyvinuta v mezinárodní skupině Soletanche Bachy modifikací pásových nosičů vyráběných firmou Mastenbroek Ltd. Stěna je budována zařízením tzv. trencher (obr. 2.22), které realizuje stěnu promícháním zeminy s hydraulickým pojivem. Toto zařízení má následující přednosti:

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

Metody provádění mohou být dvě - vlhká a suchá. Rozdíl mezi nimi je dán formou dávkovaného pojiva. Pokud se pojivo přidává ve formě prášku, jedná se o metodu suchou. Pokud se přidává ve formě tekuté suspenze, je metoda nazývána vlhkou. Mezi přednosti této technologie patří správné nastavení receptury dávkování pojiva v závislosti na parametrech původní zeminy a požadavcích na výsledný zpevněný materiál, průběžná kontrola a záznam výrobních parametrů technologie TRENCHMIX včetně pravidelného odběru kontrolních vzorků zpevněné zeminy, a to za účelem prokázání shody s požadavky projektu, specifické návrhové postupy podpořené výpočty metodou konečných prvků. Nevýhodou může být nedostatečná nepropustnost.



Obr. 2.22 Metoda TRENCHMIX



Obr. 2.23 Zařízení trencher při realizaci podzemní stěny

Další metoda hloubkového míchání zeminy je **Deep Soil Mixing (DSM)**. Tato technologie vznikla kolem roku 1960 v USA a dále se vyvíjela zejména v Japonsku a Skandinávii. V západní Evropě se tato technologie objevila až kolem roku 1990, kde se užívala na izolaci skládek nebezpečných odpadů.

Taktéž dochází ke smíchání původní zeminy s přídanou cementovou suspenzí. Vytváření pilíře DSM se skládá ze dvou základních fází. První fáze představuje zavedení vrtného (míchacího) nástroje do potřebné hloubky. Pokud se v místě vrtu nachází zvodněné písky nebo se hloubí v místě podzemní vody, lze hloubit bez přidávané suspenze. Jestli zemina vykazuje větší odpor, je možné zavrtávání usnadnit pomocí menšího množství suspenze (výjimečně vody) nebo i řezným paprskem. Nemá smysl jej realizovat v prostředí ulehých nesoudržných či pevných a tvrdých soudržných zemin.

Využívá se jednoho či více míchacích aparátů (nářadí). Pádla, šneky a vrtule různých průměrů (0,4 m – 2,0 m) jsou sestaveny buď samostatně, nebo jako soustavy v řadě. 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. Mohou dosahovat hloubek až 20 m v závislosti na výkonech strojů.

Postup vrtání je závislý na obsluze stroje, která udává rychlost a rotaci podle odporu zeminy. Po dosažení předepsané hloubky se vpouští do vrtu suspenze a za současného vrtání – míchání se postupuje směrem k povrchu. V závislosti na zemině je pak vhodné opakovat míchání v celé délce pilíře. Platí, že čím jemnozrnější nebo vrstevnatější zemina, tím vícekrát pohyb opakovat. Tuto metodu je možno využít vedle běžného zakládání objektů i pro budování dočasné nebo trvalé protipovodňové ochranné stěny [Svoboda 2009]. Firma Soletanche používá tuto metodu pod názvem COLMIX.

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 špice vrtného - míchacího nářadí. Pro těsnicí konstrukci jsou sloupy či lamely vytvářeny podobně jako převrtávané piloty, tedy primární a sekundární.



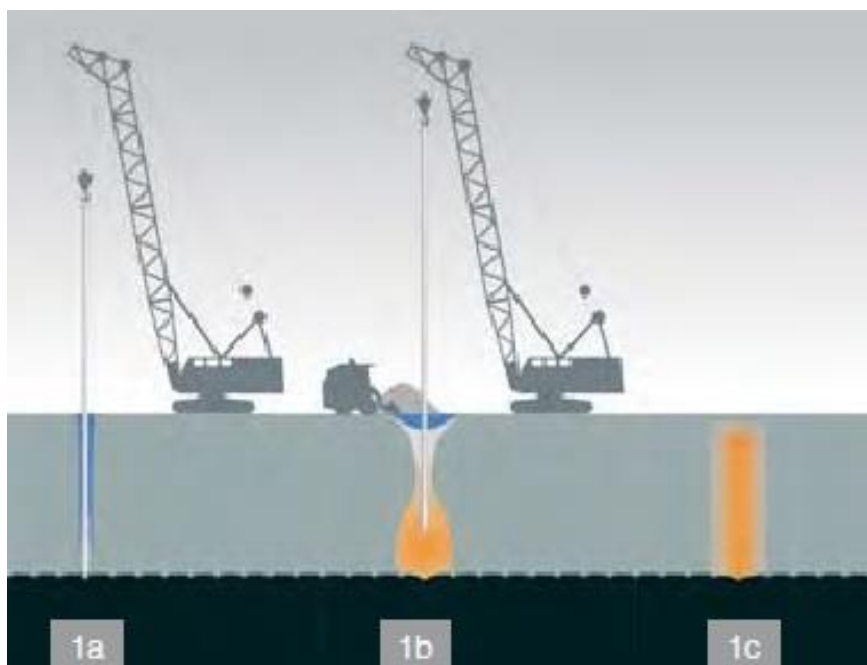
Obr. 2.24 Souprava COLMIX využívaná firmou Soletanche pro metodu Deep Soil Mixing
[Soletanche 2014]

2.2.7 Vibrační metody

Mezi vibrační technologie patří metoda **vibroflotace**. Využívá hloubkových ponorných vibrátorů s vodním výplachem za přidávání a vtlačování vhodného písčitého materiálu do nesoudržné zeminy, přičemž se zvýší ulehlost materiálu a sníží se tak propustnost. Metody vibroflotace byly v rámci protipovodňových opatření vyzkoušeny poprvé v 60. letech minulého století při sanaci stávajících ochranných hrází mezi Klosterneuburgem a Hainburgem v Rakousku. Tyto hráze jsou budovány pouze z písku bez hutnění. Problémem byla změna geometrie příčného profilu hráze při velkých povodních, a proto se přistoupilo k provedení dodatečných opatření pro utěsnění hráze. Po dokončení zhutňování však nelze dosáhnout koeficientu propustnosti většího než 10^{-6} m/s.

Hloubková vibrační jehla může být poháněna elektrickým, nebo hydraulickým zdrojem a bývá volně zavěšena na jeřábovém nosiči nebo pevně osazena na lafetě vrtné soupravy – v tom případě je její vniknutí současně podporováno přtlakem.

Pokud se hráze budují ze štěrkovitého materiálu, tak se v podunajských zemích využívá i metody hloubkového vibračního zhutňování vibrátory s horizontální vibrací. Tehdy se zhutněním hráze, respektive rostlého podloží, přidáváním štěrkopískového materiálu až do hloubky například 10 m zlepšuje stav hráze a redukuje propustnost. Redukce propustnosti se prokazuje dynamickými penetračními zkouškami, kdy za vyhovující je považováno asi 50% zvýšení ulehlosti.



Obr. 2.25 Hloubkové zhutňování zeminy [Soletanche 2014]

(1a penetrace vibrační jehlou do zeminy, 1b hloubkové plnění s plněním přídavného materiálu k ústí vpichu, 1c zhutněný sloupec zeminy)

2.3 DLE KONSTRUKCE

- Betonové a železobetonové
- Ocelové
- Jílocementový beton
- Jílová a jílocementová směs
- Jiné

2.3.1 Betonové a železobetonové podzemní stěny

Mezi betonové a železobetonové podzemní stěny se řadí již zmiňované monolitické a prefabrikované stěny. Hloubí se po lamelách délky od 1 do 10 m. Tloušťka stěn se pohybuje okolo 0,5 m – 1 m a hloubka obvykle 20 m až 35 m, výjimečně až 60 m. Způsob hloubení rýhy pro stěnu se volí podle druhu zeminy. Po vyhloubení se rýha zabetonuje, nebo se v ní osadí prefabrikovaný dílec. Stroje se liší podle hloubení, podle způsobu pažení podzemních stěn a podle sestavování souvislé podzemní stěny z lamel. Boky pažíme především bentonitovou suspenzí, nebo plechovou výpažnicí či přetlakem vody.

Podle druhu zeminy se volí hloubení rýhy. V balvanité zemině se používají krátké lamely o délce omezené na průměr vrtu. Vrty jsou hloubeny těžkými vrtnými soupravami nebo drapáky (hydrofrézou). V první řadě se vyhloubí vrty liché a po jejich vybetonování se mezi ně vkládají vrty sudé. V nesoudržné zemině lze postupovat po delších lamelách, hloubených drapáky se širokým záběrem. Délka lamel je omezena stabilitou boků kopané rýhy. Naopak v soudržné zemině lze kopat lamely delší, neboť to kohezní zemina z hlediska stability boků kopané rýhy dovoluje. Ovšem musí se brát ohled na tvrdnutí betonu, protože lamela musí být hotová dřív, než beton začne tuhnout. Při betonáži se rýha vyplňuje plynule, bez přerušování a vytlačuje z ní suspenzi.

Postup betonování je třeba vhodně upravit, aby jednotlivé lamely tvořily spojitou stěnu stálé tloušťky. Pokud je zaveden způsob hloubení na základě liché a sudé lamely, je betonáž liché lamely vybudována tak, aby na jejích koncích vznikly polokruhové drážky. Tyto drážky se vytvoří tím, že se na oba konce lamely vsadí jako bednění ocelové trouby, které se při začátku tuhnutí betonu vytáhnou. Sudá lamela se pak zaváže do polokruhových drážek. Jiný způsob je dělit podzemní stěnu na lamely ocelovými záporami (nosníky tvaru I), které jsou do vrtů beraněny. Pokud je zapotřebí vybudovat vyztuženou betonovou stěnu, neboli železobetonovou, vkládá se do bentonitové suspenze v rýze výztuž. Připravuje se jako vyztužená kostra a vkládá se do rýhy jeřábem. Na výztuži se ze suspenze vytvoří film, tudíž není přilnavost výztuže k betonu příliš zmenšena.

Stěna není přesně svislá, její tloušťka není stálá a líc není úplně rovný. Rovnost líce je závislý na zrnitosti zeminy, ve které je stěna hloubena. Tedy v zemině, kde se nachází kameny velikosti až 200 mm, dochází při hloubení k tomu, že vznikají za lícem po vyrvaných

kamenech dutiny stejné velikosti, které se pak zaplní betonem. Líc stěny, který je odlitkem dutin, je velmi hrbolatý. V písčitých zeminách je stěna hladká, zejména buduje-li se až po určité době po hloubení (několik dní), takže se na stěně výkopu může usadit za suspenze tlustší film.

S problémem hladkého líce a rovnosti stěny se dá poradit tak, že se spustí do rýhy zaplněné suspenzí prefabrikované předpjaté lamely. Používá se samotvrdnoucí suspenze, která zaplní prostor mezi stěnou a zemínou a na líci se poté odsekává [Bažant 1981]. Prefabrikáty jsou však omezeny hloubkou.

2.3.2 Ocelové podzemní stěny

Ocelovými podzemními stěnami se zabývá kapitola 2.2.3 Beraněné ocelové stěny.

2.3.3 Podzemní stěny z jílocementového betonu

Složení jílocementového betonu je ze štěrkopísku a malty složené z jílu, cementu a vody. Zapotřebí je větší vodní součinitel vzhledem k většímu měrnému povrchu jílových zrn. Obsahuje méně cementu (50 až 150 kg/m³), a tím způsobuje menší koagulaci (srážení) výplachu a je odolnější proti agresivitě podzemní vody. Propustnost je malá a stěna je dostatečně odolná proti erozivním účinkům. Malý obsah cementu je příčinou malých deformačních modulů a malých pevností v prostém tlaku.

Jílocementový beton je náchylný k vysychání, tudíž se jeho vlastnosti zhoršují, a proto je třeba jej před vysycháním chránit. Při ukládání betonu do rýhy se používá stejné technologie jako při ukládání betonové směsi. Pokud tvoří těsnicí prvek hráze, musí být stěna zavázaná do hlinitého těsnění hráze [Hobst, Hobst, Klablena, Verfel 1984].

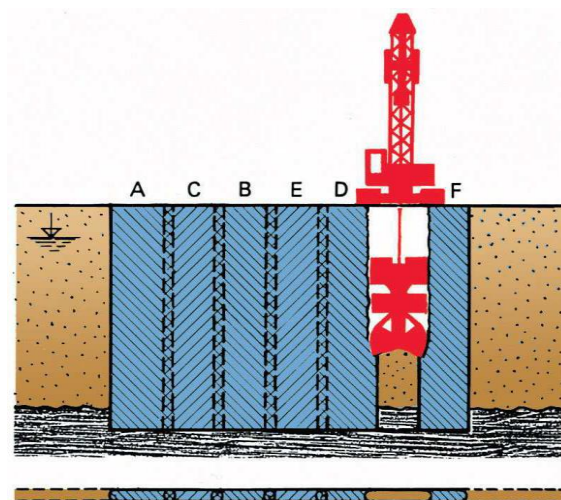
Vzhledem k většímu měrnému povrchu jílových zrn, než jaký mají zrna cementu, vážou jílová zrna větší množství vody (nehledě na vodu vázanou v jílové mřížce). Jílové částice se adsorbují na povrchu cementových zrn, čímž se zpomaluje tvrdnutí a zvětšuje se i odolnost proti agresivitě. Při výrobě jílocementové směsi je třeba, aby jíl s vodou byly dobře rozptýleny, a proto se dávkuje do míchačky jílová suspenze [Verfel 1992].

2.3.4 Jílové a jílocementové podzemní stěny

Podzemní stěny jílové nebo trvanlivějších stěny jílocementové se používají jako těsnicí clony zemních hrází. Za účelem těsnění stavebních jam a pro stavbu podzemních stěn kolem zdrojů znečištění, chránících podzemní vodu před kontaminací, se staví tenké jílové podzemní stěny, jejichž hlavní předností je nízká cena. Jíly jsou vybírány, aby nedocházelo k vnitřní erozi. Porušení stěn vlivem vnitřní eroze vznikne tehdy, když po vytvoření trhliny v těsnění nedojde k jejímu uzavření bobtnáním jílu, a tak se trhlina rozšiřuje dále. Mezi nevhodné jíly patří jíly disperzní, které jsou náchylné k rozšiřování trhlin, tj. jíly, které mají v pórové vodě velké procento výměnných sodíkových kationtů [Bažant 1981].

Pokud je to technicky možné, dává se přednost jílovým a jílocementovým stěnám před jílocementovým betonem, protože ukládání betonu do rýhy je pracné. Jílocementovou suspenzi lze vyrábět v automatické mísírně, kde pro obsluhu zařízení o kapacitě několika desítek až set m^3 je třeba jen několika pracovníků (dva na směnu) [Verfel 1992].

Jílocementová směs nesmí mít odstoje vody a v zásobníku se musí chránit před vysycháním. Osvědčuje se poprášení povrchu jílocementové směsi cementem (zvětšením množství cementu v povrchové vrstvě směsi se vytvoří smršťovací trhliny a zmenšuje se náchylnost k vysychání). U delšího skladování je zapotřebí povrchovou vrstvu chránit např. položením plastové fólie na zatuhlou směs apod. [Hobst, Hobst, Klablena, Verfel 1984].



Obr. 2.26 Jílocementová stěna [Soletanche 2014]

2.3.5 Jiné druhy výplně

Podzemní stěny hluboké kolem 5 m až 8 m, sloužící jako těsnící, byly vyplňovány hlínou, která se do rýhy hrnula buldozerem. Hlíny nejsou zárukou provedené práce z toho důvodu, že je nelze v rýze zpracovat. Kde je výplň rýhy napadána agresivní vodou, byl zvolen jílový beton stabilizovaný vodním sklem, které obsahuje šterkopísek, jíl, vodu, vodní sklo a reaktiv. Výroba a následné ukládání tohoto druhu výplně jsou složité. Z toho důvodu se dělaly zkoušky jílocementovou směsí zhotovenou ze sprašových hlín, do které jsou zapuštěny fólie z plastu dlouhé 8 m až 9 m. Pro velkou tuhost jílocementové směsi a pro působení mezimolekulárních sil nebyl zapuštění fólie do rýhy vůbec jednoduchý úkol. Na zatlačení fólie o rozměrech 9 m x 9 m bylo třeba použít desku o hmotnosti 3 t [Verfel 1992].

3 POUŽITÍ PODZEMNÍCH STĚN VE VODNÍM STAVITELSTVÍ

Při vybírání metody provedení a konstrukce jednotlivých podzemních stěn je třeba se zamyslet nad tím, aby výsledné řešení bylo co nejvíce optimální, tedy aby plnilo dostatečně svůj účel, aby následky na okolních pozemcích a zástavbě byly minimální, resp. přijatelné, a současně aby konečné dílo neznamenalou nepřiměřenou cenu za stavební a geotechnické práce.

U vodního stavitelství jako takového je jednou z nejpoužívanějších technologií beranění a vibrování štětových stěn. Ty se používají:

- Dočasně:
 - Jednoduché nebo dvojité štětové jímky, které slouží k zapažení a zároveň ochraně stavební jámy v blízkosti vodního toku nebo přímo ve vodoteči.
 - Bárky v řece, používané jako podpěrné nosné konstrukce při výstavbě nových mostů, rekonstrukcích starých mostů nebo jiných konstrukcí nad vodními toky.
- Trvale:
 - Nábřežní zdi budované jako pohledové štětové stěny.
 - Přístavní dalby, tvořené několika beraněnými nebo do vrtu osazenými ocelovými pilotami.
 - Ochranná svodidla u pilířů mostů nebo v nájezdech do plavebních komor, sloužící k ochraně betonových konstrukcí pilířů a plavebních komor a k zajištění bezpečného plavebního provozu v okolí těchto objektů.
 - Těsnicí stěny (ostruhy) jezů a sypaných hrází, které tvoří vodonepropustnou stěnu pod tělesem jezu nebo hráze, která zabraňuje nepříznivému proudění vody v podzákladích, způsobujícímu sufozi. Tento nepříznivý jev může v krajním případě vést až k destrukci vodního díla.
 - Rekonstrukce a obnova těsnicích prvků hrází a jejich podloží.

Další specifické technologie, které se uplatňují zejména u následně zmíněných konstrukcí vodního stavitelství:

- Výstavba malých vodních elektráren (MVE) – zajištění stavební jámy budoucí elektrárny pomocí štětových, podzemních a pilotových stěn, tryskové injektáže a kotvení, podchycení stávajících konstrukcí jezu.
- Rekonstrukce přístavů – provedení nových přístavních zdí z kotvených štětových stěn nebo prefabrikovaných podzemních stěn.

- Rekonstrukce plavebních komor – zajištění stavební jámy v bezprostřední blízkosti vodního toku, většinou pomocí štětových stěn, podzemních stěn, pilotových stěn, tryskové injektáže a kotvení.
- Rekonstrukce jezů – zajištění suché stavební jámy v řečišti, podchycení nebo provedení nového založení jezů, opravy jednotlivých jezových polí, opravy nebo výměny hradicích konstrukcí (např. klapky).
- Protipovodňová opatření – zhotovení protipovodňové sypané hráze včetně těsnicího jádra ze štětových stěn nebo jílové těsnicí stěny. Spodní stavba mobilních hrazení může být provedena z podzemních stěn, tryskové injektáže nebo štětových stěn.

3.1 DLE GEOLOGIE

Výběr podzemní stěny je dán geologickými vlastnostmi prostředí hloubené jámy. Před zahájením prací je zapotřebí provést geologický průzkum nejen místa budoucí podzemní stěny, ale také je nutné geologicky zmapovat území pro budoucí prostor staveniště, tedy kde se bude pohybovat těžká stavební technika, kde bude skladovaný materiál, čistička suspenze (pokud je vyžadována) a další požadované prvky stavby. Pro geologický průzkum se používají především vrtané sondy, ze kterých se odebírají vzorky základové půdy potřebné pro sestavení geologického profilu. Použití kopaných sond nebo rýh je velmi omezené, z toho důvodu jsou vrtané sondy častější. Získají se data, které umožní zakreslit geologickou mapu a geologické profily zobrazující podzákladí [Bažant 1981]. V této kategorii hraje největší roli hloubicí technologie, která je při výkopových pracích použita. Je důležité, aby hloubení stěn bylo mechanizováno a předešlo se nákladné a pomalé ruční práci.

3.1.1 Těsnicí podzemní stěny a clony ve zvodněné zemině

Do této kapitoly počítáme použití těsnicích stěn na utěsnění jámy, které se vyskytují především při zakládání přehrad, vodních elektráren a plavebních komor. Zakládání ve velikých a hlubokých stavebních jamách ve zvodněné zemině patří mezi velmi obtížné druhy zakládání. Hlavním problémem je udržet stavební jámu v suchu. Je nutné vodu buďto čerpat nebo kolem jámy vybudovat těsnění. Zakládání ve velikých a hlubokých stavebních jamách, ke kterému patří hloubení, těsnění, odvodnění a popřípadě stavbu jímky kolem jámy, stojí běžně 10 %, ale někdy 30 % a u jezů i přes 50 % nákladů na stavbu vodního díla. Je nutné si uvědomit, že návrh zakládání vodních děl je spjat s geologickými a hydrogeologickými poměry, které se vyskytují v různých kombinacích. Zakládání vodních děl je proto velmi individuální.

Odvodnění lze provádět povrchově, hloubkově nebo ho snižujeme pomocí těsnění. Povrchové odvodnění je nejčastější, ke hloubkovému odvodnění saháme jen tam, kde by povrchovým

odvodněním byla porušována stabilita zeminy. Při dlouhé stavební době je ekonomičtější stavební jámu těsnit, než odvodňovat.

Jámu je možné těsnit ocelovou podzemní stěnou, vzácněji dražší podzemní a převrtávanou pilotovou stěnou, úplně výjimečně injektovanou stěnou. Při velkém přítoku vody základovou spárou se navrhuje těsnění jámy nepropustnou vanou, jejíž dno je vytvářeno injekcí a boky podzemní stěnou. Přítok do stavební jámy je možné zastavit těsněním především tam, kde se nachází nepropustné podloží pod propustným v dosažitelné hloubce.

Těsnění do hloubky 20 m lze vybudovat jako štětovou stěnu ocelovou a přes 20 m se používá k těsnění podzemní stěny či převrtávané piloty. Těsnění ocelovou štětovou stěnou bylo použito u celé řady našich přehrad, např. Vír, Orlík atd. Vrstva zvodnělé zeminy byla utěsněna štětovou stěnou při zakládání vodní elektrárny a plavební komory Kostolná roku 1949 – 1951 a půdorysu dna asi 130 m x 80 m a hloubce jámy 19 m. Elektrárna je založena v nepropustném neogenním slinitém jílu, v jehož nadloží je písčité štěrky mocnosti 8 m. Příkladem jámy s nepropustnou vrstvou ve hloubce asi 30 m pod hladinou vody je stavební jáma o půdorysu 109 m x 210 m, provedená pro zakládání vodní elektrárny Izola Serafini na Pádu r. 1958 a 1959. Profil tvořil 33 m písku, 3 m jílu a podloží tvořil písek neznámé mocnosti. Stavební jáma byla odbagrována až po hladinu podzemní vody. Z této úrovně byla pak stavěna podzemní stěna střední hloubky 31 m, vetknutá 1 m do nepropustné jílové vrstvy. Podzemní stěna byla budována drapákem [Bažant 1966].

Při rekonstrukci jezu v Berouně v roce 2010 firmou Zakládání staveb, a. s. bylo zapotřebí zamezit podtékání vody v celé délce pod jezem a vývarem. Utěsnění podzákladí jezu bylo provedeno těsnicí clonou, vytvořenou ze sloupů tryskové injektáže vetknutých do skalního podloží. Profil sloupů byl 900 mm, osově po 600 mm. Protože nesmělo dojít k porušení, resp. nadzvednutí jezového tělesa, byla použita injektáž typu M1, tj. injektáž cementovou směsí bez podpory vzduchu. S ohledem na práci ve vodním toku se do injekční směsi přidával stabilizátor proti rozplavování a urychlovač tuhnutí směsi [Chrámza 2010].

3.1.2 Těsnicí podzemní stěny a clony v suché zemině

Skalní podloží

Vytváření nepropustných stěn se uplatňuje především u aluviálních náplavů, které jsou silně propustné. Ovšem nastávají také situace, kdy je třeba utěsnit skalní dutiny, pukliny a trhliny, ve kterých putuje voda. Propustnost skalních hornin je dána především jejich puklinami. Ty však v různých typech hornin mají svůj charakter. Jiná propustnost je v horninách vyvřelých, jiná v horninách sedimentárních.

U pevných hornin, jako jsou například žuly, diority, křemence, některé pískovce, droby, je hornina tak pevná a nepropustná, že pouze diskontinuity mohou působit na její propustnost a podmínky stability. Taková hornina se označuje jako nespojitá. Ve větších hloubkách ubývá trhlín, přičemž diskontinuit a hornina se stává spojitou. K utěsnění těchto velmi pevných

hornin (v Tab. 3.1 označeny jako Soudržné) se používají především vrtné nástroje s následnou injektáží horniny. Použití je především v přehradním stavitelství pro vytvoření těsnicí clony pod přehradou.

U vrtných prací se musí dbát na to, aby úzké pukliny, otevřené jen několik desetin milimetrů, nebyly znečištěny vrtným kalem. Tomuto požadavku nejvíce vyhovuje rotační jádrové vrtání při využití diamantových nebo roubíkových korunek. Při injektážních pracích, u kterých očekáváme větší spotřeby směsi (široce otevřené pukliny, dutiny nebo kaverny), je možno injekční vrty hloubit i rotačně příklepovým způsobem.

Pro méně pevné horniny (v Tab. 3.1 označeny jako Rozpukané), jako jsou břidlice, rozpukané pískovce apod. lze také použít podzemní stěnu vybudovanou pomocí hydrofrézy nebo speciálního drapáku. Právě nutnost realizace podzemních stěn v pevnějších horninách zapříčinila, že v polovině osmdesátých let věnovala firma Solétanche velké úsilí vývoji hydrofrézy. Hydrofréza obsahuje dva motory pohánějící kola opatřená zuby, které mohou být ocelové nebo v tomto případě u tvrdé horniny diamantové.

Štěrky a písky s balvany

Výkopové práce jsou u nesoudržných zemin jako štěrky a písky omezeny velikostí balvanů. U monolitických a prefabrikovaných podzemních stěn je výkop prováděn především pomocí hydraulického či lanového drapáku, nebo hydrofrézou. U větších balvanů, kde by bylo použití drapáku komplikované, je také možné provést výkop ručně ve svahované jámě, přičemž by se balvany daly odstřelovat. V dnešní době se využívá celá řada drapáků, které se dají použít i jako dláto, které svou vlastní vahou dokáže kameny narušit a následně lépe z výkopu vytáhnout. Použití hydrofrézy se oplatí pouze tehdy, když se hrabe do větších hloubek. Před nasazením hydrofrézy se provádí předvýkop (kolem 3 m - 4 m), tudíž by bylo neefektivní nasazení tohoto zařízení pro výkop hloubky 10 m – 15 m.

Další způsoby, kterými lze překonat těžké geologické podmínky, jsou v dnešní době již málo používané dlátovací soupravy. V ČSFR byla pomocí dlátovací soupravy realizována první podzemní stěna na přehradě Nechranice (1963). Součástí této soupravy by měl být také velký magnet. Může totiž nastat situace, že dojde k ulomení zubu dláta a ten je třeba z výkopu odstranit.

Pro beraněné ocelové stěny jsou balvany překážkou, kterou pomocí techniky beranění a vibrování nelze překonat. Pokud se při beranění narazí na překážku jako balvany či kmeny stromů, je nutno techniku zkombinovat (např. balvany do sebe zaklíněné rozebrat bagrem, místo zásypu sanovat a poté štětovou stěnu dokončit). Podobně jako ocelové stěny beraněné taktéž pilotové stěny ražené (replacement) nejsou vhodné do prostředí s balvany (ovšem ve vodním stavitelství se nepoužívají). Většina pilot se provádí pomocí metody displacement, tedy metodou rotačního hloubení. To je dáno jejich velkou univerzálností, jež je nutná s ohledem na pestré geotechnické podmínky stavenišť na našem území a jistou tradicí

a zkušenostmi s velkopřůměrovým vrtáním. Způsob hloubkového míchání zeminy by se v těchto geologických podmínkách nepoužil, stejně tak metoda vibroflotace.

Hlíny, štěrky a písky

U nepříliš složitých geologických podmínek, mezi které patří hlíny, štěrky a písky, by neměl být problém hloubit s jakoukoliv technikou. U beraněných ocelových stěn je třeba dát si pozor na to, aby se u jejich provádění nenacházel v zemině štěrk se zrnem větším než 300 (200) mm. Při stavbě jílocementové podzemní stěny při velmi jemných štěrcích (píscích) je nutné počítat s úniky suspenze, což může zvýšit její spotřebu na dvoj až trojnásobek objemu rýhy. Pokud by se jednalo o jemné písky, použití tryskové injektáže by bylo nevhodné, neboť úniky směsi do okolního prostředí by byly velké a stavba by se značně prodražila.

Tab. 3.1 Možné použití podzemních stěn (clon) a strojů pro různé druhy podloží

TYP ZEMINY	PODLOŽÍ	TYP PODZEMNÍ STĚNY, CLONY	STAVEBNÍ STROJE
ZVODNĚNÁ ZEMINA	<i>Štěrk, písky, hlíny</i>	Ocelová podzemní stěna	Beranidla, vibrátory
		Podzemní stěna	Drapáky
		Převrtávané piloty	Vrtné nástroje
		Trysková injektáž	Vrtné nástroje
	<i>Zemina s balvany</i>	Podzemní stěna	Drapáky
		Převrtávané piloty	Vrtné nástroje
		Trysková injektáž	Vrtné nástroje
SUCHÁ ZEMINA	<i>Skalní podloží</i>		
	Soudržné	Injektáž	Vrtné nástroje
	Rozpukané	Podzemní stěny	Hydrofrézy
	<i>Štěrk a písky s balvany</i>	Podzemní stěny	Hydrofrézy, drapáky
		Pilotové clony vrtané	Vrtné nástroje
		Trysková injektáž	Vrtné nástroje
	<i>Hlíny, štěrky, písky</i>	Podzemní stěna	Hydrofrézy, drapáky, dláta
		Ocelová podzemní stěna (do velikosti zrna 300 mm)	Beranidla, vibrátory
		Převrtávané piloty	Vrtné nástroje
		Trysková injektáž	Vrtné nástroje
		Hloubkové míchání zeminy	Trencher Vrtné nástroje
		Vibrační metody	Hloubková vibrační jehla
		Tenké těsnicí stěny	Vibrátory (I, H - profily)

Tab. 3.2 Ukázka typů stavebních strojů pro vybrané společnosti

TYP PODZEMNÍ STĚNY, CLONY	STAVEBNÍ STROJE	TYP	SPOLEČNOST
Podzemní stěna	Drapák	BAUER DHG -A, DHG-E	TOPGEO
	Hydrofréza	BC 32	Zakládání staveb
Ocelová podzemní stěna	Beranidlo	Beranidlo C 136	GEOSTAV
	Vibrátor	PTC 30 HFV	Zakládání staveb
Pilotová podzemní clona	Vrtná souprava	BAUER BG 40 V	TOPGEO
Trysková injektáž	Vrtná souprava	KLEMM KR 805-1	TOPGEO
Hloubkové míchání zeminy	Vrtné nástroje	Souprava COLMIX	Soletanche
	Rypadlo	Trencher	Soletanche
Vibrační metody	Vibrační jehla	dcp HPH 1200	Zakládání staveb
Tenké těsnicí stěny	Vibrátory (I, H - Profily)	PTC 30 HFV	Zakládání staveb

- Hloubené podzemní stěny:



Obr. 3.1 Ukázka zařízení pro hloubení podzemních stěn – drapák nalevo, hydrofréza napravo [TOPGEO 2014]

- Ocelové podzemní stěny:



Obr. 3.2 Zařízení pro vibrované (nalevo) a beraněné (napravo) štětové stěny [Zakládání staveb 2014]

- **Pilotové podzemní stěny:**



Obr. 3.3 Velkopřůměrová vrtná souprava [Zakládání staveb 2014]

- **Trysková injektáž:**



Obr. 3.4 Zařízení pro tryskovou injektáž [TOPGEO 2014]

- **Hloubkové míchání zeminy**



Obr. 3.5 Zařízení trencher (nalevo) a vrtný (míchací) nástroj (napravo) [Soletanche 2014]

- **Vibrační metody:**



Obr. 3.6 Hloubkový ponorný vibrátor (vibrační jehla) [Soletanche 2014]

- **Tenké těsnicí podzemní stěny**



Obr. 3.7 Vibrátor s ocelovým I profilem [Soletanche 2014]

3.2 DLE PŘÍPRAVY ORGANIZACE VÝSTAVBY

V průběhu přípravy výstavby je zapotřebí brát ohled na velké množství faktorů, které mohou proces realizace značně zpomalit, v horším případě úplně zastavit. Při dopravě nadměrného strojního vybavení je nezbytné zmapovat příjezdové komunikace, tedy zda se v daném úseku nenachází nějaký kritický bod, který by zabránil v transportu pokračovat. Realizovatelnost a ekonomiku při tvorbě podzemní stěny mohou také ovlivnit vlastnické poměry a dostupnost pozemků. Při vybírání technologie provádění je třeba zhodnotit, do jaké míry bude mít tato technologie nepříznivý vliv na své okolí.

V dnešní době rozhoduje především ekonomika. Investor si stanoví požadavky na dané dílo, které poté projektant zpracovává a vymýšlí co nejefektivnější řešení.

Statická funkce se u výstavby díla projeví téměř okamžitě, ovšem funkce těsnicí až po určité době. V posledních letech je možné sledovat řadu sanací a oprav na dílech, u kterých byla v minulosti zvolena špatná technologie těsnění či snaha ušetřit na straně investora.

3.2.1 Doprava techniky a materiálu, příprava staveniště

Nejdůležitějším bodem ohledně přípravy staveniště a příjezdových komunikací je únosnost jejich podloží. Špatně připravené zařízení staveniště, jeho nebezpečné plochy bývají velkým kamenem úrazu. Vliv nepříznivého počasí (deště, mrazy) může vyvolat při nedostatečném prozkoumání únosnosti zeminy značné komplikace a havárie, což se odráží na narůstající ceně. Je zapotřebí věnovat těmto přípravám dostatek pozornosti a snažit se předejít tak následujícím obtížím. Pokud není staveniště dostatečně únosné, musí se provést opatření, mezi které patří vybudování zpevněné pláně pomocí hutněných recyklátů a geotextilie. Strojní zařízení v oblasti budování těsnicích podzemních stěn bývá hmotnosti i přes 120 tun. Zatížení je ovšem třeba posoudit ze dvou hledisek. Projeví se zatížení, které vyvozuje stroj při své hmotnosti, ale také se musí posoudit, zda tato vyvozená síla nezpůsobí škody v okolí staveniště, např. utržením svahu, zřícením blízkých objektů (zídek), destrukcí podsklepených budov apod.

Některé technologie vyžadují prostornější technické zázemí. Potřebují plochy k umístění čistící a čerpací techniky suspenze, dále také místo pro uložení odpadní suspenze, pokud není transportována ze stavby, prostor pro odstavení strojů aj.



Obr. 3.8 Čistička suspenze včetně odpískovacího zařízení [TOPGEO 2014]

Strojní zařízení je přivázeno na stavbu pomocí podvalníků. Je předem částečně rozebráno a na staveništi sestrojeno, nebo poskládáno na podvalníku tak, aby nemělo problém jak se šířkou silnic, tak výškou mostů. Mosty výšky 4,20 m by neměly být u transportu překážkou. Pokud má stroj pásy širší, je proveden tak, aby je mohl pro převoz stáhnout a pro výstavbu naopak roztáhnout. Na stavbě se stroj již pohybuje svépomocí.

3.2.2 Nárok na prostor při realizaci podzemních stěn

Stavební technika je omezena prostorem určeným pro výstavbu podzemní stěny. Veškeré strojní vybavení je více nebo méně náročné na prostor. Podzemní stěny se začaly budovat od roku 1950. Od té doby byla zkonstruována řada strojů k budování podzemních stěn. Bylo vyvinuto mnoho typů drapáků, podkopových lžic, rotačních strojů apod. Svými rozměry a váhou mohou značně omezit požadavky na výstavbu stěn. Musí se počítat s tím, že čím bude zapotřebí provést stěnu hlubší, tím bude strojní zařízení větší.

Stavební prostor může být omezen různými faktory. Mezi tyto faktory patří stavební objekty, tedy vlastnické poměry a dostupnost pozemků, nadzemní a podzemní vedení, které se nachází v blízkém okolí stavby, a také únosností podloží pro pohyb strojů. Údaje o prostorovém uložení vedení, jeho typu a ochranných pásem jsou nezbytným podkladem pro návrh podzemních stěn. Pokud se v místě stavby nachází podzemní vedení, nelze stěnu vynechat, ale je zapotřebí provést patřičná opatření. Jedním z ukázkových případů je protipovodňová ochrana hlavního města Prahy (etapa Zbraslav – Radotín), kdy byla protipovodňová ochrana pod terénem tvořena monolitickou stěnou. V místech prostupu inženýrských sítí nebylo možné použít technologii monolitických podzemních stěn, byl zde proto zhotoven železobetonový trám, kterým sítě procházejí přes těsnou chráničku. Trám je následně podchycen tryskovou injektáží [Štěpánek, Boříková 2009].

Stavby podzemních těsnících stěn jsou často prováděny v chráněných krajinných oblastech. V takových případech je stavba pod přísným krajinářským dohledem a manipulace s technikou může být omezena například stromy (chráněnými), které se zde nachází. V takových podmínkách probíhala rekonstrukce a dotěsnění hráze vodního kanálu Nová řeka v chráněné krajinné oblasti Třeboň. Nasypaná hráz je sanována zaražením štetové stěny až do nepropustného neogenního podloží. V místech, kde nebylo možné z prostorových důvodů štetovou stěnu razit, je provedena těsnící stěna ze sloupů tryskové injektáže. Při práci se postupovalo tak, aby nedocházelo k nadměrnému poškození korun stromů, jejich kmenů a kořenového systému. Zvolená technologie izolace hráze, použitá stavební technika, další stavební zásahy a lokalizace zařízení staveniště jsou přizpůsobeny stromům rostoucím v tělese hráze i v její blízkosti, zejména pokud jde o vyhlášené památné stromy [Herold 2008].



Obr. 3.9 Dotěsnění hráze vodního kanálu Nová řeka v CHKO Třeboň [Zakládání staveb 2014]

Je zapotřebí specifikovat si prostor, který je potřebný k provedení výstavby zmiňovaných typů podzemních stěn. Ten se odvíjí především od nosiče, na kterém je zařízení upevněno. Není potřeba mít pro různou technologii provádění jiný nosič, stačí pouze vyměnit zařízení upevněné na něm. Stroj může stát vedle hloubeného prostoru, nebo také obkročmo, což je při stísněných podmínkách nutné.

Prostor je možné rozdělit do tří kategorií, které potřebují stavební stroje pro realizaci výkopu:

- Šířka prostoru ≤ 3 m – malý prostor pro výstavbu.
- Šířka prostoru > 3 m < 6 m – dostatečný prostor na výstavbu.
- Šířka prostoru ≥ 6 m – velký prostor pro výstavbu.

Nejčastější stroje pro výkop podzemní stěny hloubené, jak již bylo zmíněno, jsou drapák a hydrofréza. Tato technika patří rozměrově k největším pro výstavbu podzemních stěn obecně. Nejčastější těsnicí směsi, mezi které patří jílové a jílocementové směsi, se připravují v betonárně a jsou přiváženy na stavbu pomocí betonářských vozů, kterým musí být přizpůsobena příjezdová komunikace stejně jako vozům, které vykopaný materiál odváží ze stavby pryč. U prefabrikovaných podzemních stěn jsou výkopové práce stejné, ovšem u výstavby asistuje také jeřáb, který do vykopané rýhy osazuje předem hotové betonové prefabrikáty. Při dostatečném prostoru je možné složit materiál jako prefabrikované dílce nebo výztuže ve formě armokošem (dostatečně tuhé pro transport do rýhy) v blízkosti výkopu. Pokud není dostatek místa, jsou dováženy jedna po druhé pomocí jeřábu k rýze.



**Obr. 3.10 Skládka štětovnic u rekonstrukce hráze vodního kanálu Nová řeka
[Zakládání staveb 2014]**



Obr. 3.11 Umístění armokoše pomocí jeřábu do vyhloubené rýhy [Zakládání staveb 2014]

Převrtávané pilotové stěny budované velkopřůměrovým vrtáním můžeme řadit do kategorie velký prostor, ale i dostatečný prostor pro výstavbu (záleží na průměru vrtu a velikosti nosiče). Beraněné pilotové stěny se u nás nevyužívají, ani se nerazí za těsnicím účelem. Pokud se rozhodneme pro delší štětové stěny, bude zapotřebí větší rameno, větší nosič, tudíž také větší nárok na prostor.

Hloubkové míchání zeminy je na prostor méně náročné než předchozí zmiňované technologie, což je dáno dosažitelnou hloubkou míchacího zařízení. Dá se použít trencher a vrtné nástroje. Nejméně místa pro použití technologie potřebuje trysková injektáž.

Tab. 3.3 Shrnutí potřebného prostoru pro výstavbu podzemních stěn (clon)

TYP PODZEMNÍ STĚNY, CLONY	STAVEBNÍ STROJE (záleží na typu nosiče)		PROSTOR PRO VÝSTAVBU (m)
Podzemní stěna	Drapák	Lanový	Velký (≥ 6)
		Hydraulický	Velký (≥ 6)
	Hydrofréza		Velký (≥ 6)
Ocelová podzemní stěna	Beranidlo a vibrátor		Dostatečný ($< 3 < 6$)
			Velký (≥ 6)
Pilotová podzemní clona	Vrtná souprava (velkopřůměrová)		Dostatečný ($< 3 < 6$)
	Vrtná souprava (velkopřůměrová)		Velký (≥ 6)
Trysková injektáž	Vrtná souprava (malopřůměrová)		Malý (≤ 3)
Hloubkové míchání zeminy	Vrtný nástroj		Velký (≥ 6)
	Rypadlo (trencher)		Dostatečný ($< 3 < 6$)
Vibrační metody	Ponorný vibrátor		Velký (≥ 6)
Tenké těsnicí stěny	Vibrátor		Dostatečný ($< 3 < 6$)



**Obr. 3.12 Ukázka mechanizace pro výrobu podzemních stěn u firmy Zakládání staveb, a. s.
[Hradská, Prax 2011]**

3.2.3 Vliv stavby na okolní prostředí

Při provádění stavby je zapotřebí brát ohled na okolní prostředí, respektive na to, co všechno se v blízkosti stavby nachází. Veškeré stavební práce mají dopad na okolní prostředí. Pokud se nedaleko místa výstavby nachází například obytná zástavba, není možné použít technologie, které by zapříčinily nadměrný hluk či otřesy konstrukcí. Mezi probíranými technologiemi zde spadá beranění, neboť může vlivem otřesů způsobit škody na majetku.

Jedním z příkladů je výstavba malé vodní elektrárny Velký Osek, jejíž stavební část se nacházela v blízkosti klapkového jezu. Stavební jáma byla pažena převážně štětovou stěnou, avšak v blízkosti jezu byla provedena převrtávaná pilotová stěna, protože beraněním by mohlo dojít k poškození stávajícího pohyblivého jezu [Staněk 2012].

Mezi faktory, které mají nepříznivý vliv na okolní prostředí, můžeme zařadit hluk, prašnost, vibrace a možné znečištění podzemní vody látkami, které by mohly při stavbě uniknout.

Hluk a vibrace

Hlučnost zařízení závisí především na tom, jak starý mechanismus je používán. Provádí se studie, která určí množství hluku (celkové zatížení), který nesmí být překročen za určitý čas. Od toho se odvíjí možné použití strojů. V hlukově omezených oblastech je vhodnější volit technologie, u kterých se nepohybuje hladina hluku tak vysokou, aby byl omezen časový průběh výstavby, protože by bylo možné hloubit jen omezený čas za den.

Hydrofréza i drapák s razícím hrotem ve složitějších podmínkách způsobí větší množství hluku, než když se použije toto hloubicí zařízení v nesoudržné zemině.

Pro beranění a vibrování závisí hladina hluku a vibrací také na typu podloží. Vibrování se používá především v nesoudržných zeminách a beranění v zeminách soudržných. Proto bude jak hluk, tak vibrace u použití vysokofrekvenčních vibrátorů menší, než při nasazení těžkých beranidel.

U převrtávané pilotové stěny hladina hluku může stoupnout, pokud nebude mít mechanismus přizpůsobené vysoké otáčky na čištění zeminy, ale bude materiál vytloukat takovým způsobem, že vrtný nástroj roztočí a zastaví. Tím vznikne kovový náraz, který je z hlediska zvukové zátěže vysoký. Dosahuje výšky až 120 dB. Proto by tento mechanismus mohl provést jen několik vrtů za den.

Prašnost

Jelikož se jedná většinou o mokré procesy, prašnost lze u výroby podzemních stěn téměř vyloučit. Ani u beraněných či vibrovaných technologií není prašnost velká. Víření prachu vzniká hlavně na přístupových komunikacích během příjezdů a odjezdů vozidel.

Znečištění vody

Pokud u provádění stavby unikne betonová, jílocementová směs nebo jílocementový beton, nevzniknout v toku téměř žádné škody, které by měly nepříznivý vliv na organismy a životní prostředí, neboť to jsou téměř přírodní materiály (změní se pH). Pozor se musí dát hlavně na bentonitové směsi, protože by při úniku do vody způsobily ucpání žáber od ryb.

Veškeré stroje od drapáků, beranidel až k technice rotační jsou poháněny ropnými produkty. Míra rizika znečištění zaviněna únikem ropných látek je tedy stejně vysoká, ale u menších zařízení je objemově ropných látek méně, tudíž je při havárii přímá zátěž na okolí menší.

3.3 ČLENĚNÍ DLE SPOLEHLIVOSTI

Důležitými vlastnostmi z hlediska spolehlivosti podzemních těsnicích stěn je dodržení plánované geometrie a nepropustnost.

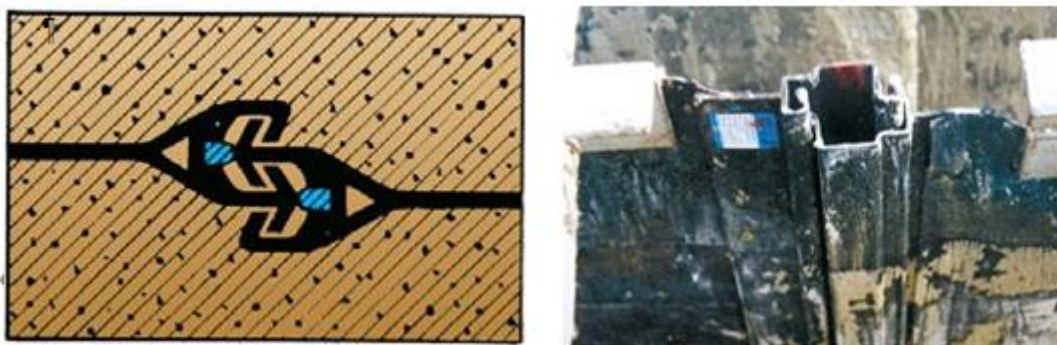
3.3.1 Dodržení geometrie

Na kvalitě, hospodárnosti a funkci injekční clony u tryskové injektáže má vliv prostorový průběh jednotlivých vrtů tohoto těsnicího prvku. Téměř u každého vrtu dochází k odchýlení od projektované osy, tj. dochází ke křivení vrtů. Jsou-li jednotlivé sousední vrty různě odkloněny a různé velikosti, mohou způsobit, že po utěsnění injekční směsí nevytvoří souvislou a nepropustnou těsnicí clonu. Toto nebezpečí vzniká především u jednořadých injekčních clon vrtaných především ve skalním podloží a u různorodosti materiálu podloží. Aby mohlo být křivení vrtu sníženo na přípustnou míru, je třeba znát příčinu odchylek způsobující křivení injekčních vrtů. Jaroslav Verfel ve své knize z roku 1974 uvádí tři příčiny, podle kterých vzniká toto zakřivení. Příčiny geologické, které jsou prakticky neovladatelné, technické příčiny, které jsou ovladatelné vhodnou volbou vrtné kolony a vrtného nástroje, a technologické příčiny, které jsou ovladatelné změnou složek parametrů vrtání během hloubení vrtu. Podobně jako u tryskové injektáže jsou na tom ostatní vrtané clony, mezi které spadají pilotové.

Aby se co nejvíce zabránilo odchýlení prvku od svislého směru, začíná se jak u hloubených stěn, beraněných a vibrovaných stěn, tak u pilotových stěn vytvořením vodící zídky. Vodící zídka udává polohu a určuje směr pro osazování prvku či zahájení výkopových prací. Stroje na provádění jsou velké a stabilní, mají vedení pomocí pažnic, což jim zaručuje, že kolmost bude do určitých hloubek dodržena. Pokud je nutné stěnu založit níže, tak se hlavními faktory pro svislost stává gravitace (velikost a váha zařízení) a rozmanitost geologického prostředí.

3.3.2 Nepropustnost a agresivita prostředí

Při návrhu těsnicích podzemních stěn musí prvky této stěny tvořit svislý celek, který je odolný proti průsakům. Obecně platí: čím bude méně spár mezi jednotlivými prvky, tím méně bude průsaků. Výstavba podzemních stěn z betonu prefabrikovaného a monolitického se provádí především tam, kde plní funkci jak těsnicí, tak nosnou. Pokud například zajišťuje stabilitu ochranné hráze nebo protipovodňové zdi, provádí se obvykle jako armovaná. Pro zabezpečení nižších průsaků stěnou se používá především jílocementová směs nebo jílocementový beton. Propustnost jílocementové směsi se pohybuje kolem $1 \cdot 10^{-9}$ m/s - $1 \cdot 10^{-10}$ m/s (daná výrobcem směsi). Pro vyšší stupeň zabezpečení proti průsaku je možné zasunout do směsi nepropustné fólie, čímž se prvek také chrání proti agresivnímu prostředí. Fólii dovnitř vkládáme pomocí prefabrikovaných panelů spojených zámky. Jedná se o svislé pásy z HDPE (obr. 3.13). Dalším opatřením pro zvýšení nepropustnosti je zvětšit tloušťku podzemní stěny.



Obr. 3.13 Těsnicí fólie spojena zámky [Zakládání staveb 2014]

Podél toků jako protipovodňové zdi se často navrhují ocelové stěny, tenké těsnicí stěny a stěny vzniklé současným promícháváním a injektováním stávající zeminy. Ocelové štětovnice propojeny vzájemně zámky tvoří dobře těsnicí podzemní stěnu. Spár vzniká více než u hloubených stěn, ovšem ty se průběžně zanesou, zatáhnou, a tak vytvoří kvalitní nepropustný prvek. Vytvořením kombinace hloubených a štětových stěn lze dosáhnout velké nepropustnosti. Nejprve se vykope rýha, vyplní se nepropustnou směsí (nejčastěji jílocementovou) a poté se do ní vetknou štětovnice. Tenké těsnicí stěny se často využívají kolem skládek odpadů, aby nedocházelo ke kontaminaci okolního prostředí.

Nejméně spolehlivé mohou být metody (není pravidlem), které nechávají v rýze původní materiál. Mezi tyto metody patří hloubkové míchání zeminy (deep soil mixing, trenchmix), vibrační metody prováděny pomocí ponorných vibrátorů a trysková injektáž. Ovšem to neznamená, že není možné dosáhnout stejné kvality jako u stěn hloubených. Riziko nastává větší, ale s tím se musí provozovatel vypořádat. Například u tryskové injektáže lze vytvořit podzemní stěnu ve více řadách, což průsak značně eliminuje. Metoda vibroflotace funguje na

principu vtlačování vhodného písčitého materiálu do nesoudržné zeminy, přičemž dochází ke zvýšení nepropustnosti podloží o jeden až dva řády.

Základním prvkem pro výrobu těsnicí směsi je bentonit a cement. Pokud chceme zajistit ochranu stěny proti agresivnímu prostředí, je třeba přidávat k hlavním přísadám chemikálie, jejichž složení a množství určují výrobci. Kromě přidávaných přísad je možné zvětšit tloušťku stěny. Pokud se tedy jedná o agresivní prostředí, použití ocelových stěn se nedoporučuje.

3.4 DLE DOSAŽITELNÉ HLOUBKY

Podzemní těsnicí stěny tvoří svislý prvek, který zabraňuje průsaku vody pod vodním dílem, přítoku vody do stavební jámy a infiltraci vody z řeky při vyšších hladinách na přilehlé území. Hloubka podzemní stěny je závislá na hloubce propustného podloží. Těsnicí prvek se pod přehradním tělesem buduje jako podzemní stěna těsnicí v přehradních místech tam, kde je skalní podklad zakryt polohou propustných štěrkopískových náplavů a mocnosti větší než 8 m (tak velké mocnosti, že by se náplav musel nejprve odstranit, než by se mohlo vybudovat klasické navázání těsnicího prvku přehradního tělesa na skalní podklad, což by bylo nákladnější a obtížnější než vybudování těsnicí podzemní stěny) [Verfel 1992].

Tab. 3.4 Ukázka dosažitelných hloubek jednotlivých těsnicích podzemních stěn

TYP PODZEMNÍ STĚNY, CLONY	MOŽNÁ HLOUBKA	
Hloubená monolitická	> 60 m	Větší hloubky ojediněle
Hloubená prefabrikovaná	14 m	Poté možné kombinace
Beraněná a vibrovaná stěna	16 m	Poté navařování
Velkopřůměrové vrtání	> 60 m	Větší hloubky ojediněle
Trysková injektáž	> 60 m	
Hloubkové míchání zeminy	10 m	Trencher
	20 m	Vrtné nástroje
Vibrační metody	> 50 m	
Tenké těsnicí stěny	20 m	

4 ZÁVĚR

Podzemní stěny mají široké spektrum využití. Využívají se ve vodním stavitelství za účelem těsnicím, ale také jako prvky pažic s využitím pro přenášení napětí do základové půdy. Velmi častá je kombinace jednotlivých účelů podzemních stěn.

Těsnicí podzemní stěny tvoří souvislý prvek, který zabraňuje průsaku vody a může při vhodné volbě materiálu zlepšit stabilitu podloží.

V práci jsem se věnoval především metodám provádění a možným materiálům pro výstavbu podzemních (především těsnicích) stěn. Nebyly zde představeny všechny existující metody, ale spíše metody dostupné v České Republice. Probírané technologie provádění byly převzaty z odkázané literatury a také od firem, které mají dlouholetou tradici a zkušenosti v oboru speciálního zakládání na českém i zahraničním trhu. Mezi tyto firmy patří především Zakládání staveb, Soletanche a TOPGEO. U firmy TOPGEO mi byla zprostředkována schůzka s technickým ředitelem panem Ing. Petrem Maláčem, který mi pomohl s doplněním a objasněním faktů k této práci.

Použití těsnicích podzemních stěn je omezeno mnoha kritérii. Mezi tyto kritéria lze zařadit:

- Geologie, která hraje hlavní roli při hloubení podzemních stěn.
- Příprava organizace výstavby, při níž se musíme ujistit o vhodnosti a únosnosti staveniště, o možném prostoru na výstavbu, zda nezpůsobí realizace stěny škody ve svém okolí.
- Spolehlivost, která je zárukou díla po jeho dokončení. Dodržení geometrie, nepropustnost a odolnost proti agresivnímu prostředí nám vytváří celek spolehlivosti.
- Možná dosažitelná hloubka stěny, která je dána technologií provádění. Je zapotřebí zjistit, do jakých hloubek sahá propustné podloží a podle toho volit možnou alternativu.

Při vybírání vhodné technologie pro stavbu podzemních stěn hraje v dnešní době hlavní roli ekonomika. Nelze se odkazovat pouze na množství a cenu materiálu, výkopové práce, ale je zapotřebí seznámit se se všemi faktory, které mohou průběh stavby prodrazit, zpomalit, či v horším případě zastavit.

Celkový přehled o možném provádění a použití podzemních těsnicích stěn je uvedeno v příloze 1 – Použití podzemních stěn ve vodním stavitelství.

5 POUŽITÁ LITERATURA

- ARCELOMITTAL 2014. [online]. [cit. 2014-02-26]. Dostupné z: <http://sheetpiling.arcelormittal.com/page/index/name/usections>.
- BAŽANT, Z. 1966. *Problémy zakládání staveb*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 312 s. ISBN 21-090-66.
- BAŽANT, Z. 1981. *Zakládání staveb*. Vyd. 3, přeprac. Praha: STNL - Nakladatelství technické literatury, 368 s. ISBN 04-721-81.
- BRÁDOVKA, J. 2003. *Rekonstrukce a dotěsnění hráze vodního kanálu Nová řeka v chráněné krajinné oblasti Třeboň*. Zakládání (Časopis Zakládání staveb, a. s.) 2/2003, ročník XV. str. 30-33.
- DEEP EXCAVATION LLC, 2014. *Slurry Walls - Diaphragm Walls for Deep Excavations and Earth Retention - Deep Excavation*. [online]. [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.deepexcavation.com/en/diaphragm-walls-slurry-walls>.
- DROCHYTKA, R., JANDORA, J., MIČA, L., HOŠKOVÁ, L. 2012. *Technologie sanace sypaných hrází*. Výzkumná zpráva o řešení dílčí části projektu MPO FR-TI4/335. Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Veverí 95, 602 00 Brno, 2012.
- GEOSTAV 2014. [online]. [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.geostav.cz/cz/kategorie/hlubinne-zakladani-staveb.aspx>.
- HAUSER, J. 2008. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Brno. Vydal Institut Franka Dysona – realitní vysoká škola. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia.
- HEROLD, P. 2008. *Rekonstrukce a dotěsnění hráze vodního kanálu Nová řeka v chráněné krajinné oblasti Třeboň*. Zakládání (Časopis Zakládání staveb, a. s.) 4/2007, ročník XIX. str. 31-33.
- HOBST, L., HOBST, O., KLABLENA, P., VERFEL, J. 1984. *Technologie sypaných hrází*. Brno: STNL – Nakladatelství technické literatury, 360 s. ISBN 04-719-84.
- HRADSKÁ, A., PRAX, P. 2011. *Retenční nádrž Jeneweinova v Brně*. Zakládání (Časopis Zakládání staveb, a. s.) 4/2011, ročník XXIII. str. 14-17.
- CHARAMZA, J. 2010. *Zajištění stavební jámy pro MVE v Berouně*. Zakládání (Časopis Zakládání staveb, a. s.) 3/2010, ročník XXII. str. 31-33.
- KELLER 2014. [online]. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: <http://www.kellergrundbau.cz/technologie.aspx>.
- LUKÁČ, M., BEDNÁROVÁ, E. 2001. *Nádrže a priehrady: Navrhovanie a prevádzka*. Bratislava: Tlač Vydavateľstvo STU, 330 s. ISBN 80-227-1518-2.
- MASOPUST, J. 2004. *Speciální zakládání staveb*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 141 s. ISBN 80-214-2770-1.

MASOPUST, J. a kolektiv 2011. *Rizika prací speciálního zakládání staveb*. 1. vyd. Praha: Pro Asociaci dodavatelů speciálního zakládání staveb a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 136 s. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-10-7.

ŘIČICA, J. 2012. *Technologické vlivy ve speciálním zakládání staveb*. Zakládání (Časopis Zakládání staveb, a. s.) 1/2012, ročník XXIV. str. 6-10.

ŘÍHA, J. 2010. *Ochranné hráze na vodních tocích*. GRADA. 223 s. ISBN 978-80-247-3570-2.

SOLETNICHE 2014. [online]. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: http://www.soletanche.cz/upload/04SOL-Info-Prefabrikovane_a_kombinovane_podzemni_steny.pdf.

STANĚK, K. 2012. *Návrh zajištění stavební jámy malé vodní elektrárny Velký Osek*. Zakládání (Časopis Zakládání staveb, a. s.) 3/2012, ročník XXIV. str. 20-22.

SVOBODA, P. 2009. *Technologie protipovodňových podzemních těsnících clon*. Inženýrské stavby. [online]. [cit. 2014-03-01]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/geotechnika/technologie-protipovodnovych-podzemnich-tesnicich-clon>.

ŠTĚPÁNEK, J., BOŘÍKOVÁ, K. 2009. *Protipovodňová ochrana hlavního města Prahy, etapa 0006 Zbraslav – Radotín*. Zakládání (Časopis Zakládání staveb, a. s.) 2/2009, ročník XXI. str. 28-33.

TECHNOLOGIE PROTIPOVODŇOVÝCH PODZEMNÍCH TĚSNÍCÍCH CLON 2014. [online]. [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/geotechnika/technologie-protipovodnovych-podzemnich-tesnicich-clon>.

TOPGEO 2014. [online]. [cit. 2014-03-14]. Dostupné z: <http://www.topgeo.cz/cs/zakladani-staveb-a-specialni-zakladani-staveb/podzemni-steny>.

TECHNOLOGIE.FSV.CVUT 2014. [online]. [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz>.

VERFEL, J., TKANÝ, Z. 1974. *Těsnění základových púd*. Praha: STNL – Nakladatelství Technické literatury, 320 s. ISBN 04-709-74.

VERFEL, J. 1983. *Injektování hornin a výstavba podzemních stěn*. Praha. STNL – Nakladatelství Technické literatury, 408 s. ISBN 04-723-83.

VERFEL, J. 1992. *Injektování hornin a výstavba podzemních stěn*. Vyd. 2., přeprac. Bratislava: Bradlo, 511 s., 16 s. příl. ISBN 80-712-7043-1.

VOTRUBA, L. 1969. *Těsnění sypaných přehrad (Těsnění umělými materiály)*. České vysoké učení technické v Praze, 178 s. ISBN 60-968-69.

ZAKLÁDÁNÍ STAVEB 2014. [online]. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: <http://www.zakladani.cz/cz/podzemni-steny>.

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Možné použití podzemních stěn (clon) a strojů pro různé druhy podloží	45
Tab. 3.2 Ukázka typů stavebních strojů pro vybrané společnosti	46
Tab. 3.3 Shrnutí potřebného prostoru pro výstavbu podzemních stěn (clon)	53
Tab. 3.4 Ukázka dosažitelných hloubek jednotlivých těsnících podzemních stěn	57

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Ukázka možných kombinací podzemních stěn [Soletanche 2014].....	14
Obr. 2.2 Vybudování dodatečného svislého těsnícího prvku [Říha 2010].....	15
Obr. 2.3 Zhotovování tenké těsnící stěny [Soletanche 2014]	16
Obr. 2.4 Pažení nátoku a výtoku MVE Čelákovice pomocí štětových stěn [Zakládání staveb 2014].....	17
Obr. 2.5 Kotvená pilotová stěna po odkopání [Technologie.fsv.cvut 2014]	18
Obr. 2. 6 Konstrukční podzemní stěny pažící stavební jámu, obchodní centrum Myslbek, Praha [Zakládání staveb 2014]	18
Obr. 2.7 Hloubení lamel jednozáběrových (vlevo) a trojzáběrových (vpravo) [Soletanche 2014].....	20
Obr. 2.8 Schéma postupu monolitických betonových stěn [Soletanche 2014].....	21
Obr. 2.9 Osazování panelu prefabrikované stěny do rýhy a vyhotovená stěna (kotvená) [Zakládání staveb 2014]	22
Obr. 2.10 Těsnění prefabrikovaných dílců [Soletanche 2014].....	23
Obr. 2.11 Štětovnice tvaru Z (vlevo), štětovnice tvaru U (vpravo) [ArcelorMittal 2014]	24
Obr. 2.12 Plochá štětovnice [ArcelorMittal 2014]	24
Obr. 2.13 Osazení beraněné ocelové stěny	25
Obr. 2.14 Evropská klasifikace pilot [Masopust 2004].....	26
Obr. 2.15 Technologický postup provádění vrtané piloty pažené pažnicí [Zakládání staveb 2014].....	27
Obr. 2.16 Ukázka primárních (1b) a sekundárních (1c) převrtávaných pilot [Zakládání staveb 2014].....	28
Obr. 2.17 Vodicí šablony [TOPGEO 2014]	29
Obr. 2.18 Použití Jet Grouting technologie na přehradě Mostišť [Aquatis Brno]	31
Obr. 2.19 Technologie tryskové injektáže metodou M1 a M2 [Zakládání staveb 2014].....	32
Obr. 2.20 Metoda DOUBLEJET [Soletanche 2014].....	32
Obr. 2.21 Jednosměrná trysková injektáž [Soletanche 2014]	33
Obr. 2.22 Metoda TRENCHMIX.....	34
Obr. 2.23 Zařízení trencher při realizaci podzemní stěny	35
Obr. 2.24 Souprava COLMIX využívaná firmou Soletanche pro metodu Deep Soil Mixing [Soletanche 2014].....	36
Obr. 2.25 Hloubkové zhutňování zeminy [Soletanche 2014]	37
Obr. 2.26 Jílocementová stěna [Soletanche 2014]	40

Obr. 3.1 Ukázka zařízení pro hloubení podzemních stěn – drapák nalevo, hydrofréza napravo [TOPGEO 2014]	46
Obr. 3.2 Zařízení pro vibrované (nalevo) a beraněné (napravo) štětové stěny [Zakládání staveb 2014].....	46
Obr. 3.3 Velkopřůměrová vrtná souprava [Zakládání staveb 2014]	47
Obr. 3.4 Zařízení pro tryskovou injektáž [TOPGEO 2014]	47
Obr. 3.5 Zařízení trencher (nalevo) a vrtný(míchací) nástroj (napravo) [Soletanche 2014]....	47
Obr. 3.6 Hloubkový ponorný vibrátor (vibrační jehla) [Soletanche 2014]	48
Obr. 3.7 Vibrátor s ocelovým I profilem [Soletanche 2014]	48
Obr. 3.8 Čistička suspenze včetně odpískovacího zařízení [TOPGEO 2014]	49
Obr. 3.9 Dotěsnění hráze vodního kanálu Nová řeka v CHKO Třeboň [Zakládání staveb 2014].....	51
Obr. 3.10 Skládka štětovnic u rekonstrukce hráze vodního kanálu Nová řeka [Zakládání staveb 2014]	52
Obr. 3.11 Umístění armokošem pomocí jeřábu do vyhloubené rýhy [Zakládání staveb 2014]	52
Obr. 3.12 Ukázka mechanizace pro výrobu podzemních stěn u firmy Zakládání staveb, a. s. [Hradská, Prax 2011].....	53
Obr. 3.13 Těsnící fólie spojena zámkou [Zakládání staveb 2014]	56

SEZNAM PŘÍLOH

1. Použití podzemních stěn ve vodním stavitelství