

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV GEOTECHNIKY**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

## **NÁVRH PAŽENÍ STAVEBNÍ JÁMY** DESIGN OF THE FOUNDATION PIT SHEETING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ATTILA VALKÓ**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. VĚRA GLISNÍKOVÁ, CSc.**

BRNO 2016



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Attila Valkó
<b>Název</b>	Návrh pažení stavební jámy
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Věra Glisníková, CSc.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2015
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

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

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

## **Podklady a literatura**

Literatura:

Turček, P. a kol.: Zakládání staveb, Jaga, Bratislava, 2005

Masopust, J.: Speciální zakládání staveb - 1. díl, AN CERM, s.r.o., Brno, 2004

Masopust, J.: Speciální zakládání staveb - 2. díl, AN CERM, s.r.o., Brno, 2006

Masopust, J.: Navrhování základových a pažících konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1997.

Informační centrum ČKAIT, Praha, 2012

## **Zásady pro vypracování**

Úkolem bakalářské práce je v první(rešeršní) části přehledně popsat možné způsoby pažení stavebních jam, ve druhé části navrhnout bezpečné a ekonomické zajištění konkrétní stavební jámy v daných geologických podmínkách. Při vypracování bakalářské práce vycházejte ze zadaných podkladů, pokynů vedoucí diplomové práce a další relevantní odborné literatury.

## **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

.....

Ing. Věra Glisníková, CSc.

Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá návrhem pažení stavební jámy polyfunkčního domu v Brně - Pisárkách. Práce obsahuje popis možných způsobů pažení stavebních jam. Cílem práce je navrzení zajištění stavební jámy vhodnou metodou pažení, kterým je záporové pažení kotvené ve více úrovních. Statický výpočet byl proveden pomocí programu GEO5.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Geotechnika, stavební jáma, pažící konstrukce, záporové pažení, GEO5

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with the design of the foundation pit sheeting of a multifunctional building in Brno - Pisárky. The thesis contains the description of various styles of foundation pit sheeting. The purpose of the thesis is designing an appropriate method of sheeting, in this case an anchored excavation method is used. Statistic calculations were performed by program GEO5.

## **KEY WORDS**

Geotechnics, foundation pit, sheeting construction, rider bracing, GEO5

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

VALKÓ, Attila. *Návrh pažení stavební jámy*. Brno, 2016. 56 s., 22 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce: Ing. Věra Glisníková, CSc.

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 27. 5. 2016

.....  
podpis autora  
Attila Valkó

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji touto cestou vedoucí bakalářské práce paní Ing. Věře Glisníkové za čas strávený konzultacemi, rady při zpracování bakalářské práce a pohodový přístup. Děkuji firmě KELLER - speciální zakládání, spol. s r.o. a panu Ing. Karlu Vítkovi za poskytnuté podklady. V neposlední řadě děkuji svým rodičům a přítelkyni za podporu v průběhu mých studií.



# OBSAH

1. ÚVOD .....	11
2. ZPŮSOBY PAŽENÍ STAVEBNÝCH JAM .....	12
2.1 Stavební jámy .....	12
2.2 Druhy stavebních jam .....	13
2.2.1 Svahované jámy .....	13
2.2.2 Těsněné stavební jámy .....	15
2.2.3 Jimkové jámy .....	15
2.2.4 Roubené stavební jámy .....	16
2.3 Druhy pažení stavebních jam .....	17
2.3.1 Hřebíkování .....	17
2.3.2 Záporové pažení .....	19
2.3.3 Mikrozáporové pažení .....	21
2.3.4 Pilotové stěny .....	23
2.3.5 Podzemní stěny .....	24
2.3.6 Konstrukce z tryskové injektáže .....	26
2.3.7 Štětovnicové stěny .....	27
3. NÁVRH ZAJIŠTĚNÍ STAVEBNÍ JÁMY V BRNĚ .....	28
3.1 Úvod .....	28
3.2 Geomorfologické, geologické a hydrogeologické poměry .....	29
3.2.1 Geomorfologické poměry .....	30
3.2.2 Geologické a hydrogeologické poměry .....	30
3.2.3 Archivní podklady .....	31
3.2.4 Průzkumné práce .....	31
3.2.5 Geotechnické hodnocení staveniště .....	32
3.3 Návrh pažení stavební jámy .....	32
3.3.1 Záporové pažení .....	32
3.4 Statický výpočet .....	33
3.4.1 Metoda výpočtu .....	34
3.4.2 Nastavení výpočtu .....	35

3.4.3	<i>Vstupní parametry</i>	35
3.4.3.1	<i>Parametry zemin</i>	35
3.4.3.2	<i>Pažící stěna</i>	36
3.4.3.3	<i>Charakteristika kotev</i>	36
3.4.4	<i>Fáze výpočtu - Řez A</i>	36
3.4.5	<i>Výsledky výpočtu - Řez A</i>	38
3.4.5.1	<i>Fáze 1 - Hloubení na první kotevní úroveň</i>	38
3.4.5.2	<i>Fáze 2 - Aplikace a předepnutí první řady kotev</i>	39
3.4.5.3	<i>Fáze 3 - Hloubení na druhou kotevní úroveň</i>	40
3.4.5.4	<i>Fáze 4 - Aplikace a předepnutí druhé řady kotev</i>	41
3.4.5.5	<i>Fáze 5 - Hloubení na třetí kotevní úroveň</i>	42
3.4.5.6	<i>Fáze 6 - Aplikace a předepnutí třetí řady kotev</i>	43
3.4.5.7	<i>Fáze 7 - Hloubení na konečnou úroveň stavební jámy</i>	44
3.4.5.8	<i>Fáze 8 - Vnitřní stabilita</i>	45
3.5	<i>Technologický postup výstavby</i>	46
3.5.1	<i>Vytyčení</i>	46
3.5.2	<i>Aplikace zápor</i>	46
3.5.3	<i>Výkop na první kotevní úroveň</i>	47
3.5.4	<i>Zhotovení kotev v první úrovni</i>	48
3.5.5	<i>Další fáze</i>	48
4.	<b>ZÁVĚR</b>	49
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	50
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b>	53
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	54
	<b>SEZNAM TABULEK</b>	55
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	56

# 1. ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá pažením stavebních jam, nejčastěji používanými typy pažení v České republice a aplikací zvoleného typu na zajištění konkrétní stavební jámy. Bakalářskou práci je možné rozdělit na dvě části. Úkolem bakalářské práce je v první, rešeršní části, popsat možné způsoby pažení stavebních jam, ve druhé části navrhnout bezpečné a ekonomické zajištění konkrétní stavební jámy v daných geologických podmínkách.

Výkopové práce jsou neoddelitelnou záležitostí při realizaci staveb. Stavební jámy vznikají v důsledku zemních prací. Těmito pracemi narušujeme stabilitu stávajícího terénu. V oblasti stavebnictví je proto nezbytné vhodné zajištění stavebních jam. Týká se to jak dopravních a vodohospodářských, tak i pozemních staveb.

Hlavně ve velkých městech s hustou zástavbou je nedostatek místa na nové budovy a je velká snaha vytvářet nové plochy pro bydlení, administrativu, nebo parkování. Staví se proto budovy s více nadzemními, ale i podzemními podlažími. Stavební jámy těchto budov jsou často rozsáhlejší, hlubší a v mnoha případech jsou hloubeny v okolní zástavbě. Zajištění stavebních jam takových staveb a hlavně staveb v městské zástavbě se téměř vždy realizuje použitím vhodného typu pažení.

Konkrétní stavba, kterou se tato bakalářská práce zabývá, se nachází v Brně - Pisárkách. Jde o polyfunkční dům ve stávajícím areálu hotelu Santander. V minulosti na místě stavby stál dům, který byl zbourán a na místě staré budovy byl navržen polyfunkční dům. Celý stávající areál hotelu se nachází na svažitých pozemcích. Bylo potřeba pažit dvě stěny stavební jámy.

Cílem bakalářské práce je popis používaných typů pažení stavebních jam a vhodný návrh zajištění stavební jámy pomocí metody záporového pažení. Návrh a výpočet byl proveden v programu GEO5.

## 2. ZPŮSOBY PAŽENÍ STAVEBNÍCH JAM

### 2.1 Stavební jámy

Stavební jámy jsou určeny k vytvoření prostoru pro bezpečné založení stavebních objektů. Stavební jámy se provádějí v případě objektů, které jsou zakládány na plošných základech a často i v případech hlubinně zakládaných konstrukcí. [1] V dnešní době, kdy snažíme vytvářet čím větší plochy pro různé využití při daných půdorysných rozměrech, je vytváření suterénních prostor rozumným řešením.

Využití stavebních jam v oblasti stavebnictví je rozsáhlé. Existuje mnoho typů konstrukcí, kterými jsou objekty vodního stavitelství, mosty, jezy, přehrady nebo podzemní stavby, jako například hloubené tunely či stanice podzemních drah, které bývají zakládány ve stavebních jámách. V praxi se setkáváme se stavebními jámami, které jsou hloubeny v soudržných a nesoudržných zeminách, pod hladinou podzemní vody nebo se zřizují přímo ve vodě (v případě jímkové stavební jámy), a navrhují se stavební jámy jak mimo městské zástavby, tak i v husté okolní zástavbě. [1]

Bezpečné zajištění stavebních jam není zanedbatelné. Jde o časově a finančně náročnou záležitost, zejména kdy úroveň hladiny podzemní vody je nad úrovní dna stavební jámy. Vhodnou volbu technologie zajištění stavební jámy ovlivňuje několik faktorů. Při volbě nejvhodnější metody hraje důležitou roli konkrétní lokalita, kde se stavba nachází a s ní související skladba geologického profilu a hydrogeologické poměry dané lokality. Budovy se staví v mnoha případech v zastavěném území, a proto je potřebné brát zřetel také na prostorové podmínky staveniště a umístění inženýrských sítí, které rovněž ve značné míře ovlivňují volbu zajištění. Vliv na návrh má i sousední zástavba, provedený průzkum zástavby a hloubka základových spár. Způsob založení stavebních jam závisí dále na požadavcích na pažící konstrukci, kterými jsou například vodotěsnost konstrukce, trvanlivost (zda jde o dočasnou, nebo trvalou konstrukci) a požadavek na tuhost pažící konstrukce, který vyplývá z přípustných deformací. Neméně důležitým faktorem v neposlední řadě je ekonomické hledisko, které je v mnoha případech jeden z rozhodujících činitelů. [1]

## 2.2 Druhy stavebních jam

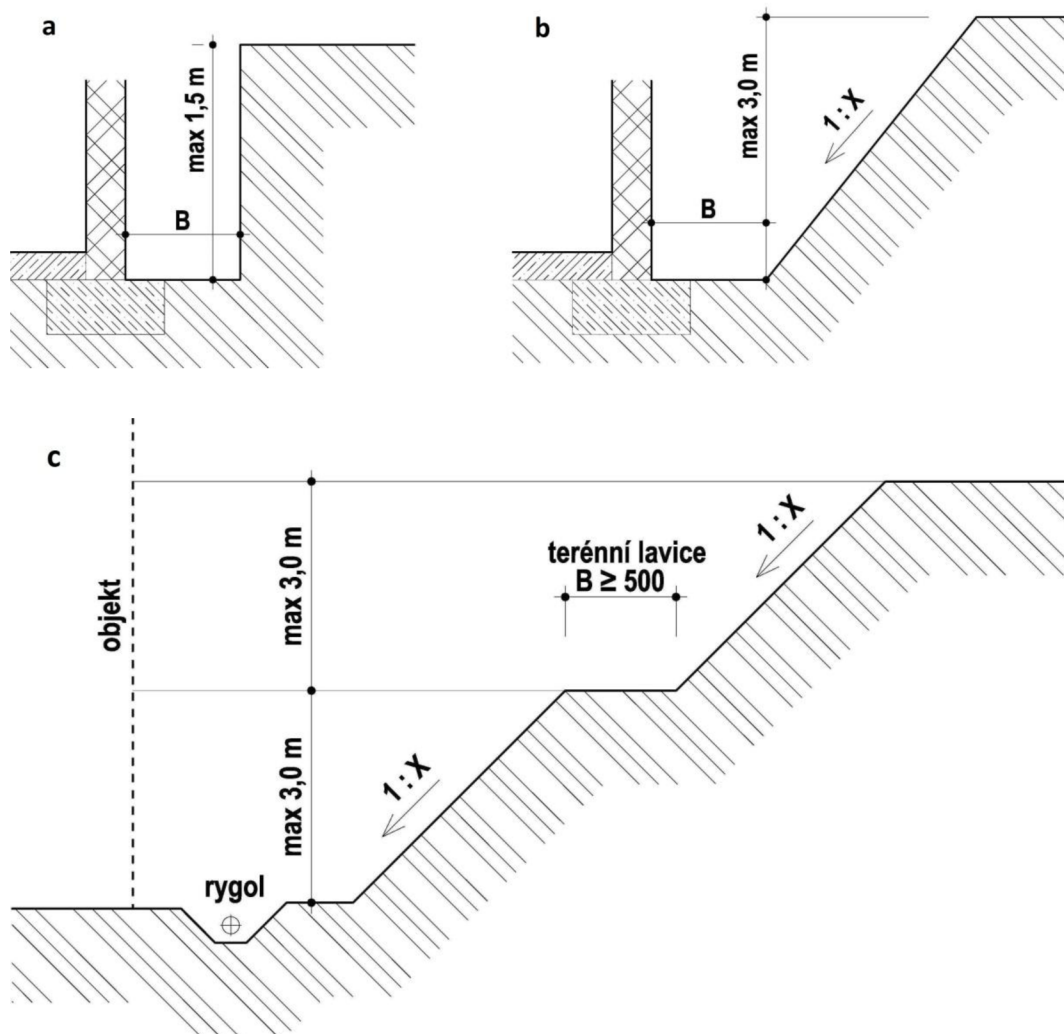
Výše zmíněné faktory v různých případech nemusejí mít stejnou váhu. Každý objekt plní jinou funkci, staveniště mají hladinu podzemní vody v různých úrovních a mají různě složitou skladbu geologického profilu a je potřeba počítat s tím, že prostředí každé stavby je jiné. To znamená, že faktory ovlivňující volbu zajištění stavební jámy mají proměnlivou závažnost. [1]

S ohledem na význam těchto činitelů rozeznáváme několik druhů stavebních jam. Svahované jámy mají šikmé, nebo stupňovité šikmé stěny. Pokud stavební jáma se nachází v propustných zeminách a hladina podzemní vody je nade dnem stavební jámy, používají se prvky zajišťující těsnicí funkci, a jde o těsněnou jámu. Stavební jámy, které se zřizují ve vodě, se nazývají jímky. Nejrozšířenějším typem v husté zástavbě jsou roubené jámy se svislými paženými stěnami. [1]

### 2.2.1 Svahované jámy

Stěny svahovaných stavebních jam se navrhují ve sklonu z důvodu bezpečnosti práce a udržení stability svahu. Jsou prostorově velmi náročné, protože kromě plochy ohraničenou půdorysnými rozměry objektu je potřeba počítat také s prostorem pro svah, který rovněž zabere místo. Kromě toho šířka pracovní plochy podél obrysu objektu je dalších 0,3 až 1,6 m, což je závislý na sklonu svahu a hloubce jámy. Z tohoto důvodu se navrhují především v nezastavěném území, kde rozloha svahované stavební jámy není omezena sousedním objektem. Provádějí se jak v suchých zeminách, tak i pod hladinou podzemní vody, v tomto případě je třeba vyřešit odvodnění povrchu svahů i dna stavební jámy. Povrchové odvodnění se dosahuje spádováním dna stavební jámy, umístěním drénů, pomocí odvodňovacích příkopů a čerpáním vody ze dna jámy. V případě, kdy základová spára se nachází pod hladinou podzemní vody, provádí se hloubkové odvodnění stavební jámy, jež se realizuje sběrnými a vrtanými studnami, nebo čerpacími jehlami. Dočasný pokles hladiny podzemní vody může mít nepříznivý vliv na sousední zástavbu. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby zemní práce zabírali co nejméně času. Návrh sklonu svahů stavební jámy ovlivňuje druh horniny, nebo zeminy a jejich soudržnost, hloubka stavební jámy, úroveň hladiny podzemní vody a okolní zástavba. Nepříznivé účinky vody způsobují ve srovnání se suchými zeminami

dvojnásobně mírnější návrh sklonu svahu. V soudržných zeminách do hloubky 1,5 m lze provést výkop se svislými stěnami. Sklon svahu do hloubky 3 m závisí na typu skalní horniny, nebo zeminy. Pokud je stavební jáma hlubší než 3 m zřizují se terénní lavičky s minimální šířkou 500 mm. [1] [2]

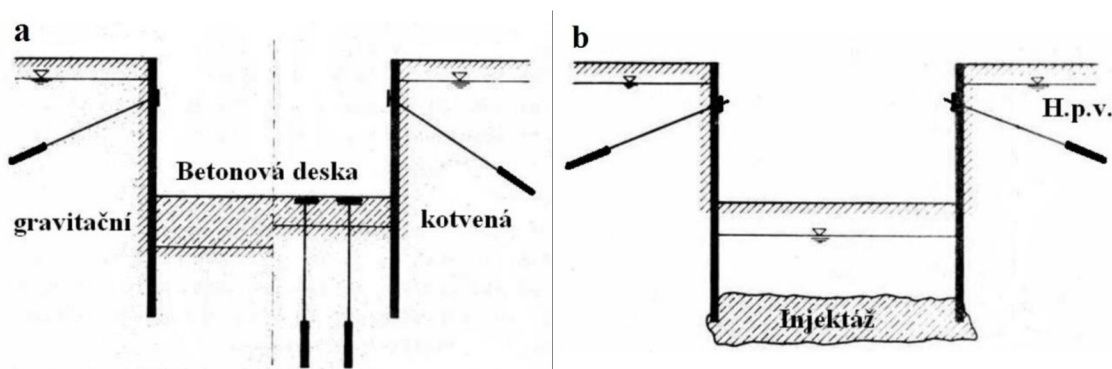


Obr. 2-1: Svahování stěn stavebních jam [2]

- a) jáma se svislými stěnami
- b) svahovaná jáma
- c) svahování jam hlubších než 3 m

### 2.2.2 Těsněné stavební jámy

Při zakládání v propustných základových půdách pod hladinou podzemní vody se používají těsněné stavební jámy. Základním problémem je vsakování podzemních vod skrz propustných zemin do stavební jámy, čemu je třeba zabránit. Proto, pokud je možné, těsněné pažící stěny se vkládají až do vrstev nepropustných zemin. V jiném případě se vytváří tzv. těsnící vana s těsněným dnem buď betonovou deskou, nebo tryskovou injektáží pod úrovní základové spáry. Tyto těsnící clony by měly odolávat vztlaku podzemní vody v průběhu výkopových prací, a proto je potřeba těsnící clony uložené v malé hloubce přikotvit ve svislém směru. Mezi těsněné stavební jámy patří jámy zajištěné štětovými stěnami, nebo podzemními stěnami se svislými boky. [3]



Obr. 2-2: Těsněné jámy s těsněným dnem [3]

a) betonovou deskou

b) tryskovou injektáží

### 2.2.3 Jímkové jámy

Jímkové stavební jámy, zjednodušeně nazývané jako jímký, se zřizují ve vodě a zabraňují pronikání vody na stavenišť v průběhu provádění stavby vodotěsnou konstrukcí. Jímký můžeme rozdělit podle materiálu. Nejčastěji používanými jsou jímký hrázkové, které se provádějí sypáním z nepropustných zemin a jímký ocelové zajištěné štětovnicemi typu Larsen. Použití ocelových štětovnic je ekonomicky výhodným řešením, protože štětovnice po ukončení stavebních prací jsou znovu použitelné. Jímkové stavební jámy se navrhují většinou v případě zakládání, nebo rekonstrukce vodních staveb a mostů. [1] [4]

#### **2.2.4 Roubené stavební jámy**

Roubené jámy, nebo v současné terminologii používané jako pažené jámy se využívají ve stísněných podmínkách, kde nelze, nebo ekonomicky není výhodné provádět svahované jámy. Navrhují se především v zastavěném území, protože jsou prostorově úspornější jako svahované jámy. Jsou to jámy se svislými, popřípadě mírně nakloněnými stěnami zajištěné použitím pažící konstrukce. Pažící konstrukce se sestává ze třech základních konstrukčních částí, kterými jsou pažení, roznášecí prahy (převázky) a podpěrné konstrukce (rozpěry nebo kotvy). [1]

Pažení je svislá část pažící konstrukce, která je ve styku s horninou, nebo zeminou. Spolu s ostatními částmi pažící konstrukce zajišťuje stěny stavební jámy proti sesunutí a proti pronikání menších částic zeminy. Pokud jde o nepropustné typy pažení, tak omezuje i prosakování podzemní vody do stavební jámy. Nosná schopnost pažení se uplatňuje hlavně ve směru vodorovném. [1]

Vodorovné prvky, které roznášejí soustředěné zatížení z podpor na rozsáhlejší plochu pažení, se nazývají roznášecí prahy, tzv. převázky. Pokud jsou připevněny k pažení, jde o vnější převázky, ale existují případy, kdy je potřeba vytvořit stěny s hladkým povrchem umožňující využití pažící stěny například pro osazení izolace. V takových případech se používají zapuštěné převázky (vnitřní). Z hlediska materiálu rozeznáváme roznášecí prahy ocelové nebo železobetonové. [1]

Volně stojící pažící stěnu je možné aplikovat při menších hloubkách v závislosti na typu zeminy a na základě statického výpočtu. Podpěrné konstrukce zajišťují stabilitu pažící stěny hlavně při větších hloubkách stavebních jam. Rozlišujeme podpěrné konstrukce kotvené a rozpěrné. Kotvené podpěrné konstrukce přenáší tahové síly z pažící konstrukce do zeminy za rubem pažení. Kotvení slouží nejen k zajištění hlubokých výkopů, ale zajišťuje i stabilitu svahů horninovými kotvami. Rozpěrné podpěrné konstrukce se využívají u stavebních jam s malou světlostí mezi pažícími stěnami nebo u výkopů menších rozměrů a v místech kde by provedení kotev bylo příliš komplikované. [1]



Z hlediska životnosti rozlišujeme pažení dočasná a trvalá. Dočasná pažení mají omezenou životnost, která je stanovena legislativou do 2 let. V tomto případě se mohou některé konstrukční části pažení použít znovu. Pažení trvalá jsou částečně, popřípadě zcela součástí objektu. Jejich trvanlivost je dána životností konečného objektu. [1]

## **2.3 Druhy pažení stavebních jam**

Volbu typu pažení ovlivňuje mnoho faktorů s různou mírou důležitosti v jednotlivých případech. Staveniště mají různě komplikovanou skladbu podloží, hladina podzemní vody se u každé stavby nachází v jiných úrovních. Návrh ovlivňuje i hloubka stavební jámy a úroveň základových spár přilehlých objektů a důležitým faktorem je i ekonomické hledisko. Každá stavba je specifická a nachází se v jiném prostředí, proto rozlišujeme různé způsoby pažení. V následující části práce se budeme zabývat s nejčastěji používanými typy pažení, kterými jsou hřebíkování, záporové pažení, mikrozáporové pažení, pilotové stěny, podzemní stěny, konstrukce z tryskové injektáže a štětovicové pažící stěny.

### **2.3.1 Hřebíkování**

Tato metoda pažení se používá jako dočasné zajištění svislých a mírně nakloněných stěn stavebních jam a zemních svahů. Dočasné znamená, že jeho životnost je omezena na 2 roky. Hřebíkováním zlepšujeme vlastnosti základové půdy, především smykovou pevnost. Vytvoří se stabilní svah s vyztuženou zeminou a chráněným povrchem svahu, který je odolný proti zemním tlakům a proti povrchové erozi svahu. Navrhuje se především v poloskalních horninách a v soudržných zeminách. [1]

Hřebíky a kryt povrchu ze stříkaného betonu a výztužných sítí jsou základními prvky při hřebíkování. Hřebíky jsou krátké tahové prvky, tyče z betonářské oceli většinou profilu R 20-32 mm nebo 2 profilů R 20-25 mm. Hřebíky se sestávají z výztužné tyče, z distančnicků (centrátorů), který zajišťují krytí tyče cementovou maltou a z hlavy hřebíku, což zabezpečuje spojení hřebíku s krytem. Distančníky se umísťují na výztuž ve vzdálenosti 2-3 metry od sebe. Hlavu hřebíku tvoří ocelová deska, podložka a matice. Umístění hřebíků může být vodorovná, nebo orientované pod malým úhlem.

Pro zajištění stěny nebo svahu krycí vrstvou se používají tzv. kari sítě a stříkaný beton. Kari sítě se vyrábějí ze žebírkových ocelových drátů svařováním. Krycí vrstva má obvykle tloušťku 100-250 mm. [1] [5]

Ve většině případů se hřebíky provádějí tak, že se vyvrtají maloprofilové vrty o průměru 90-150 mm a zalijí se cementovou zálivkou s poměrem cementu a vody:  $c : v = 2,2 - 2,3 : 1$ . Do otvorů vytvořených tímto způsobem se osazují výztužné tyče (hřebíky). V skalních či poloskalních horninách je hřebíky možné provést rovněž suchou cestou. Hlavy hřebíků se zapojí do kari sítě pomocí ocelových destiček a matic. V následující části výstavby se vytváří kryt z vyztuženého stříkaného betonu. [1]

Zajišťování stěn stavební jámy nebo svahu zářezu hřebíkováním probíhá v několika etapách s cílem efektivního vnesení sil postupně do každé úrovně hřebíků. První etapou je předvýkop na 1. úroveň v hloubce danou výpočtem, nebo vychází ze zkušeností. V další etapě se provádějí maloprofilové vrty, do kterých se osazují hřebíky. Následuje položení dočasných odvodňovacích prvků, plastových trubek a geotextilie proti zanesení, pak se umísťují ocelové kari sítě a realizuje se vrstva ze stříkaného betonu. Pokračujeme předvýkopem na 2. úroveň a celý postup si zopakujeme tolikrát, kolik bude potřeba k dosažení dna stavební jámy. [1]

Jak již bylo výše zmíněno, jde o konstrukci dočasnou. Kdybychom chtěli získat hřebíkováním trvalou konstrukci, bylo by nutné opatřit hřebíky dvojitou protikorozní ochranou. Dále by bylo potřebné hřebíky povléct vroubkovanou plastovou trubkou vyrobené z polyetylénu nebo PVC, a zainjektovat mezikruží vhodným materiálem. [1]



Obr. 2-3: Stěna stavební jámy zajištěna hřebíkováním [6]

Z hlediska vlivu na životní prostředí je hřebíkování metodou s méně rušivými účinky. V případě hřebíkových stěn a svahů jde o konstrukci s poměrně rychlou realizací. Při této metodě je použito relativně málo konstrukčního materiálu v porovnání s jinými metodami pažení, které využívají zemní kotvy pro zajištění. Hlavní rozdíl oproti těmto metodám spočívá v tom, že u hřebíkování chybějí svíslé nosné elementy. Jsou jisté rozdíly v přenosu zatížení (zatížení se přenáší po celé délce hřebíků, nepředepínají se) a v ceně (hřebíkování je ekonomičtější variantou). [5] [6]

### ***2.3.2 Záporové pažení***

Patří mezi nejrozšířenější metody dočasného pažení stavebních jam. Používají se především v zastavěném území, v městské zástavbě, kde z nějakého důvodu nelze provádět svahované stavební jámy. Navrhují se např. v případech, kdy prostor jámy je omezena přilehlým objektem nebo hranicí vedlejších pozemků. Záporové pažení je možné použít i v náročných geotechnických podmínkách.

Základními prvky záporového pažení jsou zápor, pažiny, stabilizační prvky a převázky. Zápor jsou svíslými prvky záporového pažení s nosnou schopností zejména ve vodorovném směru. Jsou tvořeny profily z válcované oceli. Nejčastěji se používají profily tvaru I (IPE 300-450), H (HEB 240-340) popřípadě zdvojené U profily (U 260-300). Ocelové zápor menších průřezů se používají v případě mikrozáporového pažení. Zápor se vkládají do předem připravených vrtů, nebo se osazují beraněním či vibrováním. Průměr vrtů je závislé na typu použitých zápor. Nejčastěji používaný průměr vrtu je 630 mm, při kterém je možné korigovat polohu ocelových nosníků posunem pro dosažení správného umístění zápor. Část zápor, která je vetknutá pod úroveň dna stavební jámy je fixovaná betonem nižší pevnosti, obvykle betonem pevnostní třídy C8/10. Část vrtu nad úroveň dna jámy po osazení zápor je vyplněna stabilizovaným materiálem nebo vyvrtanou zeminou. Osová vzdálenost zápor se pohybuje v rozmezí 1,0 až 3,0 metrů. [1]

Po vyhloubení výkopu na danou hloubku se co nejdříve osazují pažiny. Jsou to vodorovné prvky vzdorující zemnímu tlaku. Pažiny jsou tvořeny převážně dřevěnými hranoly, v některých případech fošnami, polštáři, kulatinami, ocelovými pažinami Union, betonovými prefabrikovanými prvky a stříkaným betonem s výztužnou sítí.

V případech, kdy je požadavek na rovný líc stěny se používají hraněné pažiny, ve většině případů hranoly v šířkách 60 až 120 mm, někdy i fošny s nejmenší tloušťkou 60 mm. Pažiny se umísťují mezi zápory a tvoří výplň mezi těmito svislými prvky. Po umístění pažin musí být zajištěn kontakt pažin se zeminou za rubem pažící konstrukce. Z tohoto důvodu hned po umístění jsou prázdné prostory vzniklé za rubem pažící konstrukce zasypany zeminou nebo vhodným materiálem, který je následně zhutněn po vrstvách po 0,1 m. Vyplnění prázdných prostor je důležité z důvodu vhodného chování pažící konstrukce. Opomenutí tohoto kroku může ovlivnit sousední zástavbu, poklesem zeminy za rubem pažící konstrukce by mohlo dojít k porušení přilehlých objektů. [1]



Obr. 2-4: Stěna stavební jámy zajištěna záporovým pažením [7]

V případě potřeby zajištění stability záporových pažících stěn hlubších stavebních jam se umísťují stabilizační prvky, čímž můžou být buď dočasné zemní kotvy, nebo rozpěry. Zemními kotvami se zajišťují stěny výkopů hlubších než 3 metry v jedné nebo ve více úrovních. Hlavní části zemních kotev jsou hlava, táhlo a kořen kotvy. Podle typu táhla

rozeznáváme kotvy tyčové a pramencové. Ocelová táhla se vkládají do předem připravených šikmých vrtů a kořenová část se fixuje cementovou zálivkou. Kotvení provádíme mezi záporami. Síly z kotev se roznášejí přes převázky. Jsou to většinou ocelové nosníky osazené vodorovně s délkou překrývající dvě nebo více zápor. Dalším typem stabilizačních prvků jsou rozpěry. Rozpěry jsou ocelové roury umístěné vodorovně nebo šikmo. Zajišťují se jimi výkopy s malou vzdáleností protilehlých stěn (vodorovné rozpěry), nebo se používají v rozích výkopů a v místech, kde by byla aplikace zemních kotev obtížná. [8]

Výstavba záporového pažení probíhá v několika fázích. Zápor se vkládá do předem připravených vrtů, nebo se lze beranit či vibrovat. Následuje hloubení výkopu na vhodnou úroveň a osazují se pažiny. Potom se realizují stabilizační prvky (kotvy nebo rozpěry). Pokračujeme s hloubením jámy na druhou úroveň a opakujeme předcházející kroky, dokud nedosáhneme dna stavební jámy.

Záporové pažení po skončení jeho funkce lze demontovat. Nejprve se deaktivují kotvy a odstraňují se převázky, pak se použitím vibračního beranidla vytahují zápor. Pažiny většinou nelze demontovat. [8]

### ***2.3.3 Mikrozáporové pažení***

Dalším druhem pažení stavebních jam je mikrozáporové pažení, které je alternativou záporového pažení. Je využíváno v místech, kde z důvodu nedostatku místa a prostoru není možné provádět záporové pažení. Navrhují se v městské zástavbě ve stísněných poměrech, kam se potřebné stavební stroje nedostanou (např. velkoprofilová vrtná souprava). Důvodem pro použití mikrozáporového pažení může být i požadavek na minimální tloušťku pažící konstrukce. Jde o ekonomicky nákladnější metodu zajištění než klasické záporové pažení.

Konstrukci mikrozáporového pažení tvoří mikrozápory, pažiny, stabilizační prvky a převázky. Mikrozápory jsou svislé prvky tvořeny ocelovými trubkami nebo ocelovými nosníky profilu HEB (HEB 120 až 180). Osová vzdálenost zápor je kolem 1,0 m. Ocelové nosníky se vkládají do vrtů průměru v rozmezí 130 až 300 mm. Vetknutá část mikrozápor se následně vyplní cementovou zálivkou. Vodorovné výplňové prvky jsou

tvořeny dřevěnými pažinami z fošen tloušťky víc než 40 mm, ocelovými pažinami Union nebo se nanáší stříkaný beton, který je vyztužen svařovanými ocelovými sítěmi především v poloskalních a skalních horninách. Použití stříkaného betonu je typické pro mikrozáporé pažení. Mikrozáporové stěny jsou ohledem na rozměry zápor konstrukce relativně měkké, deformovatelné. Z tohoto důvodu je nutné konstrukce doplnit kotvením či rozepřením ve více úrovních. Využívá se spíše kotevní systém, které tvoří dočasné tyčové nebo pramencové kotvy a převázky. Ve většině případů stěny mikrozáporového pažení zůstávají v zemi. Konstrukce stěny se používá jako ztracené bednění. [9]



Obr. 2-5: Stěna výkopu zajištěna mikrozáporovým pažením [10]

Postup při realizaci mikrozáporového pažení vypadá následovně. Mikrozápory se osazují do předem připravených vrtů, nebo je lze beranit. Dalším krokem je hloubení stavební jámy na první kotevní úroveň. Postupně se osazují pažiny, nebo se provádí stříkaný beton. Následuje instalace první řady zemních kotev. Provádějí se vrty a umístí se táhla kotev do cementové zálivky, pak pokračujeme injektáží kořene a předepnutím

kotev. V další fázi pokračujeme hloubením jámy na druhou kotevní úroveň. Předcházející kroky opakujeme až po dosažení dna stavební jámy. [9]

#### **2.3.4 Pilotové stěny**

Zajištění stavebních jam pilotovými stěnami je jedna z nejpoužívanějších typů trvalých pažicích konstrukcí. Pilotové stěny jsou tvořeny vrtanými pilotami o jednotném průměru, které se provádějí v řadě. Průměr pilot používaných pro zajištění stavebních jam pilotovými stěnami se pohybuje v rozmezí 0,6 až 1,2 m. [11]

Podle vzájemné osové vzdálenosti jsou pilotové stěny rozděleny do tří skupin, stěny s velkou osovou vzdáleností pilot, tangenciální a převrtávané. V případě pilotových stěn s velkou osovou vzdáleností pilot je osová vzdálenost větší než průměr navržených vrtaných pilot. Tento typ pilotových stěn nelze použít jako vodotěsnou konstrukci. Mezery mezi jednotlivými pilotami se vyplňují stříkaným betonem. Můžou být opatřeny pohledovými konstrukcemi, například prefabrikovanými panely ze železobetonu. Pilotové stěny vzniklé takovým způsobem jsou pohledové. Vhodné odvodnění konstrukce je důležitou záležitostí. Realizuje se to většinou perforovanými PE hadicemi. Kotvení je realizováno s ohledem na volnou výšku pilotové stěny v jedné nebo ve více úrovních přes předsazené železobetonové převázky. Nepříliš často navrhovaným typem jsou tangenciální pilotové stěny. Používají se jako trvalé konstrukce v případě mimořádných zatížení, kdy ze statických důvodů nelze použít piloty s velkou osovou vzdáleností. Osová vzdálenost se přibližně rovná průměru těchto pilot, popřípadě piloty se dotýkají. Výhodou tohoto typu pilotových stěn je, že je možné kotvy umístit mezi dvojice pilot tak, aby nebylo nutné použít předsazené převázky. Tangenciální pilotové stěny nejsou vodotěsné. Podobně jako u předešlého typu lze povrch stěn opatřit stříkaným betonem. Třetím typem jsou převrtávané pilotové stěny, při kterých je osová vzdálenost jednotlivých pilot menší než průměr pilot. To znamená, že se piloty vzájemně překrývají. Jsou rozšířeným typem hlavně díky své vodotěsnosti. Převrtávané pilotové stěny jsou tvořené primárními a sekundárními pilotami. Jako první se vyvrtají primární piloty, které jsou vyplněné nevyztuženým betonem. Mezi primárními pilotami se po částečném zatuhnutí provádějí sekundární piloty, které jsou vetknuty a vyztuženy armokošem. V případě, kdy je potřeba převrtávanou pilotovou

stěnu kotvit, provede se kotvení bez převázek v místě primárních pilot. Aby byla pilotová stěna souvislá, musí být dodržena poloha a svislost pilot, které jsou zajištěny použitím vodících šablon a vysoce výkonných vrtných souprav. [12]

Nespornou výhodou pilotových stěn je jejich značná únosnost a možnost provedení bez kotvení pro větší hloubku stavební jámy (volně stojící pažení). Nevýhodou pilotových stěn je prostorová náročnost vrtných souprav na prostor a skutečnost, že minimální osová vzdálenost od sousedních objektů je 0,9 m. [11]



Obr. 2-6: Pilotová stěna s velkou osovou vzdáleností pilot [13]

### ***2.3.5 Podzemní stěny***

V oblasti speciálního zakládání je jednou z nejvýznamnějších technologií zajištění stěn stavebních jam podzemními stěnami. Podzemní stěny, známé také jako milánské stěny, slouží k trvalému zajištění hlubokých stavebních jam a jsou často součástí konstrukčního systému staveb jako nosná konstrukce v podzemní části objektu.

Podzemní stěny se dělí z hlediska funkce na těsnící, pažící a konstrukční. Těsnící podzemní stěny mají zabránit prosakování vody do stavební jámy. Používají se také



k zabránění znečištění životního prostředí například v případě chemických skládek nebo skladů pohonných hmot. Těsnící podzemní stěny jsou vyráběny z dostatečně vodotěsného materiálu (jílocementová suspenze, výjimečně prostý beton). Podzemní stěny sloužící pouze k pažícím účelům se v dnešní době již nepoužívají, protože jsou schopny dlouhodobě vzdorovat účinkům vnějších zatížení díky železobetonové výplně podzemních stěn. Podzemní stěny kromě pažící funkce vytvářejí i definitivní nosnou svislou konstrukci. Podzemní stěny v tomto případě plní jak pažící, tak i konstrukční účel. Konstrukční podzemní stěny se podle vlastnosti výplně dělí na monolitické a prefabrikované podzemní stěny. V obou případech jsou vyhloubeny rýhy, které jsou zajištěné pažící suspenzí. Monolitická podzemní stěna se betonuje na místě. Osazují se armokoše a rýha se vyplní transportbetonem. Prefabrikované podzemní stěny tvoří železobetonové prefabrikáty. Do rýh, které jsou vyplněny ve většině případů samotvrdnoucí suspenzí se umísťují prefabrikáty. Jednou z výhod prefabrikovaných podzemních stěn je kvalitní povrch konstrukce. Pro zajištění těsnící funkce se mezi lamely vkládají těsnící pásy (tzv. water-stopy). Podzemní stěny můžou být kotvené dočasnými pramencovými nebo tyčovými zemními kotvami. [1]



Obr. 2-7: Osazování prefabrikátu do rýhy vyplněné samotvrdnoucí pažící suspenzí [14]

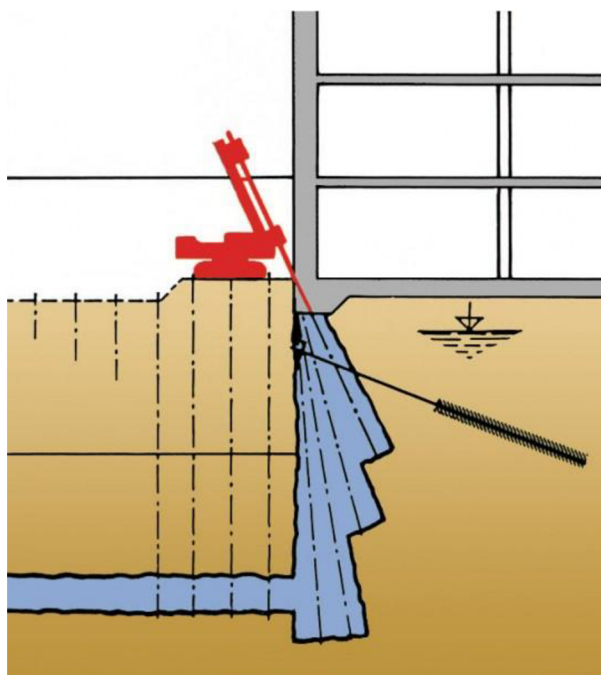
### 2.3.6 Konstrukce z tryskové injektáže

Konstrukce z tryskové injektáže tvoří jednotlivé sloupy či lamely tryskové injektáže. Slouží k podchycení základů přilehlého objektu, k zesilování již existujících základů popřípadě ke zhotovování těsnících a pažicích stěn. Stěny tvořeny sloupy tryskové injektáže můžou být považovány za vodotěsnou. [1]

Základním principem této metody je rozpojování a mísení zeminy s injekční směsí v okolí vrtu. Injektáž cementové směsi je prováděna pod vysokým tlakem. Po zatuhnutí zemin smíšených s cementovou směsí vzniknou prvky tryskové injektáže (sloupy, lamely) a injektované prostředí bude mít zlepšené vlastnosti. [15]

V případě stavebních jam hlubších než 4,0 m se provádí kotvení ve více úrovních nebo se trysková injektáž kombinuje s jinou metodou pažení, například mikrozáporovým pažením. [1]

Nevýhodou konstrukcí z tryskové injektáže je malá ohybová únosnost. Potřebnou ohybovou únosnost lze získat zvětšením tloušťky konstrukce, nebo kombinováním jinými metodami pažení. [1]



Obr. 2-8: Zajištění stavební jámy a přilehlého objektu [16]

### 2.3.7 Štětovicové stěny

Zajištění jámy štětovicovými stěnami je dalším možným druhem pažení stavebních jam. Těsnící funkci štětovicových stěn lze využít při zajištění výkopů pod vodou, například v případě protipovodňových opatření nebo nábrežních zdí. [17]

Základními prvky štětovicových stěn jsou válcované ocelové prvky, tzv. štětovnice. Nejpoužívanějšími prvky jsou štětovnice typu Larsen. Štětovnice se osazují do základové půdy vibroberaněním, jsou spojeny zámkem a v rozích se svařují. V závislosti na hloubce stavební jámy může být tento typ pažení kotvené či rozepřené v jedné nebo ve více úrovních. Po skončení stavby vnitřní konstrukce můžou být štětovnice vytaženy a lze je použít znovu. [1]

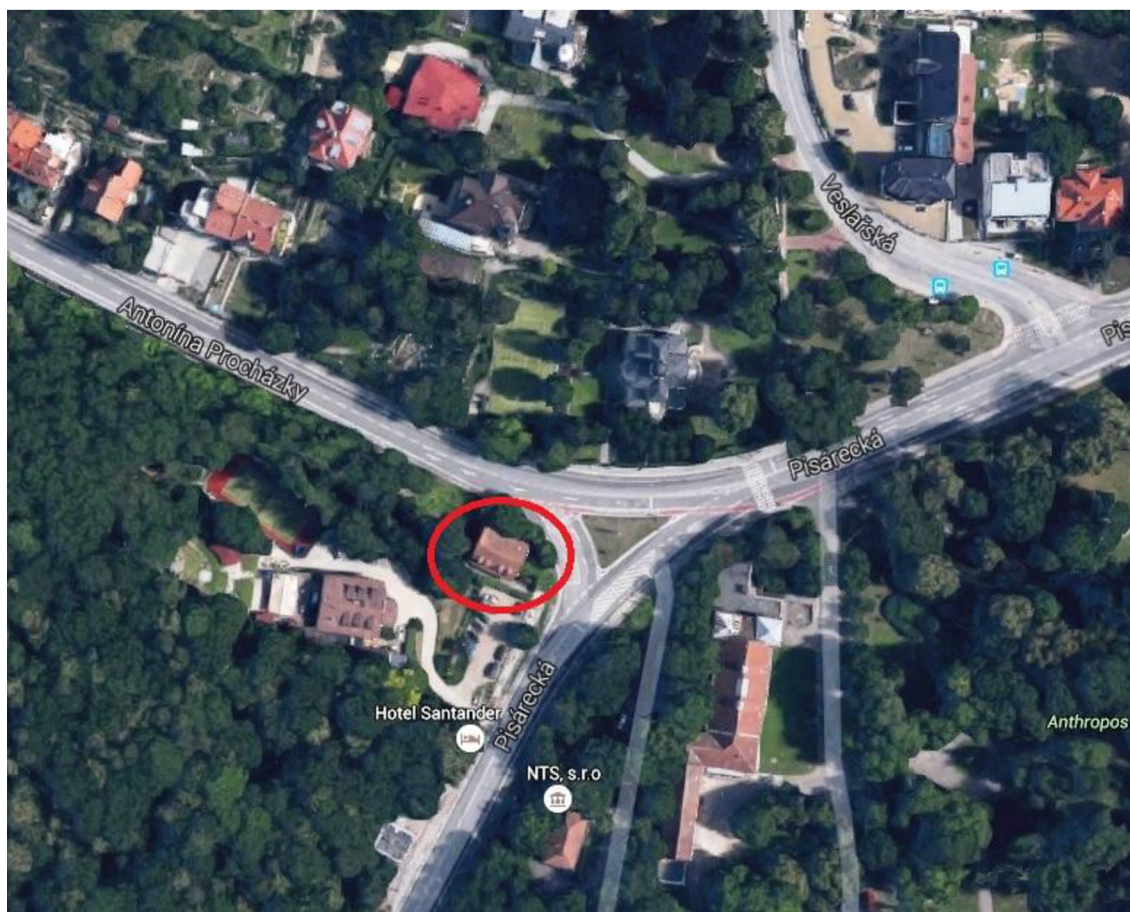


Obr. 2-9: Zajištění stavební jámy štětovicovými stěnami [18]

### 3. NÁVRH ZAJIŠTĚNÍ STAVEBNÍ JÁMY V BRNĚ

#### 3.1 Úvod

Jak již bylo uvedeno výše, úkolem bakalářské práce je ve druhé, praktické části, navrhnout bezpečné a ekonomické zajištění konkrétní stavební jámy v daných geologických podmínkách. Konkrétní stavbou je polyfunkční dům ve stávajícím areálu hotelu v Brně - Pisárkách na křižovatce ulic Pisárecká a Antonína Procházky. Původní administrativní budova na tomto místě byla zbořena a na jejím místě byl navržen polyfunkční dům se čtyřmi nadzemními a dvěma podzemními podlažími. Podzemní podlaží se zařezávají do terénu svahu nad ulicí Pisárecká a Antonína Procházky. Celý stávající areál hotelu se nachází na svažitéch pozemcích. Bylo třeba zajistit západní a jižní stranu stavební jámy.



Obr. 3-1: Původní budova na místě stavby [19]

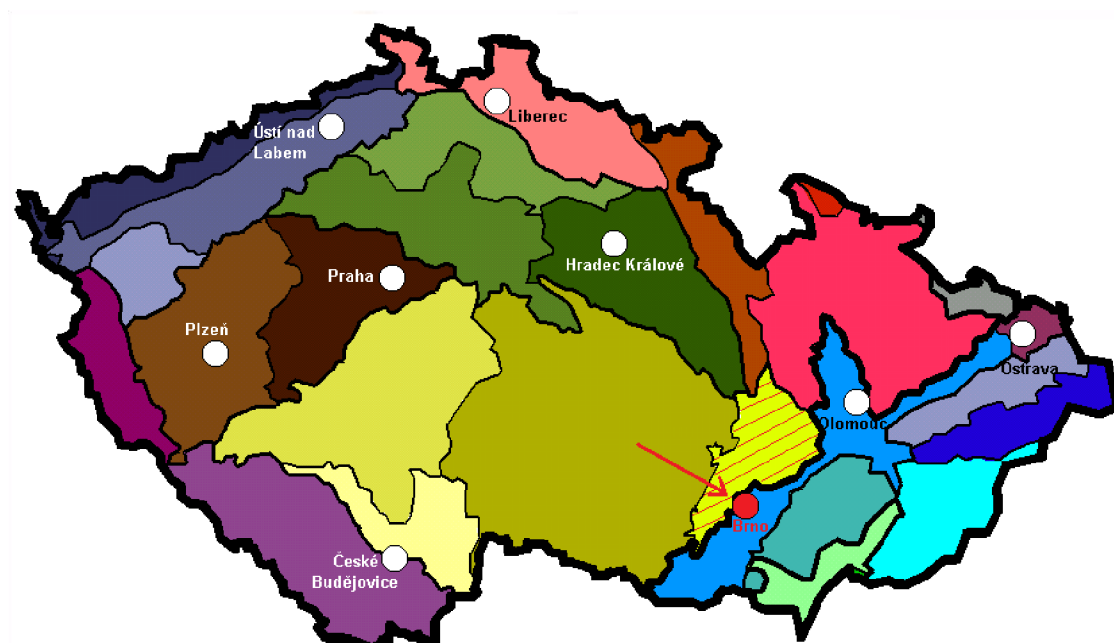
### 3.2 Geomorfologické, geologické a hydrogeologické poměry

Navrhovaná stavba se nachází v západní zastavěné části města Brna, v katastrálním území Pisárky. Staveniště polyfunkčního domu je součástí již existujícího areálu hotelu s dobrým napojením na dopravní a technickou infrastrukturu. Stavební pozemek se sestává ze čtyř na sebe navazujících parcel (1437/5, 1446/1, 1446/3, 1448). Zastavěné území okolí je většinou tvořeno volně stojícími domy. Místo stavby neleží v poddolovaném území.



### 3.2.1 Geomorfologické poměry

Předmětný stavební pozemek leží ve svahu. Jižní část pozemku se svažuje k východu, severní část prudce k severu. Nadmořská výška staveniště se pohybuje v rozmezí 216,3 až 224,5 m n. m. Město Brno leží z hlediska regionálně-geomorfologického členění reliéfu ČR na hranici dvou geomorfologických provincií (Česká vysočina a Západní Karpaty). Námí řešené území v Brně - Pisárkách spadá do soustavy Česko-moravské, podsoustavy Brněnské vrchoviny, celku Bobravské vrchoviny a podcelku Lipovské vrchoviny. [21]



Obr. 3-3: Geomorfologické členění ČR - podsoustava Brněnské vrchoviny [22]

### 3.2.2 Geologické a hydrogeologické poměry

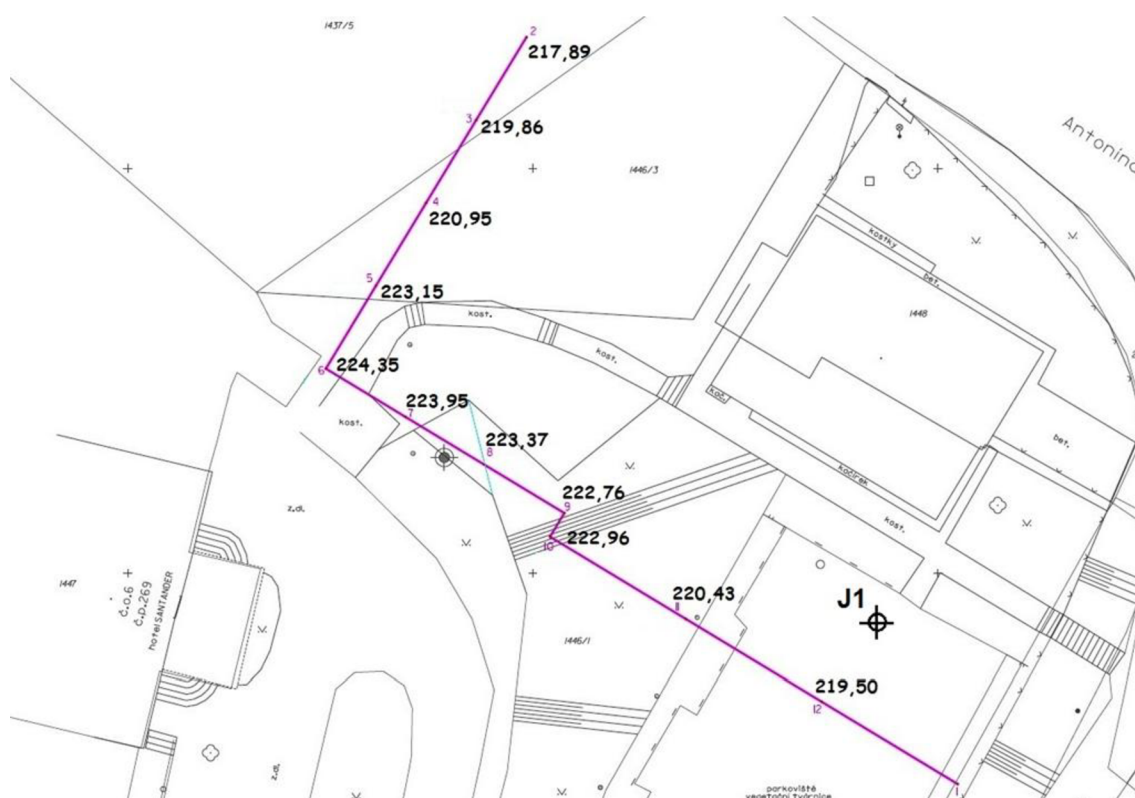
Podloží je pokryto kvartérním pokryvem mocnosti cca 50 m. Jedná se o svahové sedimenty, které obsahují i zbytky štěrkových sedimentů a jsou dále tvořeny plynými polohami písků, písčitých jílu, hlouběji i jílovitých zemin. Geologické podloží tvoří spraše mocností zhruba 12 m. Pod vrstvou spraši se nacházejí říční štěrky a neogenní jíly. Hlubší skalní podloží tvoří vyvěřeliny brněnského masívu (leukokratní tonalit typu Jundrov). Úroveň hladiny podzemní vody byla nalezena v hloubce 12,7 m v místě průzkumného vrtu J1. Je v úrovni 207 m n. m. [23]

### 3.2.3 Archivní podklady

V archivu Geofondu Praha nejsou k dispozici z prostoru areálu žádné výsledky průzkumných prací. Podle vyjádření správce byla v blízkém okolí vyhloubena vrtaná studna do hloubky přibližně 60 m. Skalní podloží bylo v hloubce 52 m. Nadloží je tvořeno střídáním soudržných zemin s plytkými polohami štěrků, písků a sutí. [23]

### 3.2.4 Průzkumné práce

Při návrhu zajištění stavební jámy a základových konstrukcí se vycházelo ze zprávy inženýrsko-geologického a hydrogeologického průzkumu (provedený firmou IGM v roce 2014). V rámci průzkumu byla provedena vrtaná sonda označená jako J1. Průzkumný vrt byl proveden jádrovým způsobem do hloubky 13,7 m. Vrt byl hlouben pomocí vrtného nářadí o průměru 156 mm při pažení PVC pažnicemi o průměru 125 mm do hloubky 13,0 m. Z vrtu byly odebírány dokumentační vzorky zemin a byly ukládány do plastových vzorkovnic. [23]



Obr. 3-4: Poloha vrtané sondy J1 a výšky svahu v některých bodech v místě budoucí pažící konstrukce [22]

Z důvodu nepřístupnosti terénu v okolí původního administrativního objektu, která byla později zbořena, byly provedeny dva doplňující vrty až po demolici této budovy v prostoru podél ulice Pisárecké. [23]

### ***3.2.5 Geotechnické hodnocení staveniště***

Zájmové území leží výškově v rozmezí kót 216,3 až 224,5 m n. m. Jedná se o lokalitu se složitými základovými poměry. Jelikož jde o zakládání stavby ve svahu s výškou zářezu někdy i více než 6 metrů je nutné svah nebo stěny stavební jámy zajistit vhodnou pažicí konstrukcí. Vzhledem k poměrně velkému zatížení od navržené budovy a k výškové členitosti stavby je potřeba navrhnout založení na pilotových základech s patami opřených minimálně v tvrdých jílech označených F8 podle klasifikace zemin. [23]

## **3.3 Návrh pažení stavební jámy**

Statický výpočet byl zpracován na základě zjištěných údajů z inženýrsko-geologického a hydrogeologického průzkumu dané lokality. Geologický průzkum obsahoval jednu vrtanou sondu a dva průzkumné vrty. Geotechnické parametry zemin použité ve výpočtu byly určeny laboratorní analýzou odebraných vzorků.

Maximální hloubka stavební jámy je 8,0 m. Okolní zástavbu tvoří převážně volně stojící domy, v blízkosti jižní stěny jámy se nachází hotel. Geologický profil je tvořen sprašovými hlínami do hloubky 7,0 m. Pod touto vrstvou jsou jíly se střední plasticitou s tloušťkou vrstvy 1,9 m, jílovité štěrky mocnosti 1,2 m a silně písčité jíly s tloušťkou 2,3 m. Hluběji se nachází písčité štěrky. [23]

### ***3.3.1 Záporové pažení***

Vzhledem ke geologickým i jiným podmínkám a s přihlédnutím k ekonomickému hledisku, bylo vybráno záporové pažení, které patří mezi nejvíce používané metody zajištění. Skládá se ze zápor, z pažin, ze zemních kotev a z převázek. V případě hmotnosti stavebních strojů a vozidel do 24 t a vzdálenosti spodní hrany podvozku od rubu pažicí konstrukce větším než 3 m může být jejich působení nahrazen

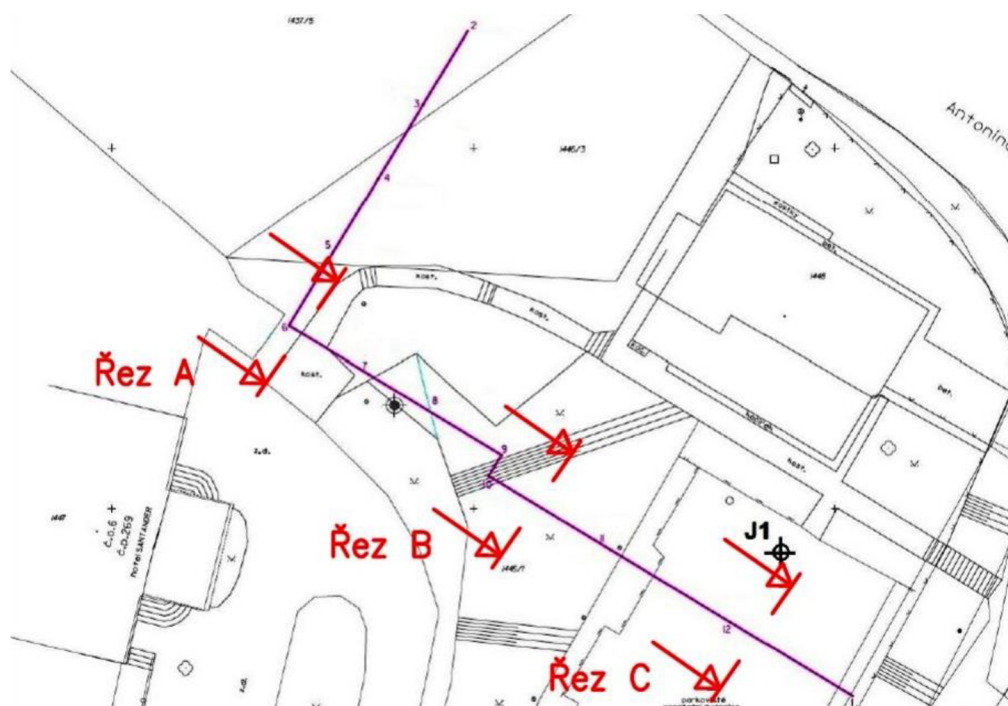


rovnoměrným zatížením, přitížením povrchu za rubem pažící konstrukce  $10 \text{ kN/m}^2$ . [24]

Pro náš úkol byly použity zápory profilu HEB 140 v osové vzdálenosti 1,75 m a pažiny z dřevěných hranolů. Jsou to ocelové nosníky válcované za tepla a hranoly tloušťky 80 mm. Jelikož jde o stavební jámu hlubokou místy i více než 6 metrů bylo pažení kotveno dočasnými dvoupramencovými kotvami různých délek pod úhlem  $15^\circ$  od vodorovné roviny. Pramencové kotvy v našem případě jsou složeny ze dvou pramenců o průměru 15,5 mm. Vetknutá část zápor pod úrovní dna stavební jámy je fixovaná betonem nižší pevnosti. Úkolem tedy bylo navrhnout pažení západní a jižní strany stavební jámy.

### 3.4 Statický výpočet

Pro statický výpočet zajištění stavební jámy polyfunkčního domu v Brně - Pisárkách byl použit program GEO5 společnosti Fine. Podkladem pro statický výpočet byli geotechnické parametry zemin z vrtané sondy J1. Parametry zemin byli určeny na základě laboratorní analýzy.



Obr. 3-5: Vyznačené řezy pro statický výpočet [22]

Statický výpočet byl proveden ve třech řezech v místě pažící stěny. V řezu A je výška stěny stavební jámy 8,0 m, v řezu B 6,0 m a v řezu C 3,5 m.

### 3.4.1 Metoda výpočtu

Návrh a výpočet pažící konstrukce byl proveden pomocí programu GEO5 Pažení návrh a GEO5 Pažení posudek společnosti Fine. Software pracuje na základě metody závislých tlaků. Metoda je založena na předpokladu, že zemina v blízkosti podzemní stěny se chová jako ideální pružnoplastický materiál. Tento materiál je daný následujícími parametry. Modul reakce podloží  $k_h$  popisuje přetvoření zemin v pružné oblasti. Dalším parametrem jsou omezující deformace. Při překročení těchto hodnot se změní chování zemin na ideálně plastické.

Program GEO5 Pažení posudek nabízí několik možností na zadání modulu reakce podloží: průběhem, jako parametr zeminy, podle Schmitta, podle Chadeissona, podle Menarda, podle CUR 166, modul reakce podloží určený iterací, podle čínských norem.

Pro náš úkol byl vybrán způsob výpočtu modulu reakce podloží podle Schmitta. Vztah používaný pro výpočet modulu  $k_h$  podle Schmitta závisí na edometrickém modulu přetvárnosti zeminy a na ohybové tuhosti konstrukce a je dána následujícím vztahem:

$$k_h = 2,1 \left( \frac{E_{oed}^{4/3}}{(EI)^{1/3}} \right) \quad (3-1)$$

EI - ohybová tuhost konstrukce v MNm<sup>2</sup>/m

E<sub>oed</sub> - edometrický modul v MPa

Výpočet podle metody závislých tlaků je založen na dvou předpokladech. Zemní tlak působí na konstrukci s libovolnou velikostí při dodržení intervalu mezi aktivním a pasivním tlakem a na nedeformovanou konstrukci působí zatížení o velikosti rovné tlaku v klidu. Postup výpočtu začíná přiřazením modulu  $k_h$  všem prvkům modelu. Konstrukce se zatíží zemním tlakem v klidu. Po provedení výpočtu se zkontrolují velikosti působících tlaků a v místech, kde nejsou splněny podmínky o velikosti tlaků se přiřadí hodnota  $k_h = 0$  a stěna se zatíží aktivním nebo pasivním tlakem. Tento postup se opakuje až do splnění všech podmínek. [25]

### 3.4.2 Nastavení výpočtu

Součinitele EN 1992-1-1:	standardní
Výpočet aktivního tlaku:	Coulomb (ČSN 730037)
Výpočet pasivního tlaku:	Caquot-Kerisel (ČSN 730037)
Redukovat modul reakce podloží pro záporové pažení	
Metodika posouzení:	výpočet podle EN1997
Návrhový přístup:	2 - redukce zatížení a odporu
Vlastní výpočet mezních tlaků:	neredukovat
Počet dělení stěny na konečné prvky:	30
Součinitel pro výpočet min. dm. tlaku ( $\sigma_{z,min} = k\sigma_z$ ):	$k = 0,20$ [26]

### 3.4.3 Vstupní parametry

#### 3.4.3.1 Parametry zemin

Tab. 3-1: Vstupní parametry zemin

Zemina	Zatřídění (dle neplatné ČSN731001)	Metráž [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$\delta$ [°]	$\nu$	$E_{def}$ [MPa]
Sprašové hlíny	F6-CL	0,0-7,0	21	19	16	11	0,4	7
Jíly se střední plasticitou	F6-CI	7,0-8,9	21	18	14	11	0,4	3
Štěrkovitý jíl	G5-GC	8,9-10,1	19,5	30	6	17	0,3	50
Silně písčité jíl	F4-CS	10,1-12,4	18,5	23	16	14	0,35	5
Písčité štěrk	G3-GF	od 12,4	19	35	0	22	0,25	90

### 3.4.3.2 Pažící stěna

Stěna pažící konstrukce se sestává z ocelových zápor a dřevěných pažin. Program počítá pažící stěnu na šířku jeden metr. Vstupní parametry a geometrie pažící stěny jsou uvedeny níže.

Typ ocelových nosníků:	HEB 140
Délky ocelových nosníků:	11,0 m; 9 m; 5,5 m
Osová vzdálenost zápor:	1,75 m
Modul pružnosti:	$E = 210\,000 \text{ MPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81\,000 \text{ MPa}$
Plocha průřezu:	$A = 2,45 * 10^{-3} \text{ m}^2$
Moment setrvačnosti:	$I = 8,62 * 10^{-6} \text{ m}^4$

### 3.4.3.3 Charakteristika kotev

Pro zajištění pažící stěny konstrukce byly použity dočasné dvoupramencové kotvy. Jsou vyrobeny z předpínací oceli třídy 1570/1770. Průměr pramenců je 15,5 mm. Osová vzdálenost použitých kotev je v řezu A 1,75 metrů a v řezech B a C s menší výškou stěny stavební jámy 3,5 metrů. Po zhotovení jednotlivých kotevních úrovní budou kotvy předepruty.

### 3.4.4 Fáze výpočtu - Řez A

Výpočet byl proveden ve fázích:

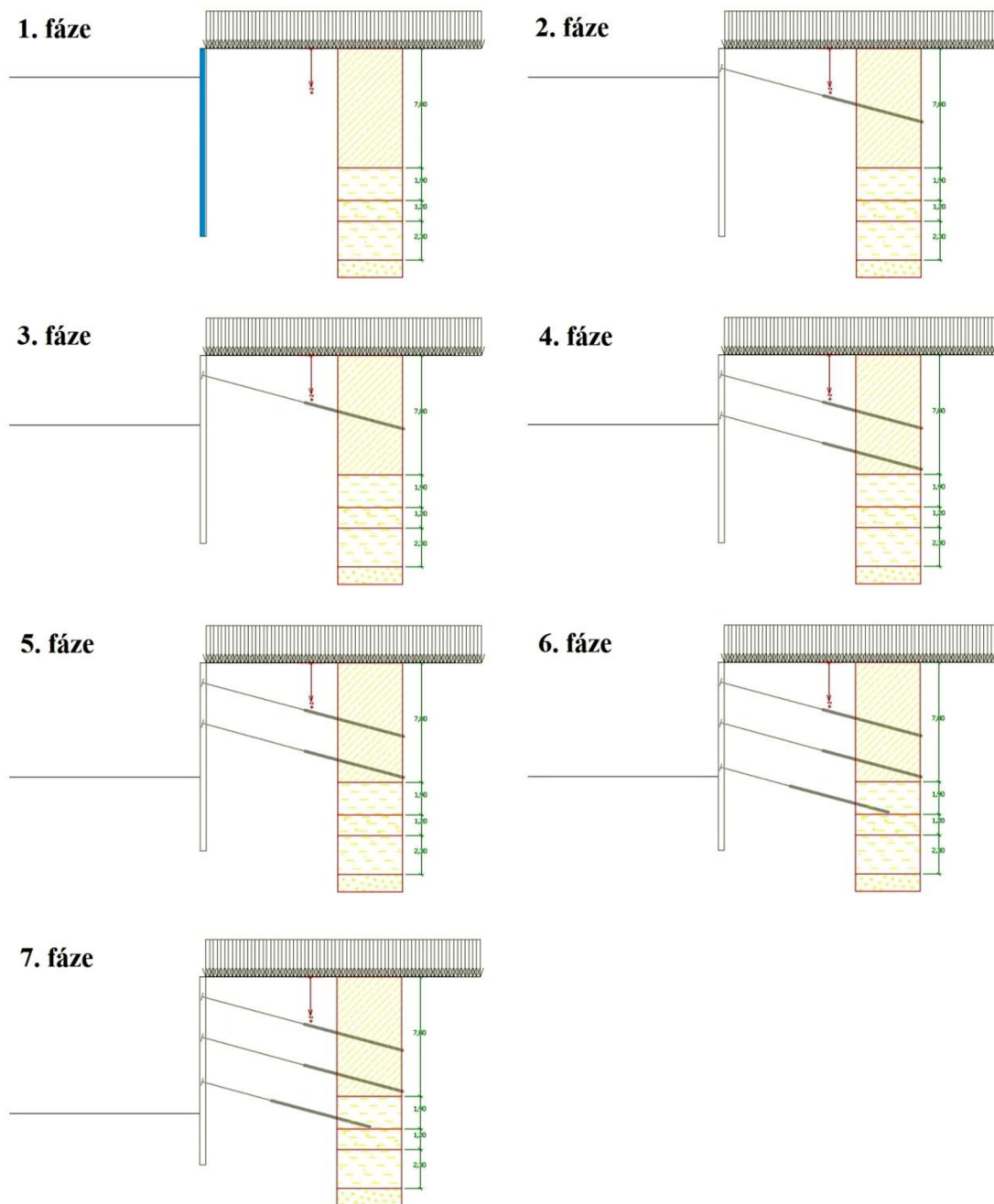
1. fáze: Hloubení jámy na hloubku -1,7 m, čili 0,5 m pod první kotevní úroveň
2. fáze: Aplikace a předeprnutí první řady kotev
3. fáze: Hloubení jámy na druhý kotevní úroveň -4,1 m

4. fáze: Aplikace a předeptnutí druhé řady kotev

5. fáze: Hloubení jámy na třetí kotevní úroveň -6,7 m

6. fáze: Osazení a aktivace třetí řady kotev

7. fáze: Hloubení stavební jámy na konečnou hloubku -8,0 m



Obr. 3-6: Jednotlivé fáze výpočtu -Řez A [26]

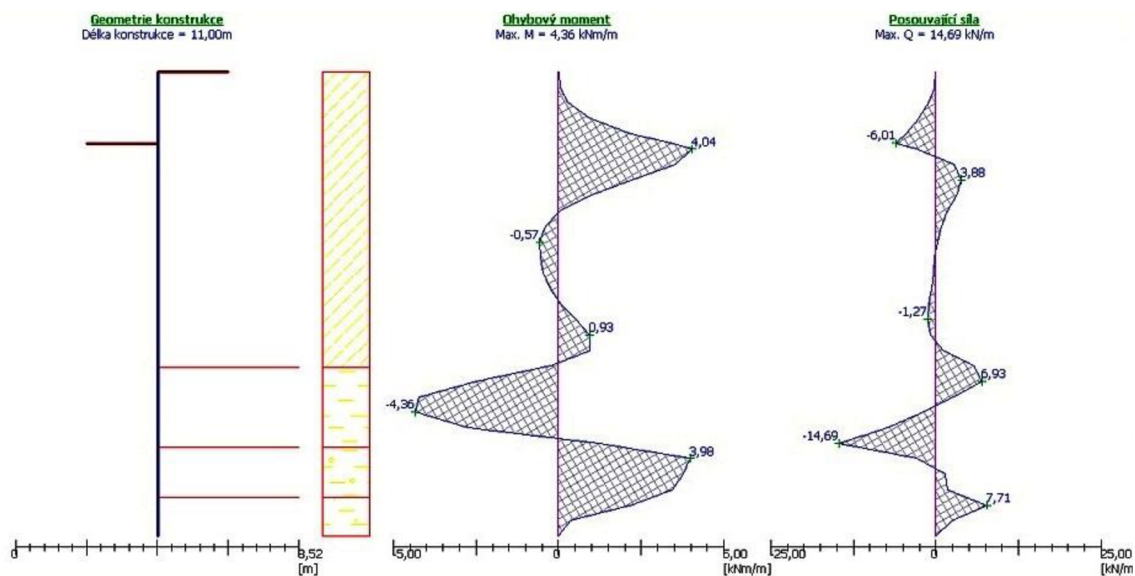
### 3.4.5 Výsledky výpočtu - Řez A

#### 3.4.5.1 Fáze 1 - Hloubení na první kotevní úroveň

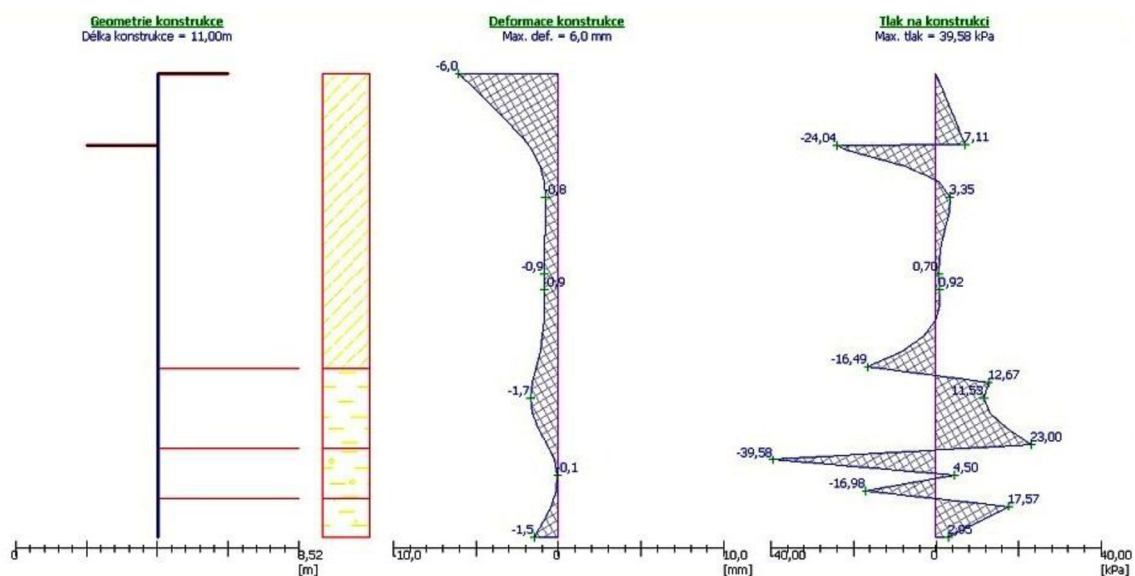
Maximální posouvající síla: 14,69 kN/m

Maximální deformace: 6,0 mm

Maximální moment: 4,36 kNm/m



Obr. 3-7: Vnitřní síly - Fáze 1 [26]



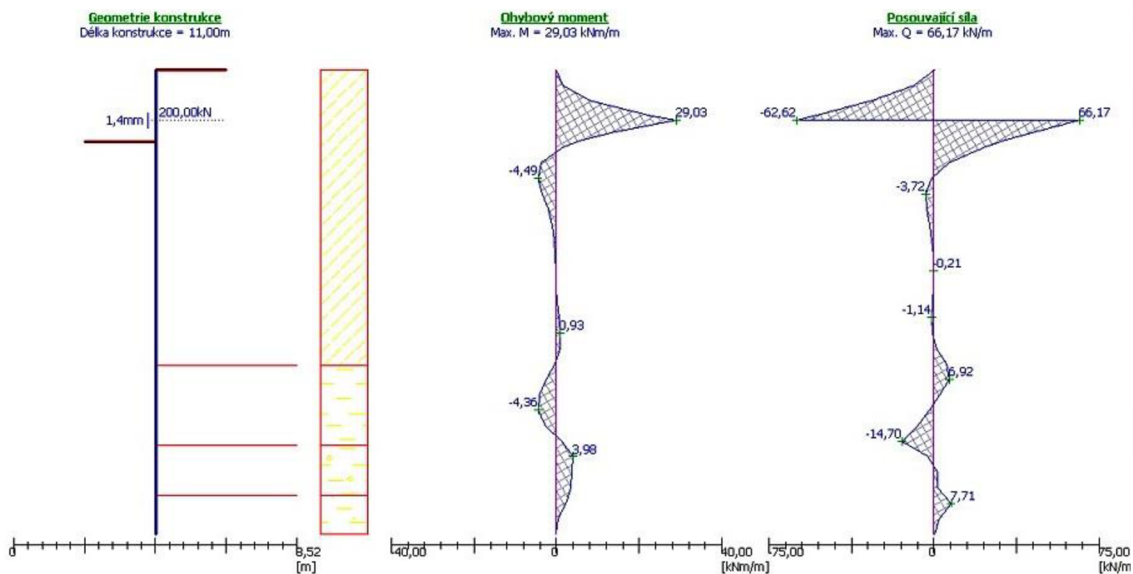
Obr. 3-8: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 1 [26]

### 3.4.5.2 Fáze 2 - Aplikace a předeptnutí první řady kotev

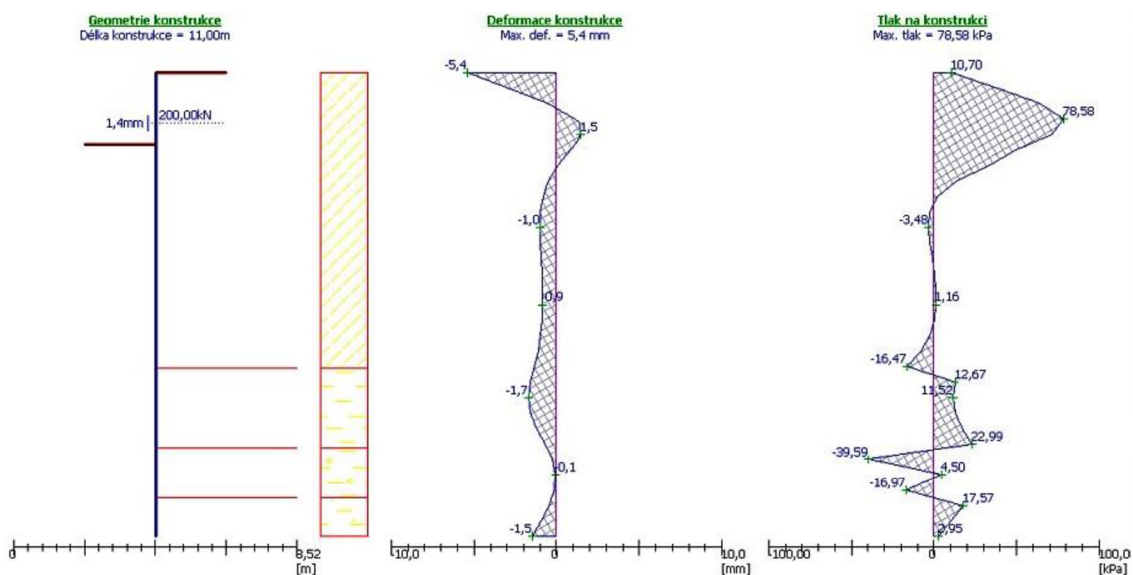
Maximální posouvající síla: 66,17 kN/m

Maximální moment: 29,03 kNm/m

Maximální deformace: 5,4 mm



Obr. 3-9: Vnitřní síly - Fáze 2 [26]



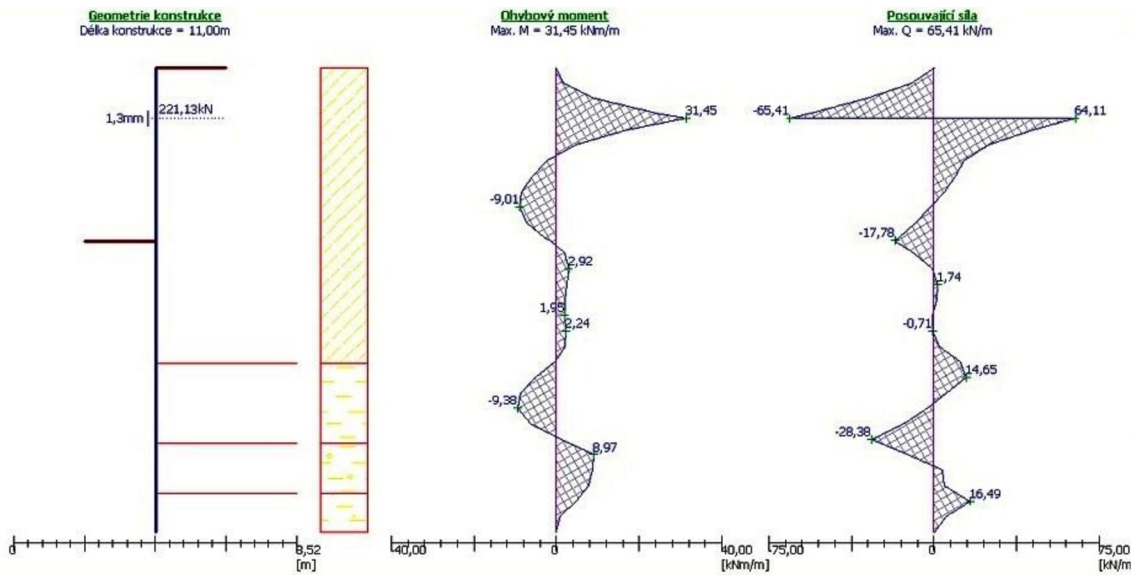
Obr. 3-10: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 2 [26]

### 3.4.5.3 Fáze 3 - Hloubení na druhou kotevní úroveň

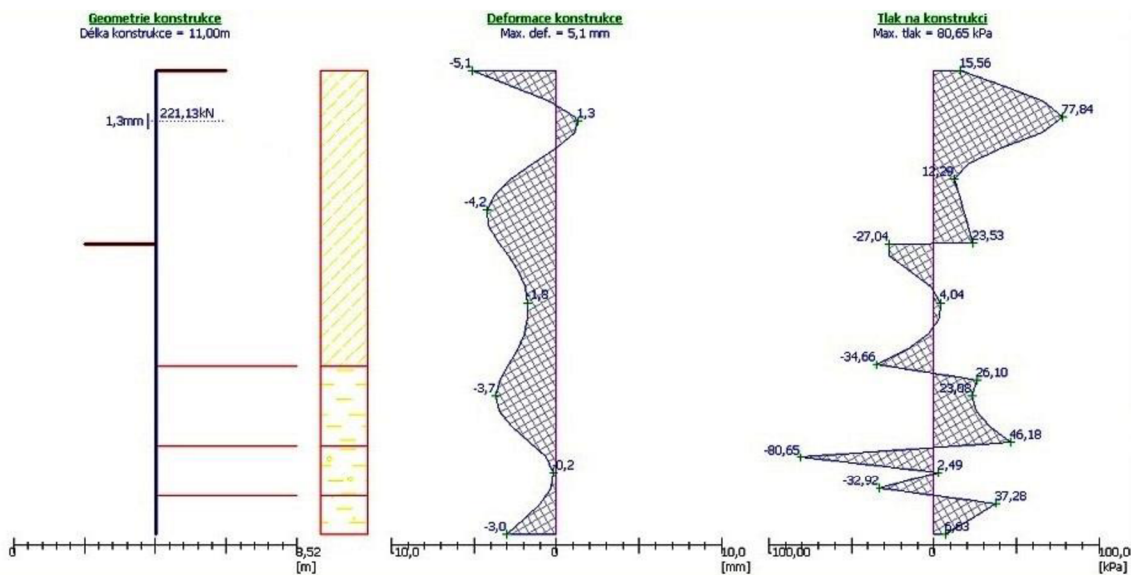
Maximální posouvající síla: 65,41 kN/m

Maximální moment: 31,45 kNm/m

Maximální deformace: 5,1 mm



Obr. 3-11: Vnitřní síly - Fáze 3 [26]



Obr. 3-12: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 3 [26]

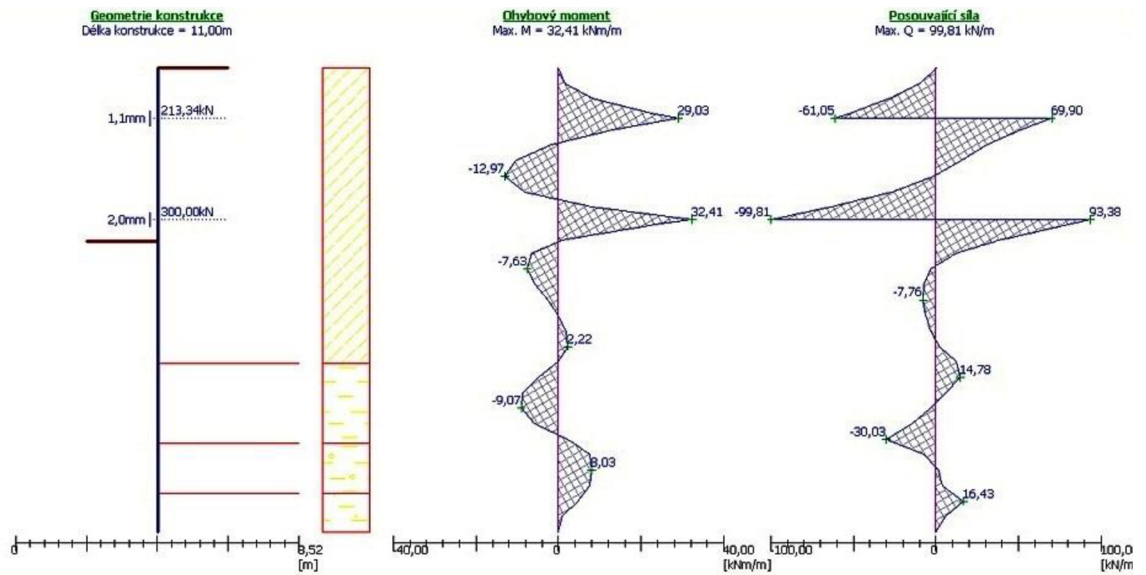


### 3.4.5.4 Fáze 4 - Aplikace a předeptnutí druhé řady kotev

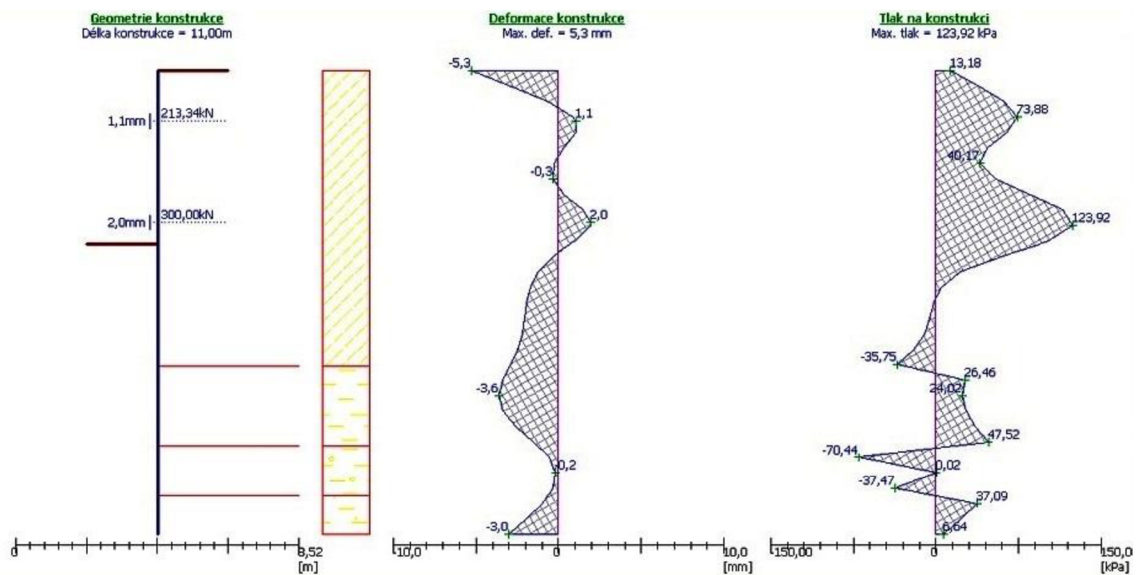
Maximální posouvající síla: 99,81 kN/m

Maximální moment: 32,41 kNm/m

Maximální deformace: 5,3 mm



Obr. 3-13: Vnitřní síly - Fáze 4 [26]



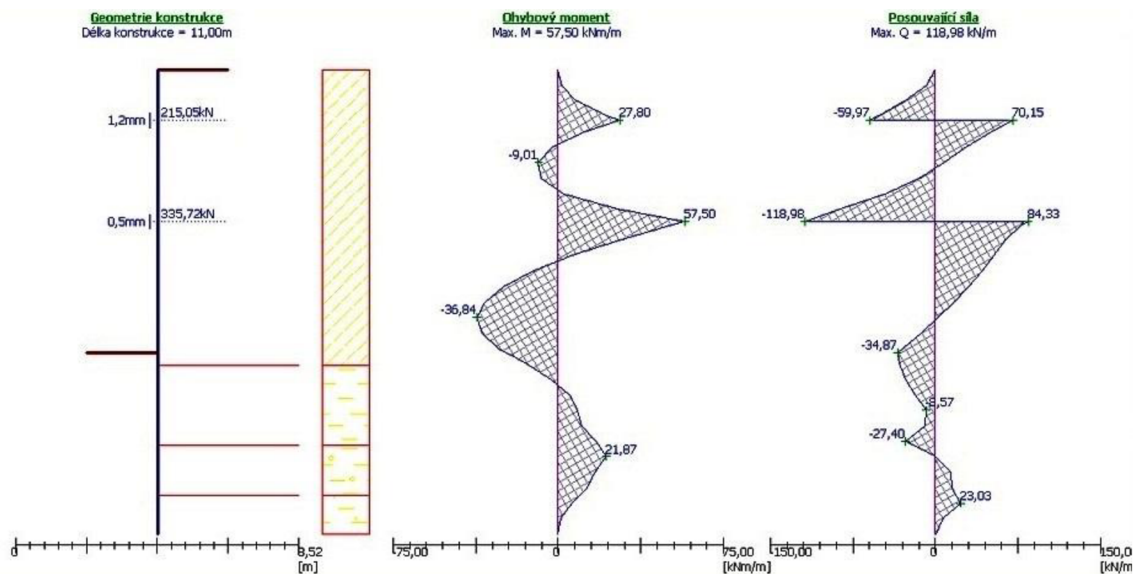
Obr. 3-14: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 4 [26]

### 3.4.5.5 Fáze 5 - Hloubení na třetí kotevní úroveň

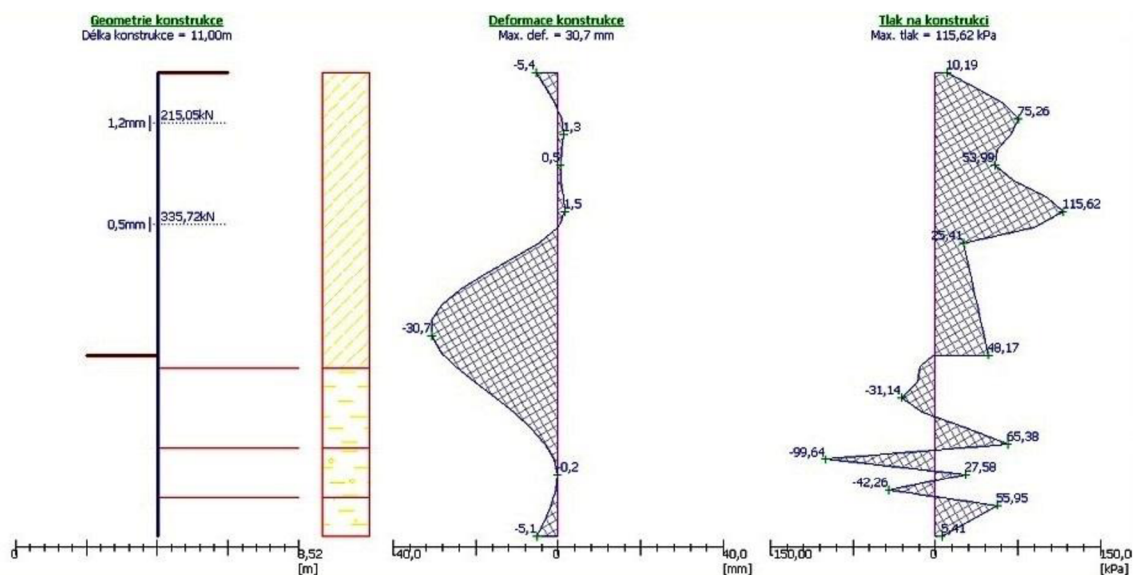
Maximální posouvající síla: 118,98 kN/m

Maximální moment: 57,50 kNm/m

Maximální deformace: 30,7 mm



Obr. 3-15: Vnitřní síly - Fáze 5 [26]



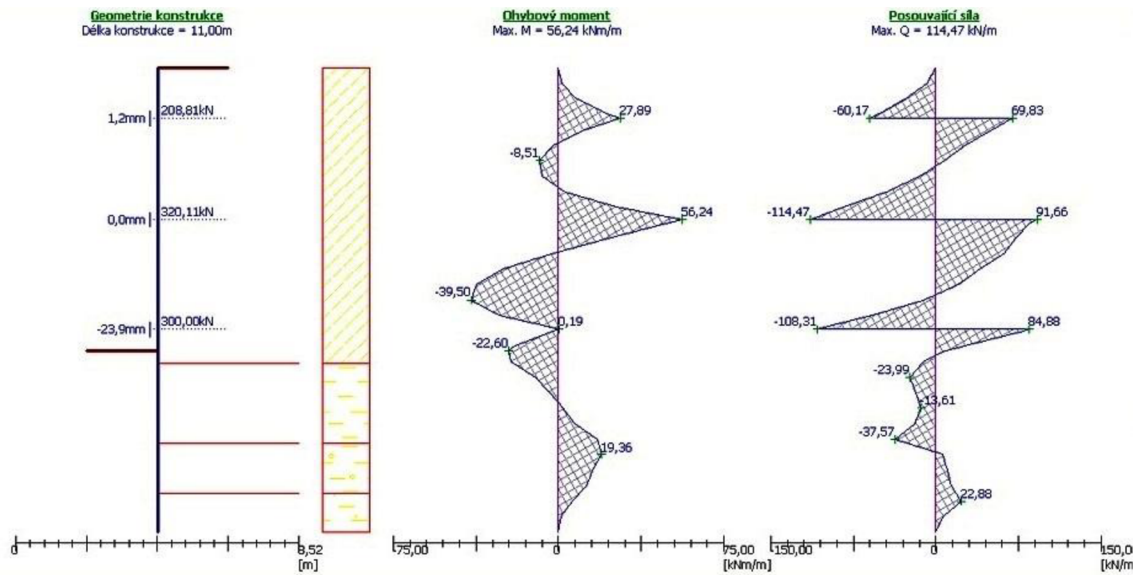
Obr. 3-16: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 5 [26]

### 3.4.5.6 Fáze 6 - Aplikace a předepnutí třetí řady kotev

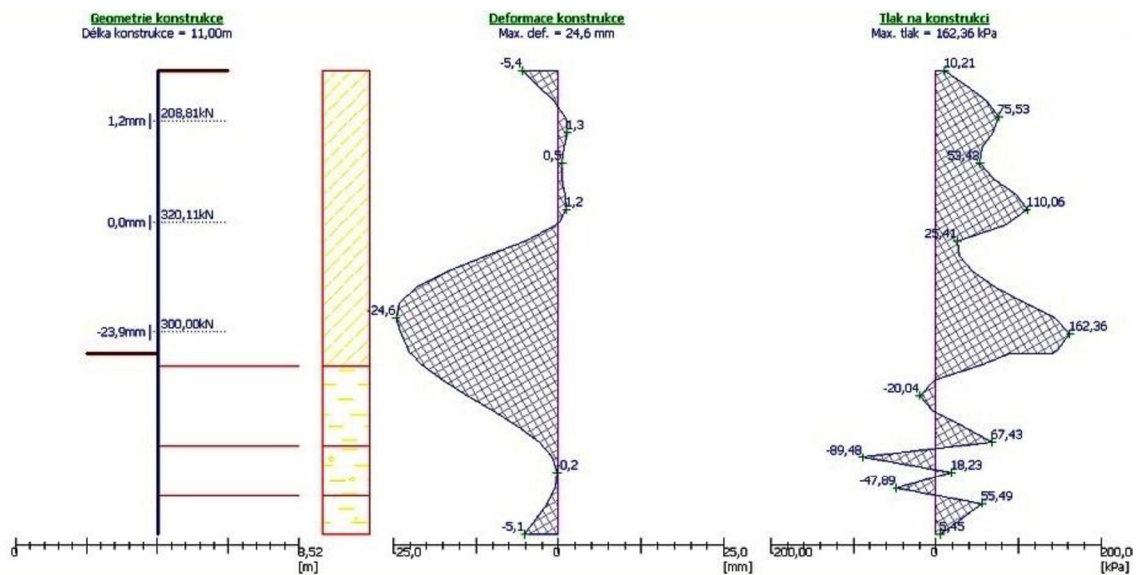
Maximální posouvající síla: 114,47 kN/m

Maximální moment: 56,24 kNm/m

Maximální deformace: 24,6 mm



Obr. 3-17: Vnitřní síly - Fáze 6 [26]



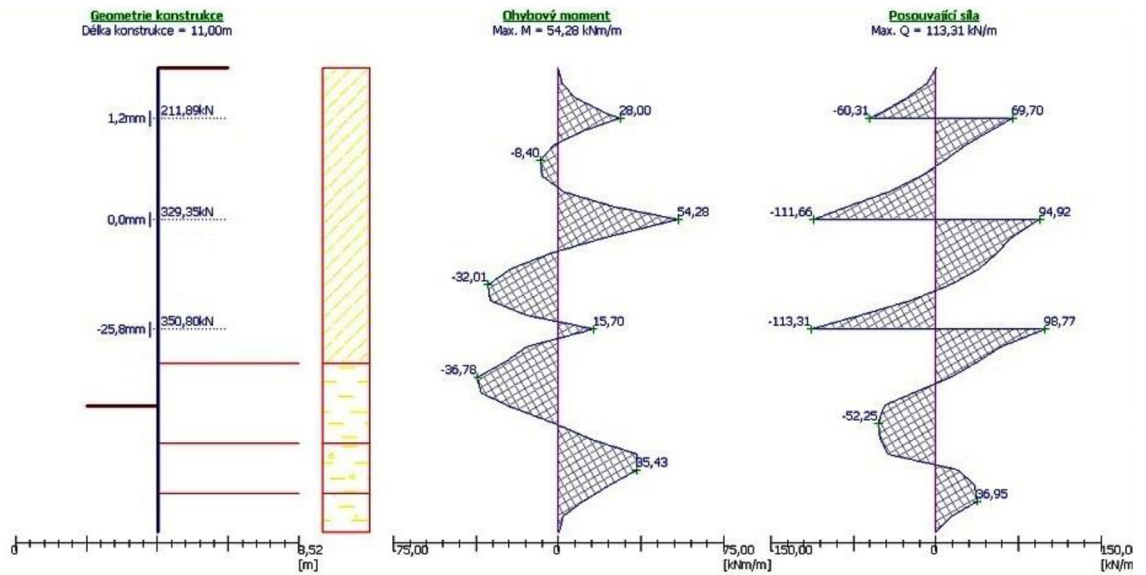
Obr. 3-18: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 6 [26]

### 3.4.5.7 Fáze 7 - Hloubení na konečnou úroveň stavební jámy

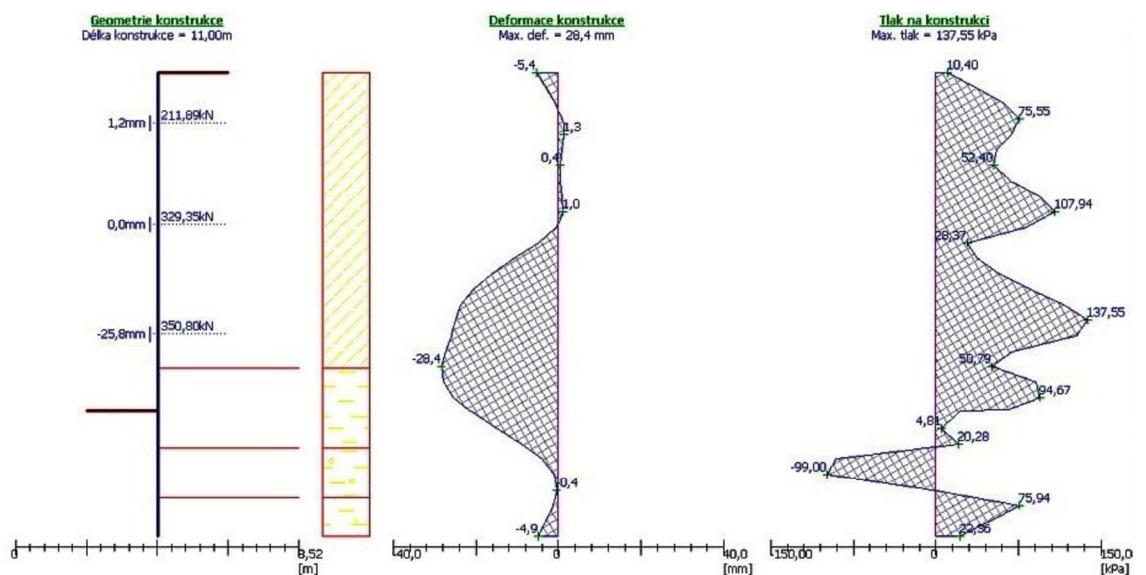
Maximální posouvající síla: 113,31 kN/m

Maximální moment: 54,28 kNm/m

Maximální deformace: 28,4 mm



Obr. 3-19: Vnitřní síly - Fáze 7 [26]

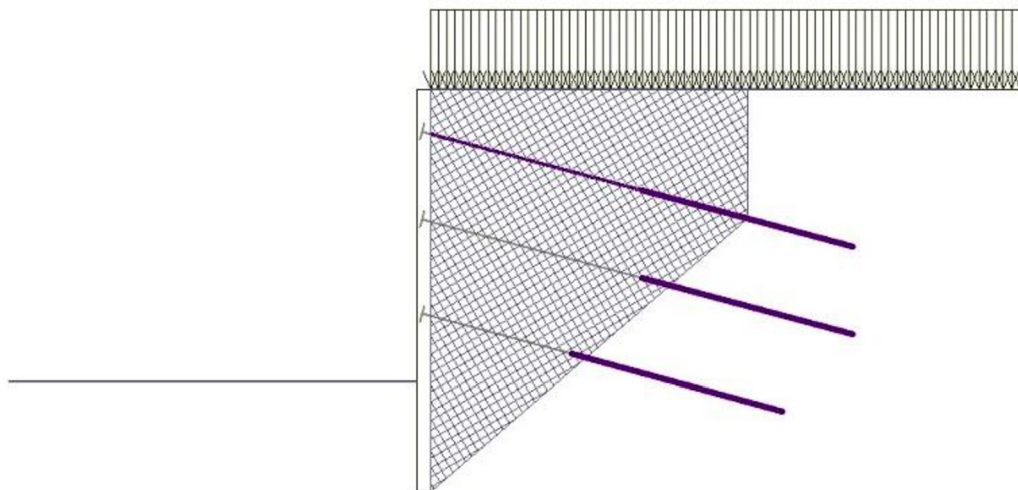


Obr. 3-20: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 7 [26]

### 3.4.5.8 Vnitřní stabilita

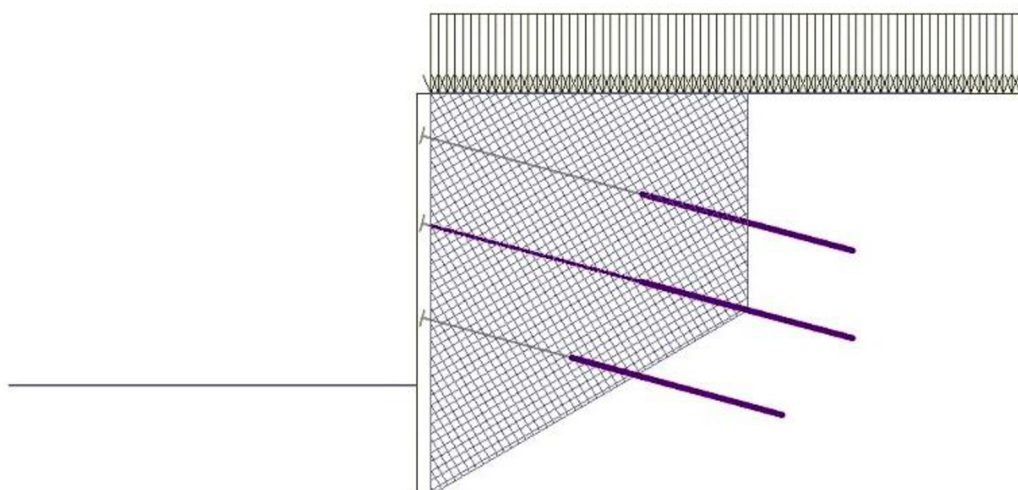
Stupeň stability se počítá dělením maximální přípustné síly v kotvě se silou v kotvě.

Stupeň stability v první kotevní úrovni:  $SB > SB_{\min}$ ,  $2,18 > 1,50$



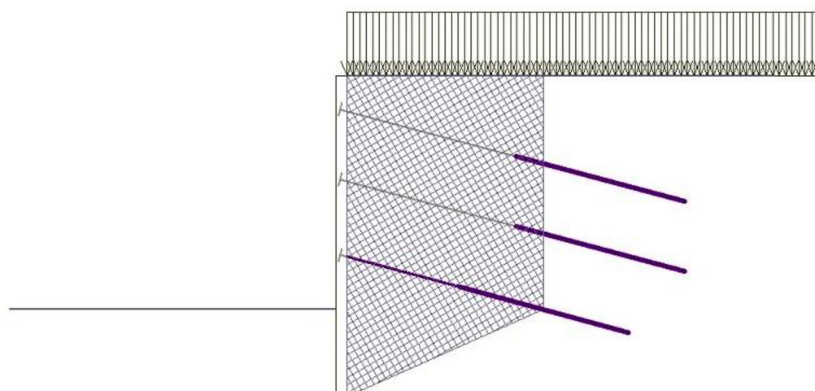
Obr. 3-21: Vnitřní stabilita - první kotevní úroveň [26]

Stupeň stability ve druhé kotevní úrovni:  $SB > SB_{\min}$ ,  $2,20 > 1,50$



Obr. 3-22: Vnitřní stabilita - druhá kotevní úroveň [26]

Stupeň stability ve třetí kotevní úrovni:  $SB > SB_{\min}$ ,  $3,06 > 1,50$



Obr. 3-23: Vnitřní stabilita - třetí kotevní úroveň [26]

*Pozn.:* Výstupy z programu GEO5 pro řezy B a C lze nalézt v Příloze C.

## 3.5 Technologický postup výstavby

### 3.5.1 Vytyčení

Pro zajištění stavební jámy polyfunkčního domu v Brně - Pisárkách ve stávajícím areálu hotelu byl navržen záporové pažení.

Před výstavbou konstrukce záporového pažení se provedl geodetické zaměření a vytyčení polohy zápor. Určuje se výškový bod. Při měření se vychází z tohoto bodu, od kterého se určují nivelací výškové kóty a polohy jednotlivých zápor.

### 3.5.2 Aplikace zápor

Jako zápor byly použity ocelové nosníky profilu HEB 140 v osové vzdálenosti 1,75 m. Délka ocelových nosníků byla 11 m, 9 m a 5,5 m v různých řezech. Provádějí se vrty o průměru minimálně 210 mm, do kterých se jeřábem osazují zápor. Vetknutá část zápor pod úrovní dna stavební jámy je fixovaná betonem nižší pevnosti C8/10. Po osazení zápor je část vrtu nad úrovní dna stavební jámy po úroveň terénu je vyplněna vyvrtanou zeminou (bez frakce nad 60 mm).



Obr. 3-24: Vrtání maloprofilových vrtů pro osazení zápor [Keller]

### **3.5.3 Výkop na první kotevní úroveň**

Následuje výkop na první kotevní úroveň, tzn. na hloubku 0,5 m pod hlavy kotev první řady a osazuje se výdřeva. Pažiny v případě prvního výkopu se vkládají ze shora. Po umístění pažin, dřevěných hranolů jsou prázdné prostory vzniklé za rubem pažicí konstrukce zasypány zeminou, která je následně zhutněna po vrstvách (po 0,1 m).



Obr. 3-25: První kotevní úroveň s předpínanými kotvami [Keller]

### ***3.5.4 Zhotovení kotev v první úrovni***

Instaluje se první řada kotev. Byly použity dvoupramencové kotvy pod úhlem 15° od vodorovné roviny. Průměr pramenců byl 15,5 mm a celková plocha 300 mm<sup>2</sup>. Pramence se vkládají do předem připraveného maloprofilového vrtu do cementové zálivky. Po umístění pramenců se provádí injektáž kořene kotvy. Po zatuhnutí kořenů kotev se kotvy předepínají přes vodorovné ocelové převázky.

### ***3.5.5 Další fáze***

Dalším krokem výstavby je hloubení jámy na druhou kotevní úroveň. Pažiny v případě dalších výkopů se vkládají z lince zápor. Předcházející kroky se opakují až po dosažení dna jámy a stavební jáma je připravená pro zakládání.



Obr. 3-26: Pažící konstrukce ve finální fázi [Keller]



## 4. ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce pod názvem *Návrh pažení stavební jámy* bylo v teoretické části popsat nejčastěji používané typy pažení v České republice a dále v praktické aplikaci navrhnout zajištění konkrétní stavební jámy. V práci jsou popsány i některé faktory ovlivňující volbu vhodné metody pažení.

Úkolem bakalářské práce ve druhé, praktické části byl návrh zajištění zadané stavební jámy v daných geologických podmínkách. Řešenou stavbou, pro niž bylo nutno navrhnout zajištění stavební jámy, byl polyfunkční dům ve stávajícím areálu hotelu Santander v Brně - Pisárkách. Z možných druhů zajištění jámy bylo vybráno záporové pažení s výškou pažících stěn od 3,5 do 8,0 metrů.

Pro návrh a výpočet pažící konstrukce stavební jámy byl použit program Geo5 společnosti Fine. Maximální deformace pažící konstrukce (řez A) byla vzhledem k poměrně velké výšce stěny stavební jámy přijatelná.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MASOPUST, Jan. *Navrhování základových a pažících konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2012, 208 s. ISBN 978-80-87438-31-2.
- [2] Stavební jámy a výkopy. *Stavební komunita* [online]. 2012- [cit. 07-2012]. Dostupné z: <<http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/stavebni-jamy-a-vykopy-eurokod-7-zaklady>>
- [3] Stavební jáma se základovou deskou pod úrovní podzemní vody „na klíč“. *Zakládání staveb* [online]. 2008- [cit. 2008]. Dostupné z: <[http://zakladani.cz/casopis/archiv/2\\_00/casbody14.htm#top](http://zakladani.cz/casopis/archiv/2_00/casbody14.htm#top)>
- [4] Mechanika hornin a zemin. *Inovace studijního oboru Geotechnika* [online]. 2012-2014 [cit. 2012]. Dostupné z: <<http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/MHZ-10.pdf>>
- [5] Horninové kotvy. *Zakládání staveb* [online]. 2008- [cit. 2008]. Dostupné z: <<http://www.zakladani.cz/cz/horninove-kotvy>>
- [6] Zpevnování svahů a stěn hřebíkováním. *Inovace studijního oboru Geotechnika* [online]. 2012-2014 [cit. 2013]. Dostupné z: <<http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/Zpevnovani-svahu-a-sten-hrebikovanim-janvajrajch.pdf>>
- [7] ZŠT Hostivař, Praha 10. *LENAKO s.r.o.* [online]. 2008- [cit. 2015]. Dostupné z: <<http://lenako.cz/wp-content/uploads/2015/05/%C3%9Fst-praha-hostiva%C5%BC-odchod.jpg>>
- [8] Pažení stavebních jam/Záporové pažení. *Zakládání staveb* [online]. 2008- [cit. 2008]. Dostupné z: <<http://www.zakladani.cz/cz/pazeni-stavebnich-jam-zaporove-pazeni>>

- [9] Záporové pažení, tzv. berlínské stěny. *LENAKO s.r.o.* [online]. 2008- [cit. 2008]. Dostupné z: <[http://lenako.cz/?page\\_id=24](http://lenako.cz/?page_id=24)>
- [10] Storage. *Čeněk & Ježek* [online]. 2000- [cit. 2014-05]. Dostupné z: <[http://www.cenekajezek.cz/storage/1\\_214\\_microriderbraces.jpg](http://www.cenekajezek.cz/storage/1_214_microriderbraces.jpg)>
- [11] Pažení propustná. *Katedra technologie staveb, ČVUT v Praze* [online]. 2007- [cit. 2007]. Dostupné z: <<http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/textjama332.html>>
- [12] Pažení stavebních jam/Pilotové stěny. *Zakládání staveb* [online]. 2008- [cit. 2008]. Dostupné z: <<http://www.zakladani.cz/cz/pazeni-stavebnich-jam-pilotove-steny>>
- [13] Storage. *Čeněk & Ježek* [online]. 2000- [cit. 12/2012]. Dostupné z: <[http://www.cenekajezek.cz/storage/1\\_241\\_4.jpg](http://www.cenekajezek.cz/storage/1_241_4.jpg)>
- [14] Podzemní stěny. *Zakládání staveb* [online]. 2008- [cit. 2008]. Dostupné z: <[http://www.zakladani.cz/images/3\\_podzemni\\_steny/6\\_\(1-2\).jpg](http://www.zakladani.cz/images/3_podzemni_steny/6_(1-2).jpg)>
- [15] Trysková injektáž. *Zakládání staveb* [online]. 2008- [cit. 2008]. Dostupné z: <<http://www.zakladani.cz/cz/tryskova-injektaz>>
- [16] Trysková injektáž. *SOLETANCHE Česká republika s.r.o.* [online]. 2011- [cit. 2011]. Dostupné z: <[http://www.soletanche.cz/cache/6729f18f1bd6a0cfc81c1fdc4e115263\\_600-600.jpg](http://www.soletanche.cz/cache/6729f18f1bd6a0cfc81c1fdc4e115263_600-600.jpg)>
- [17] Pažení stavebních jam. *Podzemní stavby KOSPER a.s.* [online]. 2015- [cit. 2015]. Dostupné z: <<http://kosper.cz/technologie/pazeni-stavebnich-jam/>>
- [18] Tiedback Sheet Pile Wall Fenway Mixed Use Project – Boston, MA. *Earthwork Engineering, Inc.* [online]. 2009- [cit. 2012]. Dostupné z: <<http://www.earthwork.us/files/DSCN2063.JPG>>

- [19] MAPS.GOOGLE.COM. maps.google.com: Pisárecká, Brno [online]. Imagery, 2016 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <<https://www.google.cz/maps/place/Pis%C3%A1reck%C3%A1,+Pis%C3%A1rky,+Brno/@49.192668,16.5634306,159m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x471295d2f70f5da5:0xb5230aa9c4811621!8m2!3d49.189877!4d16.562389>>
- [20] ARCHITEKTI HRŮŠA SPOL., ATELIÉR BRNO, S.R.O. Průvodní zpráva. Brno, 2014.
- [21] ARCHITEKTI HRŮŠA SPOL., ATELIÉR BRNO, S.R.O. Souhrnná technická zpráva. Brno, 2014.
- [22] Geomorfologické členění Česka. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 03-2014]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Geomorfologick%C3%A9\\_%C4%8Dlen%C4%9Bn%C3%AD\\_%C4%8Ceska](http://cs.wikipedia.org/wiki/Geomorfologick%C3%A9_%C4%8Dlen%C4%9Bn%C3%AD_%C4%8Ceska)>
- [23] IGM, Brno Pisárecká, Polyfunkční dům: Závěrečná zpráva geotechnického a hydrogeologického průzkumu. Brno, 2014.
- [24] Statistický výpočet. *Katedra technologie staveb, ČVUT v Praze* [online]. 2007- [cit. 2007]. Dostupné z: <<http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/textjama4.html>>
- [25] Metoda závislých tlaků. *Fine spol. s.r.o.* [online]. 2013- [cit. 2013]. Dostupné z: <<http://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/metoda-zavislych-tlaku-01/>>
- [26] Geotechnický software GEO5. *Fine spol. s r.o.* [počítačový program]. 2013- [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.fine.cz/ke-stazeni/demo/>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

PVC	polyvinylchlorid
m n. m.	metrů nad mořem
$k_h$	modul reakce podloží
A	plocha průřezu
I	moment setrvačnosti
E	modul pružnosti
$E_{oed}$	edometrický modul
$E_{def}$	modul přetvárnosti
EI	ohybová tuhost
G	modul pružnosti ve smyku
$\gamma$	objemová tíha zeminy
$\varphi'$	efektivní úhel vnitřního tření
$c'$	efektivní soudržnost
$\delta$	třecí úhel konstrukce-zemina
$\nu$	Poissonovo číslo
SB	stupeň bezpečnosti
$SB_{min}$	minimální stupeň bezpečnosti
B. p. v.	Baltické po vyrovnání
S-JTSK	systém jednotné trigonometrické soustavy

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1: Svahování stěn stavebních jam [2] .....	14
Obr. 2-2: Těsněné jámy s těsněným dnem [3].....	15
Obr. 2-3: Stěna stavební jámy zajištěna hřebíkováním [6].....	18
Obr. 2-4: Stěna stavební jámy zajištěna záporovým pažením [7].....	20
Obr. 2-5: Stěna výkopu zajištěna mikrozáporovým pažením [10].....	22
Obr. 2-6: Pilotová stěna s velkou osovou vzdáleností pilot [13].....	24
Obr. 2-7: Osazování prefabrikátu do rýhy vyplněné samotvrdnoucí pažící suspenzí [14].....	25
Obr. 2-8: Zajištění stavební jámy a přilehlého objektu [16].....	26
Obr. 2-9: Zajištění stavební jámy štětovicovými stěnami [18].....	27
Obr. 3-1: Původní budova na místě stavby [19].....	28
Obr. 3-2: Pozemky stavby [20].....	29
Obr. 3-3: Geomorfologické členění ČR - podsoustava Brněnské vrchoviny [22]..	30
Obr. 3-4: Poloha vrtané sondy J1 a výšky svahu v některých bodech v místě budoucí pažící konstrukce [22].....	31
Obr. 3-5: Vyznačené řezy pro statický výpočet [22].....	33
Obr. 3-6: Jednotlivé fáze výpočtu -Řez A [26].....	37
Obr. 3-7: Vnitřní síly - Fáze 1 [26].....	38
Obr. 3-8: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 1 [26].....	38
Obr. 3-9: Vnitřní síly - Fáze 2 [26].....	39
Obr. 3-10: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 2 [26].....	39
Obr. 3-11: Vnitřní síly - Fáze 3 [26].....	40
Obr. 3-12: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 3 [26].....	40
Obr. 3-13: Vnitřní síly - Fáze 4 [26].....	41
Obr. 3-14: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 4 [26].....	41
Obr. 3-15: Vnitřní síly - Fáze 5 [26].....	42
Obr. 3-16: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 5 [26].....	42
Obr. 3-17: Vnitřní síly - Fáze 6 [26].....	43
Obr. 3-18: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 6 [26].....	43
Obr. 3-19: Vnitřní síly - Fáze 7 [26].....	44

Obr. 3-20: Deformace a tlak na konstrukci - Fáze 7 [26].....	44
Obr. 3-23: Vnitřní stabilita - třetí kotevní úroveň [26].....	45
Obr. 3-22: Vnitřní stabilita - druhá kotevní úroveň [26].....	45
Obr. 3-21: Vnitřní stabilita - první kotevní úroveň [26].....	46
Obr. 3-25: První kotevní úroveň s předpínanými kotvami [Keller].....	47
Obr. 3-24: Vrtání maloprofilových vrtů pro osazení zápor [Keller].....	47
Obr. 3-26: Pažící konstrukce ve finální fázi [Keller].....	48

## **SEZNAM TABULEK**

Tab. 3-1: Vstupní parametry zemin.....	35
--	----

# SEZNAM PŘÍLOH

## PŘÍLOHA A: Výkresová dokumentace

Příloha A1 - Řez A

Příloha A2 - Řez B

Příloha A3 - Řez C

## PŘÍLOHA B: Geologická dokumentace vrtu J1

## PŘÍLOHA C: Výstupy z programu GEO5

Příloha C1 - Výsledky v řezu B

Příloha C2 - Výsledky v řezu C