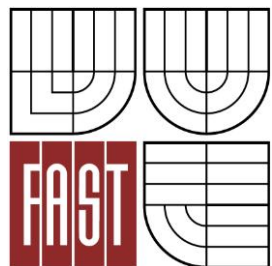




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

ZAJIŠTĚNÍ STAVEBNÍ JÁMY PRO VÝSTAVBU MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY VE ŠTĚTÍ

SECURING OF FOUNDATION PIT FOR CONSTRUCTION OF POWER STATION IN ŠTĚTÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

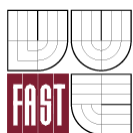
RADEK HOLBA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VĚRA GLISNÍKOVÁ, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav geotechniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Radek Holba

Název Zajištění stavební jámy pro výstavbu malé
vodní elektrárny ve Štětí

Vedoucí bakalářské práce Ing. Věra Glisníková, CSc.

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2012

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

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

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

Podklady a literatura

Podklady budou studentovi předávány průběžně.

Literatura:

- [1] Masopust, J.: Speciální zakládání staveb - 1. díl, Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o. Brno, 2004, 141 s.
- [2] Masopust, J.: Speciální zakládání - 2. díl, Akademické nakladatelství Herm, s.r.o. Brno, 2006, 150 s.
- [3] Macnab, A.: Earth retention systems, McGraw-Hill, USA 2002, 531 s.
- [4] Prakash, S.: Pile Foundations in Engineering Practice, J.Wiley et Sons, USA, 1990, 734 s.

Zásady pro vypracování

Předmětem bakalářské práce je navrhnout zajištění stavební jámy pro výstavbu malé vodní elektrárny ve Štětí. Úkolem bakalářské práce je pro zvolenou alternativu zpracovat statické posouzení instalované konstrukce a vypracovat optimální technologický postup provádění.

Předepsané přílohy

.....

Ing. Věra Glisníková, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Práce je zaměřena na zajišťování hlubokých stavebních jam. V první části jsou zmíněny možné způsoby zajištění a jejich výhody i nevýhody. Následuje statické posouzení paží podzemní železobetonové stěny v programu Plaxis 2D. Nakonec je zpracován technologický postup provádění této konstrukce.

Klíčová slova

pažící konstrukce, podzemní stěna, lamela, pažící suspenze

Abstract

Bachelor's thesis is about securing of deep foundation pit. In first part there are explained types of securing, their advantages and disadvantages. In second part there is static appraisal of diaphragm wall in software program Plaxis 2D. In the end of this thesis there is technological process of building this diaphragm wall.

Keywords

secure construction, diaphragm wall, slat, secure suspension

Bibliografická citace VŠKP

HOLBA, Radek. *Zajištění stavební jámy pro výstavbu malé vodní elektrárny ve Štětí*. Brno, 2013. 42 s., 42 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce Ing. Věra Glisníková, CSc.

Prohlášení:

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

V Brně dne 22. 5. 2013

.....
podpis autora

Poděkování :

Děkuji mé vedoucí Ing. Věře Glisníkové, CSc. za rady a připomínky při zpracovávání práce. Hlavně chci poděkovat zaměstnancům společností Zakládání staveb, Zakládání Group a FG Consult za poskytnuté podklady a rady při mém působení na stavbě. A také paní RNDr. Jitce Dvořákové za poskytnutí výsledků inženýrskogeologického průzkumu.

OBSAH

1. ÚVOD.....	9
2. ZPŮSOBY ZAJIŠTĚNÍ HLUBOKÝCH STAVEBNÍCH JAM.....	10
2.1. Záporové pažení.....	10
2.2. Mikrozáporové pažení.....	11
2.3. Štětové stěny	12
2.4. Pilotové stěny	14
2.4.1. Stěna s velkou osovou vzdáleností.....	14
2.4.2. Tangenciální.....	15
2.4.3. Převrtávané.....	16
2.5. Podzemní stěny.....	17
3. PRAKTICKÁ APLIKACE	20
3.1. Charakteristika stavby.....	20
3.2. Geologické a hydrogeologické poměry.....	21
3.3. Zvolená technologie provádění.....	24
3.4. Posouzení podzemní stěny v nejhlubší části.....	25
3.4.1. Vstupní hodnoty.....	26
3.4.2. Geometrie konstrukce.....	27
3.4.3. Statický model.....	28
3.4.4. Dosažené hodnoty.....	29
3.5. Technologický postup provádění.....	32
3.5.1. Pracovní plochy.....	32
3.5.2. Mechanizace.....	32
3.5.3. Vodící zídky	33
3.5.4. Těžba rýhy	34
3.5.5. Příprava před betonáží	35
3.5.6. Armokoš.....	36
3.5.7. Betonáž.....	37
3.5.8. Úprava líce.....	38
4. ZÁVĚR.....	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	40
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK.....	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	42

1. ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá problematikou zajištění stěn hlubokých stavebních jam. V dnešní době je to aktuální téma, protože staveb na volných prostranstvích ubývá a většinou se staví v prolukách a volných místech ve městech. Budovy mívají často více podzemních podlaží a vznikají tak hluboké jámy, které je potřeba zabezpečit. Omezení stavebního prostoru neumožňuje vysvahování stěn a musí se tedy řešit zajištění pomocí pažících konstrukcí.

V první části, teoretické, jsou popsány možné způsoby zabezpečení. Jejich využití, výhody, ale také omezení, která přináší technické řešení nebo technologie výstavby. Způsobů zajištění je mnoho a pro každý druh stavby je možno použít jiný typ, často se s výhodou uplatňuje jejich kombinace.

Praktická část je zaměřena na konkrétní zajištění 17,5 m hluboké stavební jámy pomocí železobetonové podzemní stěny. Ta se nachází na stavbě malé vodní elektrárny ve Štětí. V práci je vysvětlen důvod navržení právě podzemní stěny pro tuto stavbu. Dále je proveden statický výpočet pro nejhlubší část. V závěru bakalářské práce je zpracován optimální technologický postup pro náročné geologické a hydrologické poměry této stavby.

2. ZPŮSOBY ZAJIŠTĚNÍ HLUBOKÝCH STAVEBNÍCH JAM

2.1. Záporové pažení

Bývá označováno také jako Berlínské. Skládá se ze svislých zápor, mezi které se vkládají pažiny. Statické zajištění je možné pomocí vetknutí zápor do podloží. Častěji se však provádí zajištění pomocí horninových kotev nebo rozpěr přes ocelové převázky z válcovaných profilů.

Zápory jsou ocelové I-profil, využívány jsou také HEB nebo svařence z U-profilů. Parametry prvků jsou závislé na hloubce výkopu a také zatížení působícím na stěnu. Nejčastěji se výška profilu pohybuje v rozmezí 200 - 400 mm. Délka prvků je 12 m (omezení při dopravě), v případě potřeby větší délky se spojují svařováním a přeplátováním plechem. Osazují se do předvrtaných vrtů. Ty se provádí průměru 500 - 900 mm, pomocí rotačně náběhového vrtání jako je tomu u piloty. Ve vhodných zeminách, těmi jsou jemnozrnné a bez větších kamenů, lze zápor do zeminy vibrovat či beranit. V tom případě je třeba si uvědomit vznikající otřesy při provádění a zvolit vhodný mechanismus. Pata záporu musí zasahovat až pod úroveň dna výkopu, aby nedošlo ke zhroucení. Po vložení záporu do vrtu se výškově a polohově zajistí a provede se zásyp. Ten je v části kořene, pod úrovní budoucího dna z betonu nižší pevnosti. Volná část záporu až po úroveň terénu se zasype vhodným sypkým materiálem, například vývrtkem. V případě, že je v blízkosti stěny například silnice nebo jiné přetížení je možné celou délku vrtu vyplnit betonem. Osová vzdálenost zápor bývá kolem 2 m a záleží na statickém výpočtu.

Pažiny jsou vodorovné prvky umísťující se mezi zápor. Nejčastěji jsou dřevěné z hraněného řeziva, případně kulatiny. Poté se označují jako výdřeva. Jejich tloušťka nebo průměr bývá 100 mm. Možné je použít také ocelové pažiny. Při prvotním odkopání stěny se pažiny zasunou zvrchu a opírají se o přírubu zápor. Při těžbě na další úroveň se pažiny vkládají do vzniklé mezery. Hloubka odkopu může být maximálně 2 m. V případě písčitých nebo nestabilních zemin se tento krok snižuje na 0,5 – 1,2 m. Osazené pažiny se klínují a prostor mezi pažinou a rostlým terénem je potřeba vyplnit nesoudržným materiálem a ztuhnout v rámci možností. Tento postup je velmi fyzicky náročný, ale pro správnou funkci pažení je nezbytný. V opačném případě dochází k sedání terénu, což je nežádoucí. Při požadavku na rovný povrch je nanášena vrstva stříkaného betonu.

Převázky a kotvy zajišťují stabilitu stěny. Převázky jsou z dvojice ocelových válcovaných profilů I, U, HEB. Ty jsou vzájemně spojeny přivařenou pásovinou. Převázky se osazují na kozlíky, což jsou úpalky z plechů. Ty slouží k tomu, aby byla osazena ve

stejném sklonu, jako je prováděna kotva. Převázka může být osazena na líci stěny nebo zapuštěná mezi zápory. Tím dojde k uvolnění stavebního prostoru uvnitř jámy. Převázky se osazují až po vyvrtání a osazení kotev. Kotvy bývají předpínané pramencové. Jsou tvořeny ocelovými lany různých délek. Po osazení se injektují a po dozrání napínají. Napínací síla se přenáší přes hlavu kotvy a podkladní desku na převázku, která tak drží celou stěnu. Převázka zasahuje přes 2 zápory, může to být ale i více. V tomto případě je to převázka průběžná. V případě užších jam, tam kde nejde provést kotvy nebo v rozích se k zajištění používají rozpěry. Jsou to ocelové trouby nebo dvojice válcovaných profilů, které rozepírají stěny jámy.

Záporové pažení je nejčastější typ prováděného dočasného pažení. Po provedení stavby v jámě lze kotvy upálit a převázky demontovat. To se provádí až postupně se zpětným zásypem výkopu. Pažiny v zemině zůstávají, ale zápory lze vytáhnout pomocí vibračního beranidla. Pažící konstrukce může ale také zůstat v zemi v případě, že na stěny byla přichycena izolace. Velkou nevýhodou záporového pažení je to, že není vodotěsné. Nelze ho tedy používat pro zajištění jam s vysokou úrovní hladiny podzemní vody. Pro zajištění jam ve vodním stavitelství je úplně nepoužitelné.



Obr. 2-1: Realizace záporového pažení při postupujícím výkopu (foto:autor)

2.2. Mikrozáporové pažení

Je obdoba klasického záporového pažení. Princip fungování je prakticky stejný, ale mikrozáporové pažení má všechny prvky menších průřezů. Rozdíl je v provedení pažících prvků, jak je vysvětleno níže.

Zápory jsou prováděny také z válcovaných profilů I nebo HEB ale menších rozměrů. Častěji se však používají silnostěnné trubky. Ty jsou v typech $\varnothing 70/12$, $\varnothing 108/16$ nebo jiné. Vrt pro záporu je do průměru 300 mm. Provádí se maloprofilovými vrtačkami různými technologiemi vrtání. Po vložení záporu do vrtu se zajistí proti pohybu a celý vrt se vyplní cementovou zálivkou. Osová vzdálenost jednotlivých zápor je okolo 0,5 m.

Pažiny se používají jen výjimečně. U mikrozápor tvoří výplň mezi jednotlivými záporami výztužná Karisíť spolu se stříkaným betonem. Síť se navažuje na záporu a tvoří tak výztužný a nosný prvek pro betonový nástřík. Ten je možné provádět i ve více vrstvách. Při požadavku na připevnění izolace na stěnu pažení je možné vytvořit i dokonale rovný povrch.

Převázky a kotvy nelze zapustit do stěny a jsou vždy umístěny v líci. Převázky lze použít stejné jako u záporového pažení. Díky zmenšené osově vzdálenosti, ale mohou být použity menší rozměry. Mohou být také nahrazeny štetovnicemi, které jsou umístěny vodorovně. Zajišťují buď dvojici zápor nebo celou řadu. Provádění kotev nebo rozpěr je obdobné jako u záporového pažení.

Jak už název napovídá tato technologie je vhodná zejména do stísněných prostor. Výhodně se používá při zajištění jam v malých prolukách, kde je kladen důraz na využití budoucího prostoru. Tyto konstrukce jsou totiž štíhlé. Nevýhodou je, že se s nimi nedá počítat jako s nosným prvkem stavby a fungují jako čistě pažící, ikdyž jsou v konstrukci trvale. Bývá také prováděno v kombinaci s tryskovou injektáží, která zvyšuje tuhost konstrukce. Ke zvýšení tuhosti slouží také hlavový trám, který se provádí v úrovni hlav zápor. Díky provádění vrtů maloprofilovými vrtačkami je možné provádět tyto práce pod nadzemními stavbami (el. vedení, mosty,...), kde se velkoprofilové vrtačky díky svým rozměrům nedají použít.



Obr. 2-2: Výztuž a betonáž hlavového trámu mikrozápor (foto:autor)

2.3. Štětové stěny

Používají se pro vodotěsné zajištění stavební jámy. Tedy v případech, že hladina podzemní vody je nad úrovní dna výkopu a vždy na stavbách se stykem s vodní plochou. Pokud je stěna po obvodu vodotěsně uzavřena jedná se o jímku. Jímka může být nasazená nebo vetknutá. V prvním případě je opřena o tvrdé podloží a její statické zajištění je komplikovanější. Vetknutá jímka je zavedena až do tvrdého podloží a její prostorová tuhost je větší.

Stěny se provádí z ocelových prvků nazývajících se štětovnice, nejčastěji typu Larsen. Jejich délka je 12 m, někdy i více. Vzájemně se spojují pomocí profilovaných zámků, které jsou na obou okrajích každého prvku. Do zeminy se vhánějí pomocí vibrování, tak že vibroberanidlo kmitá se štětovnicí a ta vlastní váhou klesá. Druhým způsobem je beranění, kdy na hlavu štětovnice svisle naráží beran a zatluče ji do zeminy. Tento způsob se využívá při zarážení prvku do tuhého podloží, kde vibrování nemá požadovaný účinek. Beranidlo je zavěšeno na jeřábu nebo je osazeno na upravené vrtné soupravě. Při provádění je potřeba stále sledovat svislost a rychlost vnikání štětovnice do zeminy. Při zastavení klesání se postup ukončí, jinak může dojít k poškození (spálení) zámků nebo deformaci paty štětovnice. Statické zajištění je pomocí ocelových převázek a kotev nebo rozpěr.



Obr. 2-3: Štětová stěna ve styku s řekou (foto:autor)

Hlavní výhodou štětových stěn je jejich vodotěsnost. Ta ale není vždy dokonalá, jak si může někdo chybně myslet. Proto je nutné nezapomenout na vyřešení čerpání v jámě. Jsou vhodné do sybkých a písčitých zemín. Tam by bylo provádění záporového pažení složitější z důvodu provádění výdřevy v malých výškových krocích. Také by hrozilo sesunutí většího množství zeminy za rubem pažení během těžení výkopu. Provádění v tvrdých zeminách je složitější, ne však nemožné. Je možné provést předvrty, které se

vyplní jílocementem nebo jinou vhodnou výplní. Po zavadnutí směsi se realizuje samotná štětová stěna. Nevýhodou je způsob provádění, kdy okolo zarážené štětovnice vznikají vibrace, které mohou negativně ovlivňovat okolní zástavbu. Na druhou stranu lze toto vnímat i jako jistou výhodu. Po dokončení výstavby je možné štětovnice pomocí vibrace vytáhnout a v případě nepoškození znovu použít.

2.4. Pilotové stěny

Jsou vytvořeny z jednotlivých pilot. Díky své tuhosti a dalším přednostem se často používají kromě pažení i jako prvek konstrukce realizované stavby. Jejich funkce je tedy trvalá. Podle osové vzdálenosti mezi jednotlivými pilotami rozlišujeme 3 druhy pilotových stěn. Jsou to stěny s velkou osovou vzdáleností, tangenciální a stěny převrtávané. Teď něco o jednotlivých typech.

2.4.1. Stěna s velkou osovou vzdáleností

Jsou z pilotových stěn jediné, které pro svou pažící funkci potřebují další úpravy. Mezi jednotlivými pilotami totiž vzniká volný prostor. Při postupující těžbě je nutno tuto mezeru průběžně zajišťovat. To nejen že zpomaluje postup těžení, ale také zvyšuje pracnost vytváření. Po odkopání jednotlivé etáže výšky kolem 2 m se stěna výkopu zarovná a provede se opatření proti vodě za budoucím lícem osazením drenáže. Poté se k pilotám pomocí ocelových trnů připevní Karisít' a provede se nástřik stříkaným betonem. Ten je možné provést opakovaně. Úpravu povrchu stěny je možné provést dvojím způsobem. Buď se při těžbě nezasahuje do prostoru mezi pilotami a piloty jsou tedy v líci výkopu. Po zastříkání betonem vzniká dokonale rovný povrch, na který je možné upevňovat izolaci stavby. Mnohdy laik ani nepozná, že se jedná o pilotovou stěnu. Nebo se při těžbě zasáhne mezi piloty. Tady je poté líc stříkaného betonu přibližně v úrovni os pilot. Vzniká stěna se zajímavým členitým povrchem, který bývá k vidění například u opěrných zdí. Nevýhodou stěny s velkou osovou vzdáleností je to, že není vodotěsná. Dokáže ale účinně odvádět vodu za jejím rubem pokud je kvalitně provedena drenáž. Pro zvýšení tuhosti bývají hlavy pilot svázaný železobetonovým hlavovým trámem. Přes tento trám je možné také stěnu kotvit pomocí předpínaných pramencových kotev. Jak už bylo naznačeno stěny se kotví nejčastěji přes železobetonové trámy, které trvale zůstávají v konstrukci. Těch může být po výšce stěny i několik, to záleží na její výšce a působícím zatížení. Je možné provést také klasickou ocelovou převážku, která se nakonec demontuje. Pokud z nějakého důvodu není žádoucí kotvit stěnu pomocí převázek, provede se kotvení každé piloty zvlášť pomocí kotvy s roznášecí deskou pod její hlavou.

V tomto případě je potřeba upravit rozteč mezi svislými pruty armokošů pilot, aby při vrtání kotev nedošlo k jejich poškození.



Obr. 2-4: Vrtání horninových kotev do stěny s velkou osovou vzdáleností (foto:autor)

2.4.2. Tangenciální

Tyto stěny není k vidění tak často jako další 2 typy. Je tvořena samostatně stojícími pilotami, které se vzájemně dotýkají svými boky. Navrhuje se v případech, kdy je zatížení tak velké, že není možné provést předchozí typ stěny. Zároveň by ale bylo provedení převrtávané stěny neekonomické a zbytečně pracné. Stěna není vhodná do prostředí ovlivňovaného vodou. Provedení drenáže za rubem zdi je prakticky nemožné. Současně jsou ale mezi pilotami mezery, přes které má voda možnost protékat. Toto lze zabezpečit pomocí drenáže uložené mezi piloty a nanesením stříkaného betonu. Díky menší osově vzdálenosti je potřeba více drenážního vedení, což samozřejmě zvyšuje pracnost a cenu konstrukce. Kotvení je obdobné jako u předchozího typu stěny.



Obr. 2-5: Tangenciální stěna kotvená přes průběžné ŽB trámy (foto:autor)

2.4.3. Převrtávané

Jsou vhodná zejména jako vodotěsná konstrukce. Výhodně se používají tam, kde není možné použít podzemní stěny, kvůli jejich hloubení pod pažící suspenzí a také z prostorových důvodů. Sestávají se z primárních a sekundárních pilot, mezi pracovníky označovány také jako jalové a košové. Primární piloty se realizují jako první v předstihu před sekundárními. Zmíněný předstih je 1-2 dny kvůli dostatečnému zatuhnutí betonu. Jsou nevyztuženy armokoši a nemusí dosahovat až do projektované hloubky, protože nejsou nosné. Sekundární piloty se vrtají mezi primárními a jsou vyztuženy. Osová vzdálenost sousedních pilot je menší než jejich průměr, dochází tedy k odvrtávání části primárních pilot. Tento krok zajišťuje právě požadovanou vodotěsnost a vzájemné spolupůsobení. Stěna se provádí tak, že se vyvrtá určitý počet primárních pilot. Poté se mezi ně vrtají sekundární. Pro přesné zajištění polohy se piloty vrtají mezi vodící zídky nebo do šablony z betonu vyztuženého karisítí. Ta je vytvořena pomocí půlkruhového bednění s vůlí asi 2 cm na každé straně od pažnice. Musí se dbát na svislost vrtání. V opačném případě nedojde k dokonalému spolupůsobení mezi jednotlivými pilotami a je zde možnost pro průnik vody. Ve srovnání se stěnou s velkou osovou vzdáleností je provádění pracnější a klade vyšší nároky na dodržování technologické kázně. Při těžení jámy už ale kromě kotvení nevyžaduje žádné zásahy ani úpravy. Kotvení se provádí opět pomocí železobetonových trámů, někdy přes ocelové převázky. Provádí se také kotvení přímo přes piloty. K tomu se využívají piloty primární, které nejsou vyztuženy a nekomplikují tím vrtání kotev. Jak už bylo řečeno velkou výhodou této stěny je její vodotěsnost. Nevýhodou je její vyšší pracnost a delší doba realizace. Jejich povrch může zůstat bez úpravy nebo se opatřují stříkaným betonem.

Pilotové stěny se provádí metodou rotačně náběhového vrtání. Jako vrtný nástroj se používá v tuhých zeminách spirál, označovány také jako šnek. Pro zvodnělé a velmi sypké zeminy se používá šapa, neboli hrnec. To je válcová nádoba s pohyblivým dnem opatřeným břitem, častěji však zuby z tvrdokovu. Pro velmi tvrdé až skalnaté horniny lze použít jádrovací vrták. Pilotové stěny se realizují nejčastěji z pilot průměru 900 mm. Mimo jiné také proto, že pažící betonová konstrukce je vodotěsná od tloušťky 800 mm. Dosahované hloubky jsou i 40 m. Při větších hloubkách je už ale složitější udržet svislost vrtu. Je také potřeba používat výkonnější vrtné soupravy, které jsou schopny zajistit pohyb pažící kolony. Pro pažení vrtů se používá ocelových pažnic. Ty se spojují speciálními šrouby. Je možné použít také jílové suspenze. Při jejím použití je ale postup komplikovanější a také ne tak pohodlný pro pracovníky. Piloty se betonují pomocí spojovatelných betonovacích rour. Roury se umísťují do středu vrtu. V případě vrtu bez vody stačí jen násypka, která usměrňuje dávkovaný beton tak, aby nenarážel na výztuž.

Pokud je přítomna voda nebo se pažilo jílovou suspenzí je nutné roury prodloužit až na dno. Poté beton odspodu vytlačuje vodu. Při betonáži musí být roury stále ponořené minimálně 2 m v čerstvém betonu a průběžně se zkracují. Pro betonáž pilot se používá beton třídy C16/20 až C30/37. Stupeň konzistence S 4. Je možné také provést piloty jako utopené. To znamená že úroveň hlavy piloty je níže než je úroveň stávajícího terénu. Do čerstvé betonové směsi je zasunuta ocelová zápora a vzniká tak kombinace pilotové stěny a záporového pažení. Kdy spodní více namáhanou část tvoří stěna a horní část je tvořena klasickým záporovým pažením.



Obr. 2-6: Převrtávaná stěna s ocelovými a železobetonovými převážkami (foto:autor)

2.5. Podzemní stěny

Nazývány také jako Milánské. Rozdělují se podle funkce na konstrukční, těsnící a pažící. Jelikož je práce zaměřena na pažení stavebních jam bude dále pojednáváno o podzemních stěnách pažících. Ty mají za úkol především zajistit stabilitu stěn výkopu. Použití jenom pro pažení je ale ekonomicky nevýhodné. Stěny mají také velkou tuhost a proto se ve většině případů kromě pažení později používají i jako součást konstrukčního systému realizované stavby. K hloubení stěn se používají drapáky zavěšené na pásových jeřábech. Je možné použít lanový nebo hydraulický drapák. Tyto mechanismy jsou schopny těžit v měkkých až tvrdých zeminách. Do tvrdých zemin se používají hydrofrézy. Stěny se provádí v tloušťkách 400 – 1200 mm. Dosahované hloubky bývají do 30 m. Je možné provádět i hlubší stěny. Zde už je komplikace s udržení svislosti stěny a při použití drapáku je těžení časově náročné. Stěny se po délce skládají s jednotlivých lamel. Jejich délka je až okolo 7 m. Ty jsou prováděny jako třízáběrové. To znamená, že hloubící

mechanismus má šířku do 3 m. Nejprve se vytěží krajní záběry lamely a nakonec se posledním, třetím záběrem, těží zemina mezi nimi. Výztuž lamel tvoří ocelové armokoše, kvůli svým velkým rozměrům sestavované většinou až na stavbě. Ty se do lamely přesně osadí a zajistí se jejich prostorová poloha. Betonáž probíhá přes betonářské roury zasunuté středem až na dno rýhy. V průběhu betonáže se roury zkracují jako je tomu u betonáže pilot, vždy tedy musí být alespoň 2 m v čerstvém betonu. Zároveň se čerpá pažící suspenze, označována také jako šmant. Jako pažící suspenze se používá jílocementových, nejčastěji bentonitových látek. Během těžby a před betonáží je potřeba kontrolovat její vlastnosti. K betonáži se používají betony vyšších pevností s vysokým stupněm konzistence pro bezproblémové obtečení výztuže. Vzájemné napojení lamel je zajištěno díky ocelovým pažnicím. Mají kruhový nebo profilovaný průřez. K zajištění vodotěsnosti stěny se do profilované pažnice zasouvá gumový pásek, tzv. waterstop. Proti pozdějším případným problémům s vodou prosakující přes zámky je ještě možné do spoje osadit injekční trubku. Výše uvedeným způsobem se provádí stěny betonované na místě. Je zde ale také možnost do lamely umístit železobetonový prefabrikát. Ty se vyznačují kvalitním povrchem, který už není potřeba nijak upravovat. Tomu samozřejmě také odpovídá cena a nejen kvůli ní se prefabrikáty často nepoužívají. Lamela je vyplněna samotuhnoucí směsí, do které je vložen panel. Vzájemné vodotěsné spojení je zajištěno vložením gumové hadice do drážek na okrajích panelů. Podzemní stěny se provádí mezi vodící zídky, které jsou z železobetonu. Jejich funkcí je vedení hloubícího mechanismu, vytváří prostor pro pažící suspenzi, stabilizují hrany terénu a v neposlední řadě slouží k zavěšení armokoše. Při těžení jámy se demolují. Postupně při těžbě na nižší etáži se upravuje povrch stěny. Možností je frézování povrchu nebo se provede nástřík stříkaným betonem. U stěn prefabrikovaných jak už bylo řečeno tento problém odpadá.



Obr. 2-7: Podzemní stěna provedená pod úrovní hladiny podzemní vody (foto:autor)

Důležité je také provádění statického zajištění, což je realizace pramencových kotev nebo rozpěr. Kotvy se vrtají přes ocelové průchodky, které se umísťují do armokošů. V místě jejich osazení je armokoš patřičně upraven zvýšením jeho ohybové tuhosti. Roznos síly z kotev je přes roznášecí desku. Protože je technologický postup součástí praktické části bude podrobněji rozveden a popsán dále.

3. PRAKTICKÁ APLIKACE

3.1. Charakteristika stavby

Stavba se nachází na pravém břehu řeky Labe v místě zdymadla (říční km. 91,580). Jedná se o výstavbu malé vodní elektrárny s výkonem 2 x 3,5 MW severozápadně od města Štětí. Práce je zaměřena na zajištění břehové části. Základová spára je na úrovni 136,50 m. n. m., což je 16,2 m pod úrovní hladiny Labe v nadjezí (152,70 m. n. m). Je požadováno, aby byla jáma vodotěsná. Směrem od řeky k vodotěsnému zajištění slouží štětové jímky a stěny vetknuté do nepropustných slínovců. Od břehu se o zajištění stará navrhovaná konstrukce. Ta je rozdělena na vtokovou a výtokovou část, kde působí jako konstrukční trvalá stavba. V části samotného objektu elektrárny působí jako pažíci s funkcí dočasnou. Funkčnost je požadována po dobu výstavby hrubé stavby, poté bude konstrukce rozepřena o vestavěný objekt.

Současně s elektrárnou ve Štětí jsou budovány vodní elektrárny v Liběchově a Roudnici nad Labem. Vodní elektrárna využívá rozdílu hladiny vodní plochy. Tyto stavby na řece je tedy možné provádět pouze v místech jezů. Tyto 3 elektrárny jsou jedny z posledních na toku Labe v České republice, jelikož na zbylých jezích už jsou elektrárny vybudovány.



Obr. 3-1: Místo stavby nedaleko Štětí

3.2. Geologické a hydrogeologické poměry

Dle morfologického pohledu zájmové území náleží hraniční oblasti Račické terase, náležející Terežínské kotlině a Vědlické tabuli, náležející Rálské pahorkatině, společně pak spadající do České tabule a vyšších celků.

Konkrétně zájmové pozemky kat.č. 2060 a 2058 zaujímají konkávní pravobřežní část říčního oblouku s užší údolní nivou, která je severním až severovýchodním směrem ohraničená patou svahu, kde jsou již zaznamenány deluviální sedimenty křídových hornin.

Povrch terénu pozemků je rovinný. Vliv na modelování území má erozní činnost řeky Labe se svými terasovými nánosy štěrků a štěrkopísků. Povrch pak domodelovávají povodňové sedimenty a vyrovnávací navážky. Nadmořské výšky povrchu území se pohybují na kótách 152,00 až 153,50 m. n. m.

Z geologického pohledu leží území v České křídové pánvi se zastoupením středně turonských sedimentů. Litologicky se jedná o slínité prachovce, často písčité, s prachovitopísčitymi polohami zcela podřízenými polohami a partie křemitých písčitých prachovců a místy i vápenců. Uložení sedimentů je téměř vodorovné s minimálním úklonem k toku řeky, mírně rozpukané se systémem svislých puklin východ – západ. Povrch skalního podkladu je zvětralý charakteru prachovitojemně písčitého jílu převážně ovlivněného vodou. Kvartérní sedimenty jsou zastoupeny fluviálními terasové sedimenty mladého pleistocénu, stupně – würm.

Kvartérní štěrky jsou uloženy ve dvou úrovních. Bazická vrstva (spodní) mocnosti 3,0 – 6,0 m je tvořena hrubými, ulehými, písčitymi štěrky a svrchní vrstva, přibližně 1,0 m mocná složená ze zahliněných písků až písků se štěrky, středně zrnitých a středně ulehých. Při povrchu geologickou pozici uzavírají povodňové tmavě hnědé, písčité hlíny a místy vyrovnávací (zpevňující) navážky.

Prvotní geologické poměry na staveništi byly stanoveny na základě archivních sond, které se nacházejí v ose dříve navrhované elektrárny. Ta se měla původně nacházet přibližně 55 m proti proudu Labe. Archivní sondy byly doplněny o 3 vrty v ose současně navrhované elektrárny do hloubky 35 m.

Zjištěná geologie je následující:

0,00 – 1,00 m	písek se štěrkem	S3 S-F
1,00 – 6,90 m	štěrky písčité	G2 GP
6,90 – 8,50 m	slínovce navětralé	R6
8,50 – 15,00 m	slínovce mírně zvětralé	R5 - R4
od 15,00 m	slínovce tvrdé	R4 - R3

Detailní popis vrstev je uveden dále.

Pokryvné útvary

1. Navážka (antropogenní sediment) středně ulehlá, přirozeně vlhká, sypká, složená z hlinitého písku a drobného stavebního odpadu. Navážku řadíme do zvláštních zemin tř. siMgsagr (S4 SM MI + G – Y). Z pohledu zakládání se jedná o nevhodnou základovou půdu pro plošné zakládání objektů. Navážka je nestejně stlačitelná, nízké únosnosti, variabilního složení. Na staveništi lze vrstvu navážek zastihnout do průměrné hloubky 1,0 m pod terén.

2. Písek (fluvioaluvialní sediment) hlinitý, středně až hrubě zrnitý, středně ulehlý, vlhký až mokrý s příměsí drobného štěrku do obsahu 9 %, do velikosti až 3,0 cm, světle hnědý. Částice $f < 0,06$ mm jsou prachovitějilovité, střední plasticity v blízkosti hranice s nízkou plasticitou (MI – ML). Písek řadíme do tř. siM-CSacl (S4 SM MI – ML). Z pohledu zakládání se jedná o středně únosnou zeminu.

3. Písek (fluviální sediment) se štěrkem, ulehlý, středně až hrubě zrnitý, se štěrky o průměru 1,0 - 4,0 cm (do 42 %) světle okrový. Jemné částice $f < 0,06$ mm s obsahem do 15 % klasifikujeme jako prachovitý jíl nízko plastický (CL). Písek se štěrkem řadíme do tř. M-CSagrsi (S3 S-F + G). Jedná se o vhodnou základovou půdu s únosností R_{dt} až 300 kPa, pro šířku základu 1 m bez ovlivnění h.p.v.

4. Štěrk (fluviální sediment) s písčitou výplní, ulehlý, okrově hnědý, střední zrnitosti s valouny ojediněle až do průměru 10 - 15 cm, polymiktní. Valouny jsou dobře opracované, mezimezerní výplň tvoří hrubě zrnitý písek. Jemné částice $f < 0,06$ mm jsou obsaženy do 5 % jako příměs. Pouze při bázi vrstvy, kdy dochází již k ovlivnění zvětralých slínovcem je procento prachu a jílu vyšší. Štěrk písčitý řadíme do tř. saMGrSi (G2 GP). Z pohledu zakládání se jedná o dobrou základovou půdu.

Skalní podklad

1. Slínovec (silně zvětralý) celkově pevný za přirozené vlhkosti, po uvolnění z vrstvy, rozpadavý na prachovitopísčité úlomky, pevné, do průměrné velikosti 8,0 cm. Mezimezerní hmotu tvoří jemně písčité prachovitý jíl, středně plastický, při hranici nízké plasticity. Silně zvětralý slínovec řadíme mezi sedimentární horniny se stupněm zvětrání 4 (tř. R6). I bez ovlivnění vody se jedná o podmíněčně vhodnou základovou půdu pouze pro nenáročnou konstrukci s možným plošným založením.

2. Slínovec (zvětralý) s extrémně velkou hustotou diskontinuit, rozpadavý na ostrohranné úlomky po uvolnění z jádra. V jádru znatelná původní struktura. Úlomky velikosti do 10 cm, jsou tvrdé, ještě lze olamovat hrany úlomků. Barva šedohnědá, na plochách odlučnosti jsou povlaky limonitu. Mezimezerní hmota je prachovitý jemně písčité jíly do 15 %. Zvětralý slínovec řadíme mezi sedimentární horniny se stupněm zvětrání 3 (tř. R5). Vhodná základová půda pro konstrukce, jejíž zatížení nepřesáhne hodnotu únosnosti zvětralého slínovce. Zvětralý slínovec zasahuje do průměrné hloubky 10,0 m pod terénem.

3. Slínovec (navětralý) tvoří přechodovou vrstvu max. 1,0 m mocnou. Hornina je kompaktní, přirozeně vlhká odlučná po puklinách. Pukliny jsou sevřené. Rozpad je kusovitý, barva šedá s hnědými povlaky Fe na plochách diskontinuit. Slínovec řadíme do sedimentární horniny se stupněm zvětrání st. 3-2 (tř. R5/R4).

4. Slínovec (málo navětralý) vlhký, s prolohami s rozptýleným křemitým pojivem, tvrdý, křehký s malou hustotou diskontinuit. Barva je šedá. Při uvolnění z jádra se odděluje po linii vodorovného porušení. Horninu lze porušit 2-3 údery geologického kladiva. Slínovec řadíme do sedimentárních hornin se stupněm zvětrání 2 (tř. R4). Hornina této třídy je velmi dobrá základová půda s velmi nízkou stlačitelností a vysokou únosností.

5. Slínovec (tvrdý) spongilitický, světle šedý, kompaktní, vyskytuje v celém rozsahu slínovců, v podobě centimetrových až decimetrových deskovitých polohách. Je poměrně křehký. V silnějších deskách bude těžce vrtatelný. Horninu řadíme do tř. R3.

Z hydrogeologického pohledu, se jedná o území se složitými poměry. Na zájmových pozemcích lze charakterizovat tři horizonty podzemní vody:

1. Poříční vody – mělký (podpovrchový) kolektor. Je v přímé souvislosti s hladinou vody v Labi. Z měření hladiny vody v Labi je průměrná hodnota období na horním jezu 152,70 m. n. m. a na spodním jezu 150,00 m. n. m. Z měření ustálených hladin vody v současných vrtech, ale i z archivních měření vyplývají velmi malé výškové rozdíly s hladinou vody v řece.

2. Podpovrchový kolektor mělké podzemní vody prostupující ze svahu nad údolní nivou. Napájecí povrch svahů má volně přístupnou atmosférickou vodu, na jejichž četnosti a intenzitě je zvodnění přímo závislá. Vzhledem k malému hydrologickému povodí a separátnímu režimu křídových vod je to málo vydatný, málo až středně mineralizovaný

kolektor podzemní vody, projevující se drobnými pramenky, převážně ani nevytékající na povrch terénu. Tato svahová voda by se mohla negativně projevit při intenzivních, dlouhotrvajících srážkách, současně se zvednutím hladiny vody v řece.

3. Puklinová podzemní voda z podloží pocházející z propustnějších proloh písčitéjších slínovců či mírně rozpukaných provápněných a prokřemenělých patří horniny, kde se hromadí pod mírným artézským přetlakem. Dotování této spodní podzemní vody je vodou vyskytující se při bázi kvartérní zvodně štěrků, ale i přímým vcezováním drobnými puklinami ve dně řeky. Určený stupeň agresivity je XA1 - slabá síranová agresivita.



Obr. 3-2: *Pohled na staveniště při provádění průzkumných prací [2]*

3.3. Zvolená technologie provádění

Úkolem výběru vhodné technologie je vybrat způsob, který je nejefektivnější, pokud možno rychlý a zároveň ekonomicky nejméně náročný. Nesmí se také zapomenout na ovlivnění okolní zástavby a ochranu životního prostředí dotčeného stavbou. Mnohdy musí některé z těchto kritérií ustoupit druhému, které je na konkrétní stavbě významnější. Výběr vhodného způsobu provádění je tedy mnohdy složitý problém, se kterým se musí technolog poprat.

Požadavky a kritéria na zajištění jámy ve Štětí jsou následující:

- vodotěsnost
- vetknutí do tvrdého podloží tvořeného slínovci
- dosažení hloubky 17,5 m s dodržáním požadované svislosti
- v oblasti nátok a výtoků provedení, které nevyžaduje náročnou úpravu povrchu
- rychlost výstavby

Z výše uvedených skutečností se tedy vychází při návrhu zajištění. Požadavek vodotěsnosti ze zmiňovaných druhů pažení v kapitole 2 vyřazuje záporové a mikrozáporové pažení. Jak bylo uvedeno, tato pažící konstrukce nezajišťuje vodotěsnost. Narozdíl od štětových stěn, které mají vodotěsnost výbornou. Problémem ale je, že štětovnice nelze zavibrovat do podloží v takových geologických podmínkách, které se nachází v prostoru staveniště elektrárny. Štětové stěny tedy také není možné použít. Zbývá varianta pilotové nebo podzemní stěny. V případě pilotové stěny je jedinou možností provést převrtávanou stěnu z pilot minimálního průměru 900 mm. Hloubka jámy je ale poměrně velká a není zaručeno, že by došlo k požadovanému přeřezání pilot. K těžbě vrtů by také musela být použita náležitě výkonná mechanizace. Povrch stěny vzniklý po odtěžení by si vyžadoval další úpravy pro hladký tok vody. Z těchto faktů tedy vyplývá, že pro zajištění jámy je jako nevhodnější podzemní železobetonová stěna. Její tloušťka bude minimálně 800 mm za účelem zajištění vodotěsnosti. Technologie provádění je relativně rychlá ve srovnání s přeřezávanou pilotovou stěnou. Povrch odtěžené stěny se zapraví frézováním. Provedení kotvení bude také jednodušší, kdy se bude kotvit přes ocelové průchodky osazené do armokoše stěny. Technologie podzemních stěn je sice náročná na prostor staveniště, ale v případě této stavby to nebude problém.

3.4. POSOUZENÍ PODZEMNÍ STĚNY V NEJHLUBŠÍ ČÁSTI

Výpočty byly provedeny v programu Plaxis 2D. Jáma byla v její podélné ose rozdělena a dále řešena jen část, ve které je instalována pažící podzemní stěna. Výpočet je řešen jako rovinná 2D úloha.

3.4.1. Vstupní hodnoty

V následujících tabulkách jsou uvedeny geotechnické parametry zemin a hornin v prostoru staveniště. Tyto parametry byly použity jako vstupní hodnoty do výpočtů.

Tab. 3-1: *Geotechnické parametry zemin [2]*

Základová půda	písek se štěrkem	štěrk písčité
Zatřídění dle ČSN731001	S3 S-F	G2 GP
Objemová hmotnost γ_n (kNm ⁻³)	19	20
Poissonovo číslo ν	0,30	0,25
Převodní součinitel β	0,74	0,83
Úhel vnitřního tření φ_{ef} (°)	32,0	36,0
Soudržnost c_{ef} (kPa)	3,0	1,0
Modul přetvárnosti E_{def} (MPa)	50,0	100,0
Výpočtová tabulková únosnost R_{dt} (kPa)	320	600
Těžitelnost – ČSN 736133 ČSN 733050	I. 3.	II. 3-4
Vrtatelnost pro piloty - VC 800 -2	I.-II.	II.-III.

Tab. 3-2: *Geotechnické parametry hornin [2]*

Základová půda	slínovec navětralý	slínovec mírně zvětralý	slínovec tvrdý
Zatřídění dle ČSN731001	R6	R5 - R4	R4 - R3
Objemová hmotnost γ_n (kNm ⁻³)	20,5	21,5	20,3
Poissonovo číslo ν	0,30	0,28	0,23
Převodní součinitel β	0,74	0,78	0,86
Úhel vnitřního tření φ_{ef} (°)	26,0	32,0	33,5
Soudržnost c_{ef} (kPa)	3-6	20,0	30,0
Modul přetvárnosti E_{def} (MPa)	12,0	50,0	100,0
Výpočtová tabulková únosnost R_{dt} (kPa)	200	300	420
Těžitelnost – ČSN 736133 ČSN 733050	I. 3.	I.-II. 3.-4.	II.-III. 4.-5.
Vrtatelnost pro piloty - VC 800 -2	II.-III.	III.	IV.

3.4.2. Geometrie konstrukce

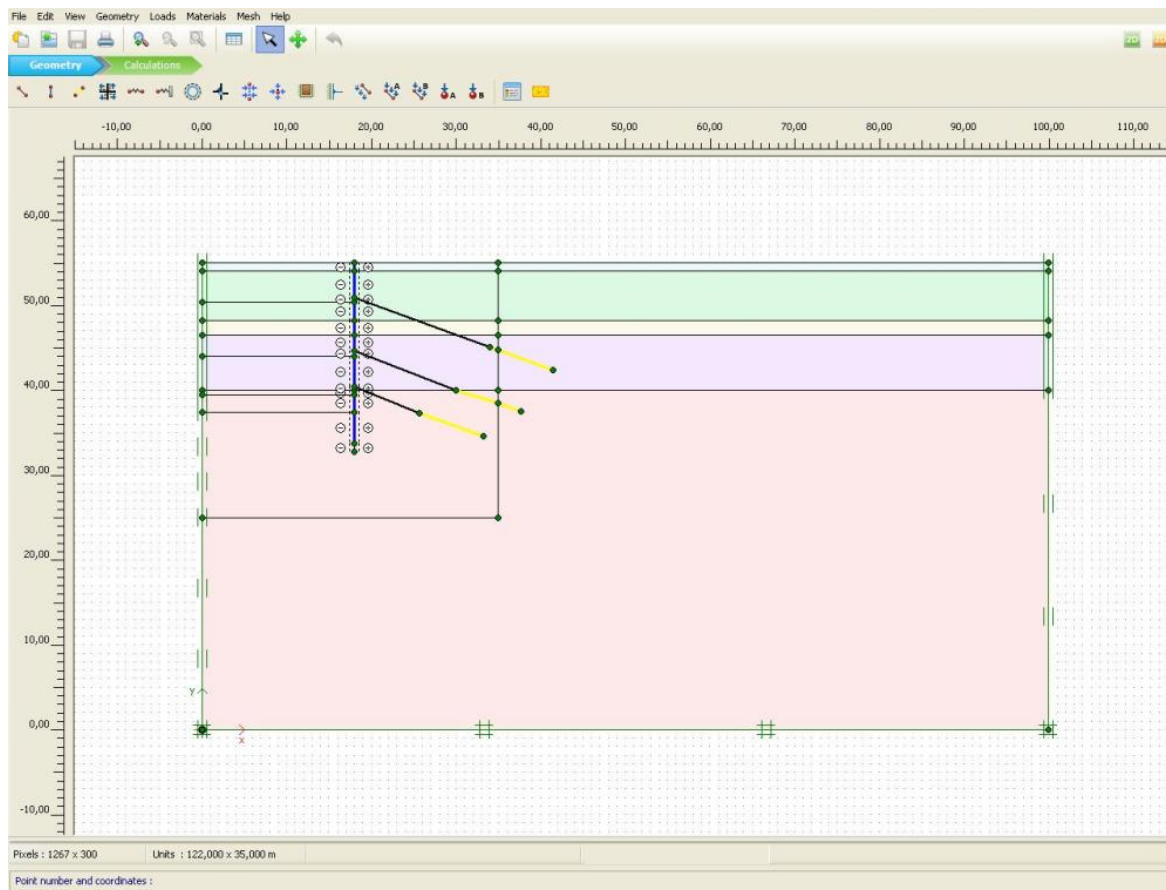
V nejhlubší, v tomto případě posuzované části, má lamela podzemní stěny délku 20 m. Tloušťka je 0,8 m a šířka 7,5 m. Použitý beton je C 30/37.

Stěna je kotvena ve třech úrovních pramencovými kotvami. Počet lan a jejich parametry jsou ve všech kotvách stejné a jsou následující: 6 x Lp 15,7 (St 1570/1770 MPa). V jednotlivých kotvách je tedy použito 6 těchto lan. Samotné kotvy se v kotevních úrovních liší svou délkou, napínací silou potřebnou pro jejich aktivování a také počtem kotev v úrovni na jednu lamelu. V 1. kotevní úrovni jsou tyto kotvy délky 25 m s délkou kořene 8 m. Napínací síla je 650 kN na kotvu a počet kotev v řadě je 4 ks. V 2. kotevní úrovni je délka kotvy 21 m s kořenem délky 8 m. Napínací síla 600 kN a počet kotev v řadě je 5 ks. Ve 3. kotevní úrovni je délka kotvy 17 m s kořenem 8 m. Napínací síla 400 kN a v řadě je 5 ks. Sklon všech kotev je 20°.

Všechny tyto uvedené údaje byly zahrnuty do statického výpočtu konstrukce.

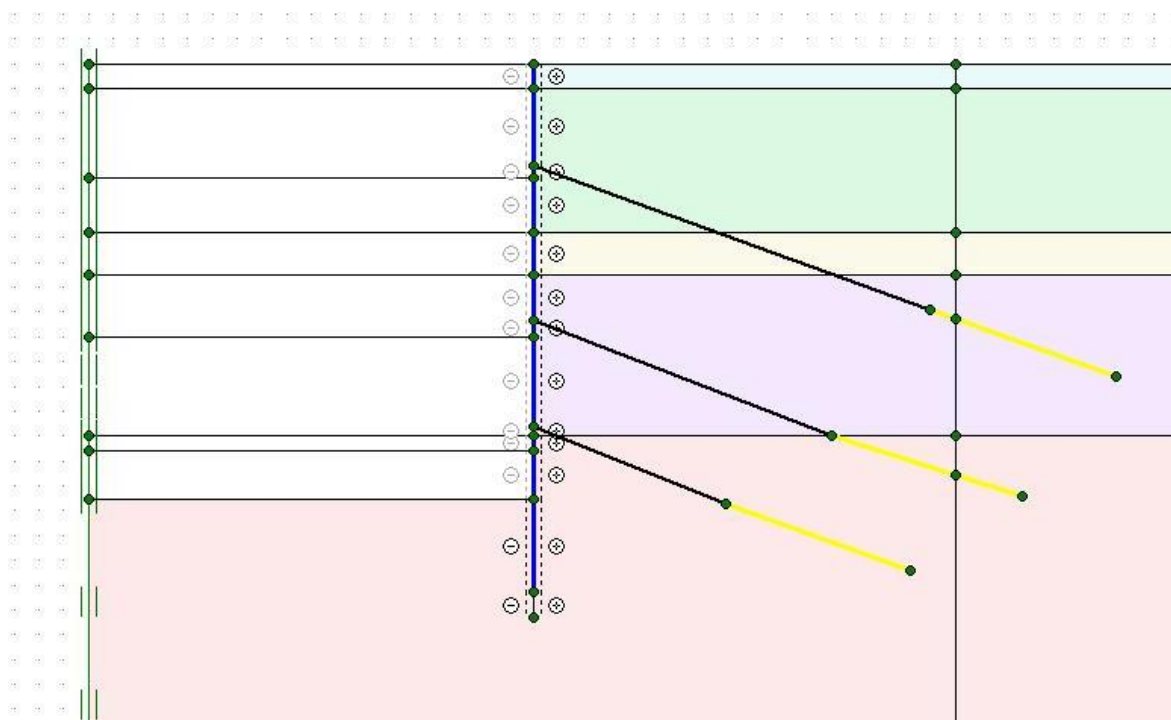
3.4.3. Statický model

V programu Plaxis 2D byl proveden výchozí rastr 100 x 55 m. Se zhuštěným polem bodů rozměru 35 x 30 m v levém horním rohu, kde je instalována konstrukce. Zhuštění se provádí za účelem podrobnějšího sledování chování prostředí. Úroveň hladiny podzemní vody je zadána 3 m pod terénem.



Obr. 3-3: Statický model v programu Plaxis 2D

Model je vodorovně rozdělen na jednotlivé geologické vrstvy s parametry uvedenými v kapitole 3.4.1. V místě výkopu stavební jámy jsou přidány další vrstvy 0,5 m pod kotevními úrovněmi. Po těchto krocích totiž bude probíhat těžba jámy. Detailnější rozdělení je vidět na obrázku 3-4.

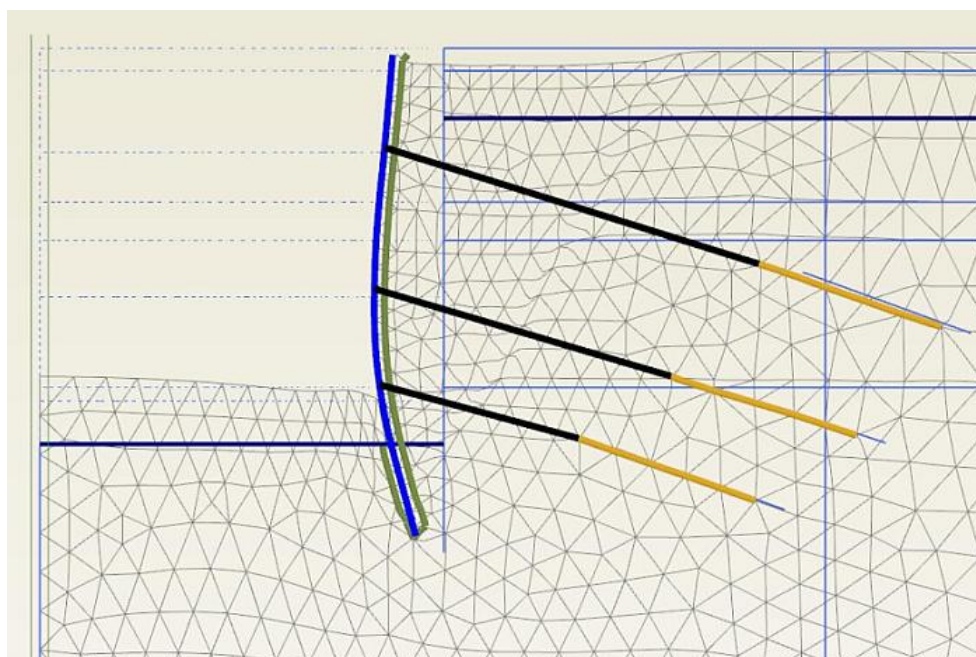


Obr. 3-4: *Detailnější pohled na konstrukci v programu Plaxis 2D*

3.4.4. Dosažené hodnoty

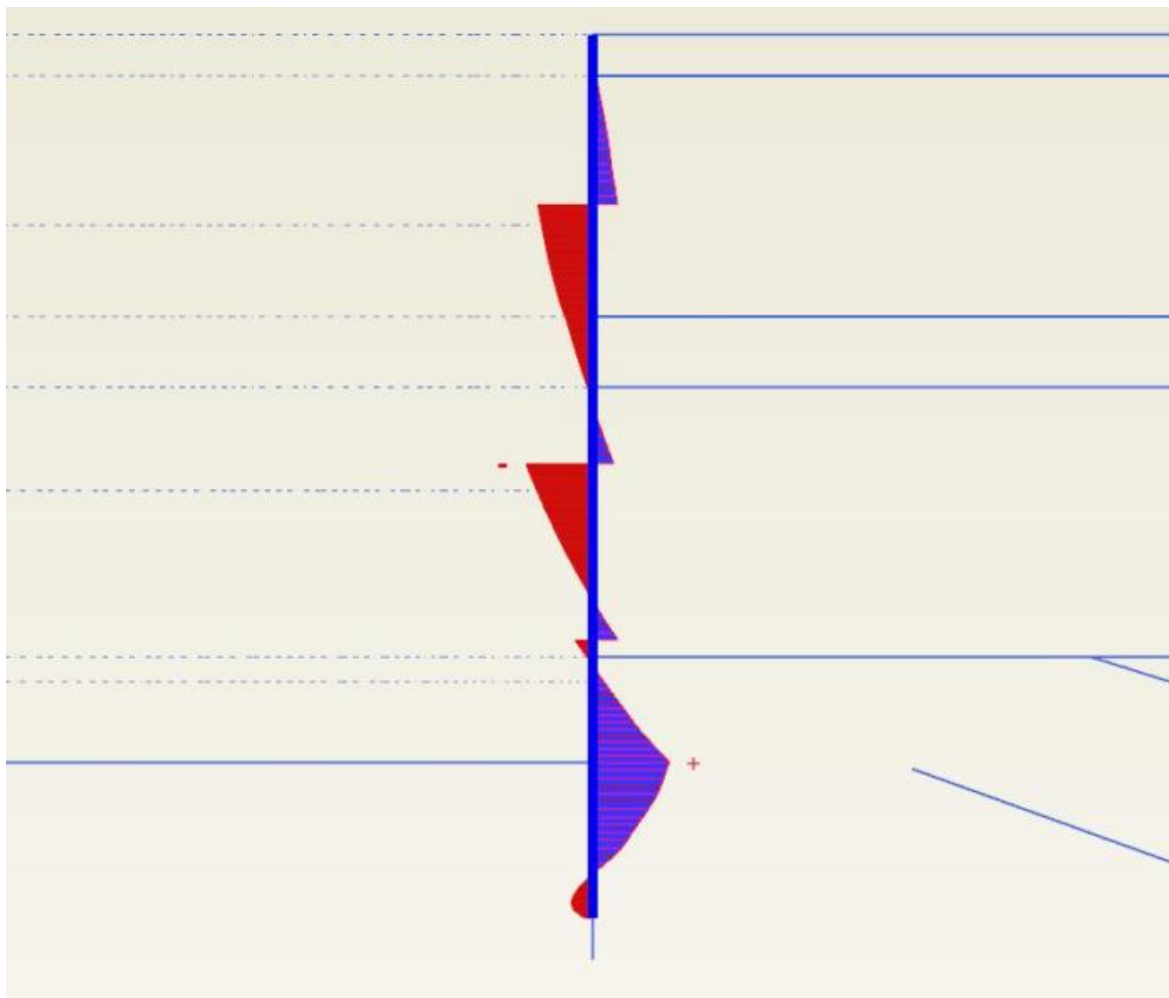
Po provedení výpočtů byly zjištěny celkové deformace a vnitřní síly v konstrukci podzemní stěny.

Celkový posun stěny směrem do jámy byl zjištěn 6,2 cm. Viditelné vzniklé deformace jsou na obrázku 3-5. Ty jsou zde 50krát zvětšeny.



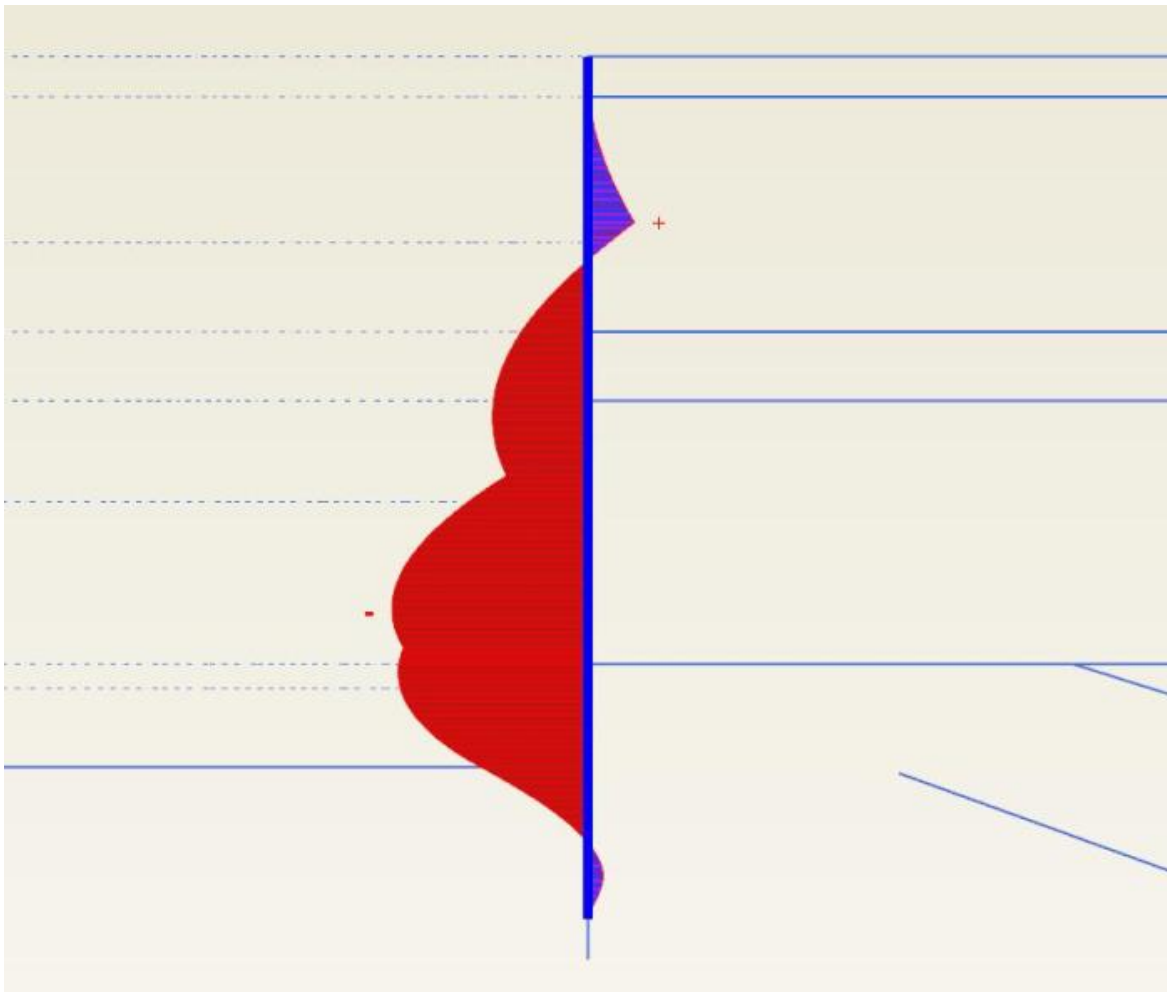
Obr. 3-5: *Vzniklé deformace konstrukce*

Posouvající síly v podzemní stěně jsou vykresleny na následujícím obrázku. Maximální hodnoty byly zjištěny $-322,9 \text{ kN/m}$ a $+372,1 \text{ kN/m}$.



Obr. 3-6: *Maximální posouvající síly*

Vykreslení vzniklých ohybových momentů je na obrázku 3-6. Maximální hodnoty jsou -970 kNm/m a +231,0 kNm/m.



Obr. 3-7: *Maximální ohybové momenty*

3.5. TECHNOLOGICKÝ POSTUP PROVÁDĚNÍ

3.5.1. Pracovní plochy

Podél podzemní stěny bude zřízena upravená plocha pro pojezd těžké mechanizace. Svrchní vrstvu bude tvořit železobetonová deska z betonu C16/20 tloušťky 100 mm vyztužená karisítí 100x100x6 mm. Spád desky 0,5 % směrem ke stěně. Úroveň povrchu bude totožná s horní úrovní vodící zídky. Podkladem ŽB desky bude zhutněný nesoudržný materiál, např. štěrkopísek z prostoru staveniště. Po vzdálenostech 50 m bude kolmo na stěnu provedena v ŽB desce rýha šířky 1 m a hloubky 1 m vyplněná zhutněným štěrkopískem. Ta bude sloužit pro možné uložení hadic, potrubí a kabelů.

Výrobní a čistírna pažící suspenze bude umístěna na ploše stejné skladby. Okolí bude zhutněno, aby umožňovalo snadný pojezd vozidel zásobujících výrobu.

Plocha pro výrobu armokošů bude tvořena z recyklátu tloušťky 150 mm. Povrch bude patřičně urovnán a zhutněn.



Obr. 3-8: Pracovní plochy

3.5.2. Mechanizace

K těžbě lamel bude použito této mechanizace:

- Lanový drapák Stein na nosiči Liebherr LBH 845, délka záběru 2,9 m, hmotnost 80t.
- Nosič Liebherr bude používán i jako jeřáb pro manipulaci s břemeny na staveništi.
- Hydrofréza Bauer BC 32 na nosiči Bauer MC64, délka záběru 2,8 m, hmotnost 120t.
- Šířka záběru drapáku i hydrofrézy je 0,8 m.
- Sklápěcí automobil pro odvoz výkopku na meziskládku.
- Nakladač pro odvoz výkopku od čistírny.

Dále bude součástí výrobní a čistírna pažící suspenze.



Obr. 3-9: *Mechanizace na těžbu lamel (foto:autor)*

3.5.3. **Vodící zídky**

Jsou prováděny v předstihu před započítím samotné těžby lamely. Slouží pro vedení hloubícího mechanismu v rýze, stabilizují okolní zeminu proti vymílání při těžbě, tvoří zásobní prostor pro suspenzi. Později je na ně zavěšen armokoš, pažnice a betonářské roury. Zídky také slouží k výškovému určení koruny podzemní stěny. Jsou geodeticky zaměřeny a technik stavby zná jejich nadmořskou výšku.

Jejich výška bude 1,5 m. Tloušťka 250 mm z betonu C 12/15 vyztuženého karisíť 100x100x6 mm na rubu i líci s krytím minimálně 30 mm. Mezera mezi zídkami 850 mm. Po odbednění budou rozeprény kulatinou ve dvou výškových úrovních po vzdálenosti 2 m nebo zasypány nesoudržnou zeminou.

Po provedení lamel budou zídky zdemolovány a materiál bude po zrecyklování použit na nutné zpevňování povrchu staveniště.



Obr. 3-10: *Provádění vodících zídek (foto:autor)*

3.5.4. Těžba rýhy

Ve svrchních vrstvách štěrku a částečně i slínovců bude probíhat pomocí lanového drapáku. Při dosažení tvrdých hornin bude postup pokračovat pomocí hydrofrézy až na požadované dno rýhy. Postup bude takový, že se provede na dílčím úseku první lamela. Tato lamela je označována jako startovní. Poté se od ní bude postupovat střídavě na obě strany. Lamely jsou navrženy jako třízáběrové celkové délky 7,5 m. První záběr bude prováděn vedle již vybetonované lamely, aby došlo k odstranění proteklého betonu. Svislost při těžbě drapákem se bude kontrolovat olovnicí, u hydrofrézy je kontrola elektronicky. Po dotěžení posledního záběru na požadovanou hloubku dojde k přečištění dna celé lamely a vytažení pažnice předchozí lamely.

Během těžby bude do rýhy dodávána bentonitová pažící suspenze. Ta se také mezi pracovníky označuje jako šmant. Funkcí této suspenze je stabilizace vytěženého prostoru rýhy. Výška její hladiny se musí pohybovat v rozmezí vodících zídek. Vždy je minimálně 1 m nad hladinou podzemní vody, aby došlo k potřebnému přetlaku. Suspenze musí mít vlastnosti uvedené v následující tabulce.

Tab. 3-3: *Vlastnosti suspenze*

Objemová hmotnost	co nejnížší při dodržení ostatních parametrů
Viskozita	30 – 40 sec.
Filtrace	max. 8 ml / 7,5 minut
Filtrační koláč	max. 1 mm
Obsah písku	max. 5% pro těžbu, max. 3% pro betonáž
Odstoj vody	0% za 24 hod.
PH	min. 7,5

Při těžbě drapákem dochází k dávkování suspenze do rýhy pomocným dělníkem a záleží na rychlosti hloubení. Hydrofréza čerpá z rýhy suspenzi spolu s rozrušenou horninou a potrubím průměru 150 mm ji dopravuje na čistírnu. Tam se odloučí nežádoucí materiál a suspenze se znovu vrací do rýhy. Jedná se tedy o uzavřený nepřetržitý koloběh. Po určitém počtu provedených lamel je už suspenze tak znehodnocena, že není možná ji dále použít. Musí se kompletně nahradit novou.

Čistírna a výroba suspenze je důležitou součástí technologie podzemních stěn. Při použití hydrofrézy je suspenze dopravována z rýhy potrubím na čistírnu. Tam nejprve teče přes vibrosíto, kde se odloučí hrubé částice horniny. Zbývající suspenze teče na hydrocyklony, kde se odstředivou silou oddělí menší částice horniny. Takto přečištěná suspenze se dostává do zásobníků a poté je čerpána do rýhy. Oddělené hrubé částice se

odváží na skládku. Nová suspenze se míchá v rozplavovači předepsaným postupem, poté je čerpána do zásobních sil. Průběžně jsou kontrolovány parametry uvedené v tabulce výše.



Obr. 3-11: Čistírna a výrobní pažící suspenze (foto:autor)

3.5.5. Příprava před betonáží

Po dokončení těžby se provede přečištění pažící suspenze. Zejména se kontroluje obsah písku. Jeho množství je při betonáži omezeno na maximálně 3%. S výhodou se využije hydrofrézy, která ze dna rýhy čerpá suspenzi použitou při těžbě. Zároveň shora přitéká čistá suspenze s požadovanými vlastnostmi. Tak dojde k vyměnění veškeré suspenze v rýze. Znehodnocená suspenze bude vypouštěna na přilehlý terén u stěny. Tam se voda ze suspenze vypaří a vsákne do zeminy, která bude později těžena a odvážena.

Po přečištění suspenze bude jeřábem osazena ke kraji rýhy profilovaná ocelová pažnice dosahující až na dno lamely. V drážce této pažnice bude osazen gumový těsnicí pásek šířky 200 mm. Ten slouží pro zajištění vodotěsnosti svislých spojů, tzv. zámků mezi jednotlivými lamelami. Je označován také jako waterstop. Dále bude tento pásek doplněn injekční trubkou pro případné pozdější injektování zámků za účelem zvýšení vodotěsnosti. Styk jednotlivých lamel je totiž z hlediska pronikání podzemní vody nejnáchylnější místo stěny.

Následuje vložení ocelového výztužného armokoše do rýhy. Jeho náležitosti jsou popsány v kapitole 3.5.6.

Suspenze je přečištěna, armokoš i pažnice osazeny, zbývá poslední krok. Tím je umístění betonářských rour do rýhy. Roury mají průměr 250 mm, jejich délka je většinou 2 m. Vzájemně se spojují nepropustnými spoji díky speciálním lankům. Sestavují se pomocí jeřábu do betonářské kolony. Ta po vložení do rýhy dosahuje až na dno. Nahoře kolony je násypka pro dávkování betonu z domíchávačů. Betonáž bude probíhat pomocí dvou betonovacích kolon.

3.5.6. Armokoš

Armokoš se skládá z nosné, rozdělovací a příčný výztuže. Třída použité oceli B500B (10 505 R). Dále ze zavětrovacích prutů, ztužujících a distančních prvků. Krytí je minimálně 75 mm, jako distanční prvky tedy budou použita betonová kolečka průměru 150 mm v množství min. 1 kus na 5 m². Jednotlivý armokoš bude doplněn průchodkami pro provedení horninových kotev dle projektu. Bude provedeno patřičné vyztužení jejich okolí. Průchodky budou opatřeny polystyrénovými vložkami proti zabetonování. Nutné je provedení montážních prutů, které slouží k zavěšení armokoše na vodící zídky a také ztužují armokoš během manipulace na stavbě. Montáž armokoše bude probíhat na zpevněné ploše staveniště. Všechny spoje budou svařované za účelem prostorové tuhosti. Po sestavení bude armokoš přebrán technikem stavby a uložen na meziskládku. Tam bude pokud možno na zpevněné ploše. Minimálně na čistém místě podložený hranoly, aby nedošlo k jeho deformaci a znečištění. Do rýhy bude osazován jeřábem co nejdříve po přečištění suspenze. Nebude dosahovat až na dno, ale minimálně 200 mm nad. Po ustavení do požadované výškové a půdorysné polohy bude pevně zavěšen na vodící zídky.



Obr. 3-12: Osazování armokoše s viditelnými průchodkami pro kotvení (foto:autor)

3.5.7. Betonáž

K betonáži lamely bude použit beton C 30/37 XF3, XA1, třída zpracovatelnosti S4. Před zahájením betonáže je třeba zajistit na betonárce pozdější nepřerušovanou dodávku čerstvé betonové směsi. Betonáž začne co nejdříve po osazení armokoše. Před uložením betonu do lamely bude odebrán z každého mixu vzorek a provedeno zjištění jeho vlastností. Jedná se především o zjištění zpracovatelnosti zkouškou sednutí kužele. V případě nevhodné směsi bude mix poslán zpět na betonárnu nebo budou vlastnosti upraveny na místě pomocí přísad po konzultaci s technologem. Budou také odebrány vzorky pro laboratorní zkoušky.

Po příjezdu prvního mixu bude betonovací kolona vypláchnuta vodou, aby nedošlo k nalepení směsi na její povrch. Nejprve budou obě kolony naplněny až po násypku. Poté bude kolona povytažena o 150 mm nahoru, aby čistý beton vyplnil lamelu odspodu. Následuje plynulé dávkování betonu do rýhy. Vzájemné dávkování mezi oběma kolonami bude takové, aby hladina betonu byla přibližně vyrovnaná. Při zdvihající se hladině směsi bude kolona zkracována. To bude vždy tak, aby byla v čerstvé směsi ponořena alespoň 2 m. Nikdy nesmí dojít k vytažení roury z betonu. Průběh zkracování a výšky hladiny budou zaznamenávány do hlášení. Dojde k přebetonování úrovně čistého betonu v lamele o 300 mm. Betonová směs při styku s pažicí suspenzí je totiž znehodnocena. Tento beton bude později odstraněn.

Během dávkování směsi dochází k vytlačení pažicí suspenze. Ta je průběžně čerpána na čistírnu a odváděna do zásobníků. V části posledních třech metrů pod korunou stěny bude suspenze odváděna na skládku. Je totiž tak znehodnocena betonem, že už není možné ji dále použít.



Obr. 3-13: *Betonáž lamely pomocí betonářské kolony (foto:autor)*

3.5.8. Úprava líce

Provádí se až při pozdější těžbě výkopu. Nejprve se jedná o očištění tlakovou vodou. Při zjištění větších nerovností nebo výstupků bude prováděno frézování. K tomu je určena speciální rotační fréza. Naopak pokud budou ve stěně díry, bude provedeno zapravení stříkaným betonem. V případě větších poruch bude navrženo vhodné sanační řešení.



Obr. 3-14: *Frézování líce stěny speciální frézou (foto:autor)*

4. ZÁVĚR

V úvodní části bakalářské práce byly popsány používané druhy pažení hlubokých stavebních jam. Pro konkrétní geologii a také technologické požadavky stavby jsou vhodné vždy jen určité typy pažení.

V další části práce byl proveden statický výpočet pažící železobetonové stěny vodní elektrárny ve Štětí. Při zadávání vstupních hodnot autor práce vycházel z inženýrskogeologického průzkumu a geometrie konstrukce. Zjištěný maximální posun konstrukce směrem do jámy byl vypočten 6,2 cm. Hodnoty získané projektantem konstrukce se mohou lišit od hodnot stanovených v bakalářské práci, neboť v oblasti navrhování konstrukcí autor nemá velké zkušenosti.

V poslední, stěžejní kapitole, byl navržen technologický postup provádění podzemní stěny. Při jeho sestavování autor vycházel především ze svých osobních zkušeností a poznámek, které získal při svém působení na výše zmiňované stavbě. Průběh provádění podzemních stěn je velmi obtížný. Je potřeba zvládnout náročné organizační záležitosti jako jsou dodávka betonové směsi, rozvrhnutí pracovní doby tak, aby na sebe jednotlivé kroky navazovaly a mnoho dalších drobnějších, avšak zásadních věcí. V neposlední řadě je důležité nezapomínat na pracovníky, kteří mnohdy pracují v nepříjemných podmínkách.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Zakládání staveb, a. s., Technologie [online] 2013, [cit. 2013-5-8]. Dostupné z:
< <http://www.zakladani.cz/cz/technologie> >
- [2] MVE Štětí, Inženýrskogeologický průzkum, archivní číslo: 015/04/2012, zpracovala
RNDr. Jitka Dvořáková
- [3] MASOPUST J., GLISNÍKOVÁ V.: Zakládání staveb: modul M01: Zakládání staveb.
Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 182 s.
ISBN 978-80-7204-538-9
- [4] WEIGLOVÁ K.: Mechanika zemin. Vyd.1. Brno: Akademické nakladatelství CERM,
2007, 186 s., Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-7204-507-5
- [5] Výkresy MVE Štětí
- [6] Technické zprávy k MVE Štětí

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 2-1:	Realizace záporového pažení při postupujícím výkopu.....	11
Obr. 2-2:	Výztuž a betonáž hlavového trámu mikrozápor.....	12
Obr. 2-3:	Štětová stěna ve styku s řekou.....	13
Obr. 2-4:	Vrtání horninových kotev do stěny s velkou osovou vzdáleností.....	15
Obr. 2-5:	Tangenciální stěna kotvená přes průběžné ŽB trámy.....	15
Obr. 2-6:	Převrtávaná stěna s ocelovými a železobetonovými převážkami.....	17
Obr. 2-7:	Podzemní stěna provedená pod úrovní hladiny podzemní vody.....	18
Obr. 3-1:	Místo stavby nedaleko Štětí.....	20
Obr. 3-2:	Pohled na staveniště při provádění průzkumných prací.....	24
Obr. 3-3:	Statický model v programu Plaxis 2D.....	28
Obr. 3-4:	Detailnější pohled na konstrukci v programu Plaxis 2D.....	29
Obr. 3-5:	Vzniklé deformace konstrukce.....	29
Obr. 3-6:	Maximální posouvající síly.....	30
Obr. 3-7:	Maximální ohybové momenty.....	31
Obr. 3-8:	Pracovní plochy.....	32
Obr. 3-9:	Mechanizace na těžbu lamel.....	33
Obr. 3-10:	Provádění vodících zídek.....	33
Obr. 3-11:	Čistírna a výrobní pažící suspenze.....	35
Obr. 3-12:	Osazování armokoše s viditelnými průchodkami pro kotvení.....	36
Obr. 3-13:	Betonáž lamely pomocí betonářské kolony.....	37
Obr. 3-14:	Frézování líce stěny speciální frézou.....	38
Tab. 3-1:	Geotechnické parametry zemin.....	26
Tab. 3-2:	Geotechnické parametry hornin.....	26
Tab. 3-3:	Vlastnosti suspenze.....	34

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

obr.	obrázek
tab.	tabulka
m. n. m.	metrů nad mořem
h. p. v.	hladina podzemní vody

γ_n	$[\text{kNm}^{-3}]$	objemová hmotnost
ν	$[-]$	Poissonovo číslo
β	$[-]$	převodní součinitel
φ_{ef}	$[^\circ]$	úhel vnitřního tření
c_{ef}	$[\text{kPa}]$	soudržnost
E_{def}	$[\text{MPa}]$	modul přetvárnosti
R_{dt}	$[\text{kPa}]$	výpočtová tabulková únosnost