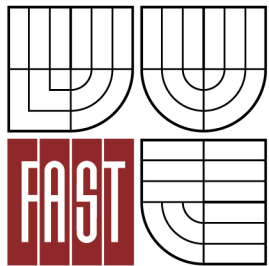




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

ZPŮSOBY HLUBINNÉHO ZALOŽENÍ

DEEP FOUNDATIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Michal Novák

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. VĚRA GLISNÍKOVÁ, CSc.

BRNO 2012



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 Michal Novák

Název Způsoby hlubinného založení

Vedoucí bakalářské práce Ing. Věra Glisníková, CSc.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2011

Datum odevzdání bakalářské práce 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

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

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

Podklady a literatura

Podklady budou předány vedoucí bakalářské práce samostatně.

Literatura:

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

Masopust, J.: Vrtané piloty, Čeněk a Ježek, Praha, 1994

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

Reese, L.C. et al: Analysis and design of shallow and deep foundations, J. Wiley & sons, USA, 2006

Zásady pro vypracování

Úkolem bakalářské práce je popsat postup při návrhu bezpečného a ekonomického založení objektu se zaměřením na způsoby hlubinného zakládání. Součástí práce je praktická aplikace; pro konkrétní objekt v daných geologických podmínkách navrhnout alternativní způsoby založení.

Při vypracovávání bakalářské práce (BP) vycházejte ze zadaných podkladů, pokynů vedoucího BP a odborné literatury.

1. Současný stav problematiky, rešerše odborné literatury.
2. Rozbor geologických a hydrogeologických poměrů ve vztahu k zadanému objektu.
3. Statický výpočet zvolené varianty.
4. Technologický postup.
5. Výkresová dokumentace - situace, příčný a podélný řez.

Při zpracování BP je nutno se držet následujících zásad:

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací.

1. Úvodní část.
2. Rozbor dané problematiky, rešerše literatury.
3. Přehled způsobů hlubinného zakládání.
4. Praktická aplikace.

.....
Ing. Věra Glisníková, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Úvod do problematiky zakládání staveb ve složitých základových poměrech, kde je nutné nahradit základy plošné základy hlubinnými z důvodu malé únosnosti nebo velké stlačitelnosti základové půdy. Práce se dále zabývá řešením praktického příkladu na konkrétní typ hlubinných základů s následným porovnáním výsledku s výpočetním programem GEO5.

Klíčová slova

Hlubinné základy, zakládání staveb, studny, kesony, piloty, vrtané piloty, ražené piloty, mikropiloty.

Abstract

Introduction to building foundations in difficult foundation conditions where it is necessary to replace the shallow foundations by deep foundations. The reason is small bearing capacity or large compressibility of soil. I also focuses on solving a practical example of a specific type of deep foundations, followed by comparing the result with the calculation program GEO5.

Keywords

Deep foundations, foundation of buildings, wells, caissons, piles, bored piles, driving piles, micropiles.

...

Bibliografická citace VŠKP

NOVÁK, Michal. *Způsoby hlubinného založení*. Brno, 2012. 59 s., 14 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(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 19.5.2012

.....
podpis autora

Poděkování:

Nejprve bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Věře Glisníkové, CSc. za její cenné rady, ochotu a pomoc, které vedly k úspěšnému dokončení bakalářské práce. V neposlední řadě chci také poděkovat rodičům a přítelkyni nejen za podporu při této práci, ale i za podporu po celou dobu studia.

OBSAH

1 Úvod	9
2 Historický vývoj hlubinného zakládání staveb	10
2.1 Studnové zakládání	10
2.2 Pneumatické zakládání	11
2.3 Rourové zakládání	13
2.4 Pilotové zakládání	13
3 Piloty	16
3.1 Rozdělení a provádění	16
3.2 Piloty vrtané	17
3.3 Piloty prováděné průběžným šnekem (CFA)	20
3.4 Piloty ražené	22
3.4.1 Prefabrikované	23
3.4.2 Na místě betonované	24
4 Mikropiloty	26
4.1 Technologie provádění	27
5 Praktická aplikace	30
5.1 Zadání	30
5.1.1 Popis zadaného objektu	30
5.1.2 Geologické a hydrogeologické poměry	33
5.1.3 Geotechnické vlastnosti zaminy	34
5.2 Teorie výpočtu	34

5.3	Vlastní výpočet	41
5.3.1	Ruční výpočet podle 1. a 2. skupiny mezních stavů pro pilotu P29	41
5.3.2	Ruční výpočet podle 1. a 2. skupiny mezních stavů pro pilotu P63	45
5.4	Výsledné zhodnocení a porovnání výpočtů	48
6	Závěr	49
	Seznam použitých zdrojů	50
	Seznam použitých zkratk a symbolů	53
	Seznam obrázků	56
	Seznam tabulek	58
	Seznam příloh	59

1 ÚVOD

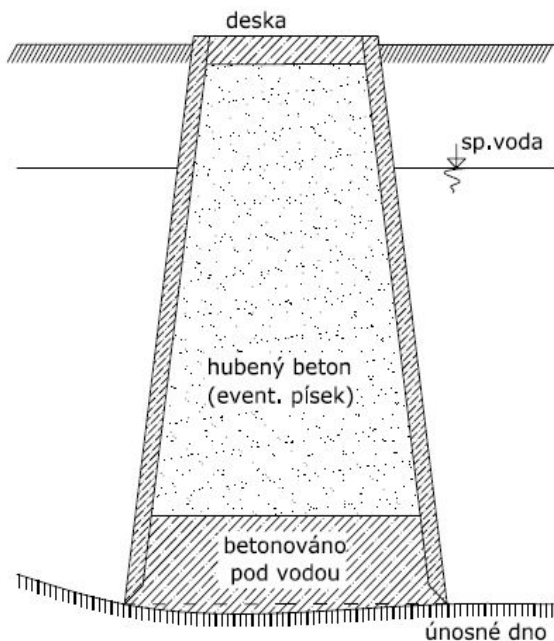
Předmětem bakalářské práce je problematika zakládání staveb ve složitých základových poměrech, kde je nutné nahradit základy plošné základy hlubinnými z důvodu malé únosnosti nebo velké stlačitelnosti základové půdy. V práci jsou zmíněny jak dnes již historické způsoby hlubinného založení, tak způsoby řešené v současnosti. Největší důraz je kladen na nejvíce používanou metodu hlubinného zakládání, kterou je pilotové zakládání.

Praktická část bakalářské práce se zabývá návrhem a výpočtem již zmíněných pilot. Jedná se o založení polyfunkčního třinácti podlažního objektu v Brně, v městské části Žabovřesky. V komplexu s názvem Sonocentrum nalezneme luxusní byty, restauraci, ale i víceúčelový sál s jevištěm. Z důvodu omezení rozsahu této práce je návrh a výpočet pilot proveden pro vybranou část objektu. Ruční výpočet je doplněn výsledky získanými výpočetním programem GEO5 a vzájemně porovnán.

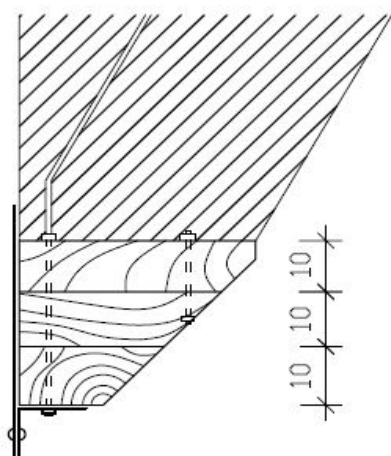
2 Historický vývoj hlubinného zakládání staveb

2.1 Studňové zakládání

Studny jsou dutá válcová, oválná nebo hranatá tělesa, která jsou na spodní hraně opatřena břitem (obr. 2.1). Studna klesá vlastní vahou dolů se současným odtěžováním zeminy z jejího vnitřku. Pokud vlastní váha nestačí, přitěžuje se studna pytlí s pískem nebo kolejnicemi. Nejlepší využití je v písčitých, bahnitých nebo kamenitých zeminách, bez obsahu velkých balvanů, které by komplikovaly klesání studny při jejím provádění. Vodu ze studny při odtěžování zeminy nečerpáme a zeminu těžíme pod vodou nebo vodu odčerpáváme. Tím nám voda kolem studny tlačí zeminu do studny, a tak vytěžíme až pětkrát více zeminy. Celkové množství závisí na typu zeminy. Při různorodosti vrstev můžeme tyto dva způsoby kombinovat. Studny většinou klesají vlastní vahou a jejich odpor závisí na tření mezi pláštěm a zeminou. Tření je nejhorší u kamenitých zemin, naopak u písků nebo jemných náplavů je tření nejmenší. Nejstarší typy studen byly zděné z cihel se spodní hranou opatřenou dřevěným břitem zakotveným kotevními pruty (obr.2.2).

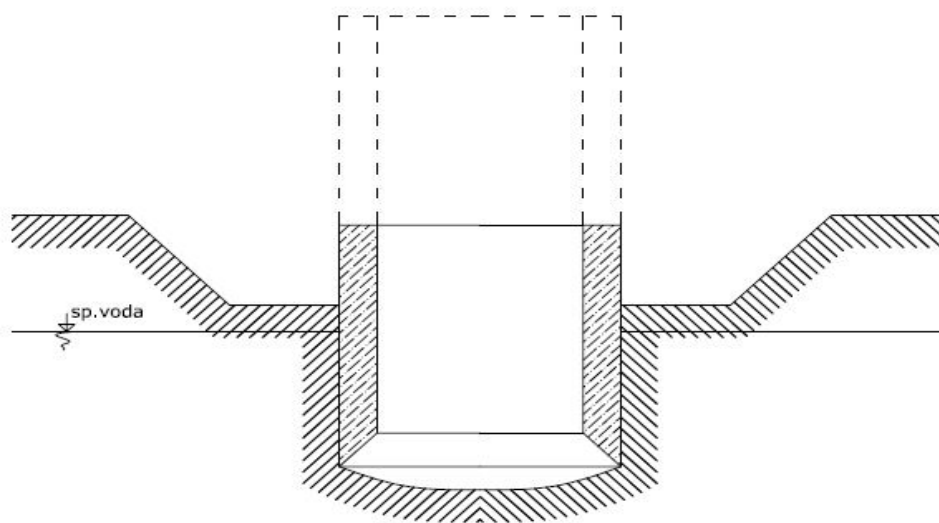


Obr.2.1: betonová studna [1]



Obr.2.2: dřevěný břit [1]

Příklad zhotovení studny z pevné země (obr.2.3): Nejprve provedeme výkop (nad hladinu spodní vody) a na urovnanou zeminu položíme břit. Osadíme bednění do výšky 2m a vybetonujeme první část studny. Po zatvrdnutí odbedníme a za současného těžení spouštíme studnu. Následuje další příprava bednění a betonování druhé části studny. Postup opakujeme, dokud nedosáhneme požadované hloubky. Nakonec vybetonujeme na dně zátku z „mastného“ betonu a vnitřek studny vyplníme pískem nebo „hubeným“ betonem. Vrch studny nakonec zabetonujeme podobně jako její dno. [1], [2]



Obr.2.3: Suché pracoviště [1]

2.2 Pneumatické zakládání

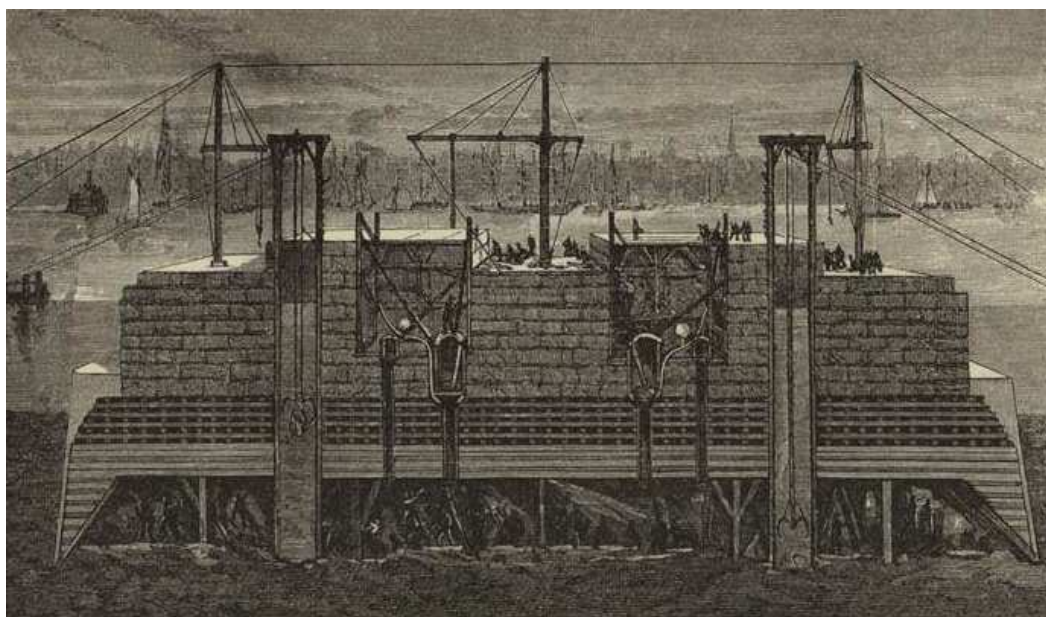
Jinými slovy zakládání na kesonech. Je to způsob hlubinného zakládání pod vodou, při kterém se voda nečerpá, ale je vytlačována vzduchem při spouštění kesonu. Samotný keson je prvek z železobetonu nebo oceli, obvykle obdélníkového tvaru, bez dna se stropem ve výši alespoň 2m. Ve stropě kesonu je komunikační roura, která ústí do vzdušnice. Vzdušnice je válcová uzavřená komora zajišťující výstup z kesonu, ve kterém je stačený vzduch, do volného vzduchu a naopak. Zjednodušeně řečeno výstup z kesonu nebo sestup do kesonu. Na obr.2.4 můžeme vidět výstavbu základu Brooklynského mostu, který je založen právě na kesonech.

Princip zakládání na kesonech spočívá v tom, že nad pracovní komoru nadezdíváme konstrukci, která postupně svou vahou zatlačuje keson do zeminy. Současně při klesání kesonu těžíme zeminu a dopravujeme ji komunikační rourou v kbelících na povrch. Někdy jsou zřízeny souběžně dvě komunikační roury. Jedna pro osoby a druhá pro materiál. Po celou dobu musíme keson jistit proti náhlému poklesu, který by ohrozil dělníky uvnitř komory. Po dosednutí na požadovaný únosný povrch začneme keson vyplňovat betonem po 30 cm vrstvách a pěchujeme. Když už pěchování není možné, vyplníme zbytek tekutějším betonem. Musíme zajistit dokonalé vyplnění kesonu bez přítomnosti vzduchu.

Z hlediska konstrukčního uspořádání je keson:

- a) součást stavby (část stavby v základech)
- b) pomůcka při stavbě (plave nad stavbou, a ta je pod ním prováděna)
- c) součást jímky sestavené z řady kesonů (šterkové půdy, přítok vody čerpadly nezmůžeme)

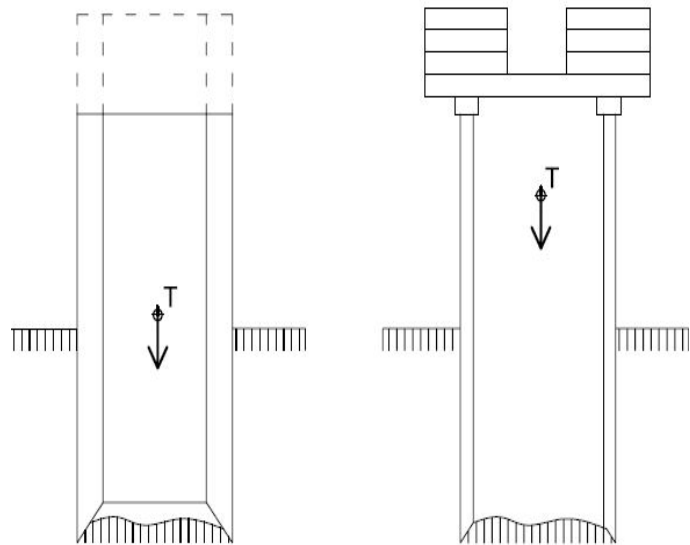
První kesony u nás byly použity v roce 1879 při stavbě mostu Palackého. V dnešní době už je používání kesonů minulostí, a to nejen kvůli hledisku ekonomickému, ale také pro jejich vysoká zdravotní rizika během provádění. [1]



Obr.2.4: Kesonové zakládání Brooklynského mostu [10]

2.3 Rourové zakládání

Téměř stejné zakládání jako je zakládání studňové, ale studna je nahrazena ocelovou rourou menšího průměru nebo tenkým pláštěm z železobetonu. Při vlastním provádění tenkostěnných rour je těžiště vysoko nad zemí, a tím snižuje stabilitu. Je nutné zajistit přímé vedení při spouštění roury (obr.2.5). [1]

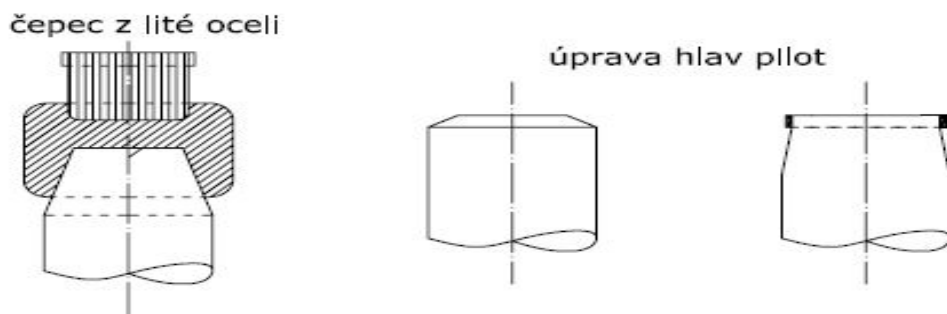


Obr.2.5: Srovnání stability studny a roury [1]

2.4 Pilotové zakládání

Zakládání na pilotách je nejstarší způsob hlubinného zakládání. První známky tohoto způsobu pochází již z mladší doby kamenné. Podle použitého materiálu lze piloty dělit na:

- *Dřevěné*: obvykle kruhového průřezu, z čerstvě poražených dubových nebo borových stromů. Piloty musí být rovné, na konci upravené čtvercovým hrotem s tupou špičkou okovanou kovovou botkou. Hlava piloty musí být upravena proti rozštěpení při beranění, a to buď pomocí zděře nebo čepce. (obr.2.6)

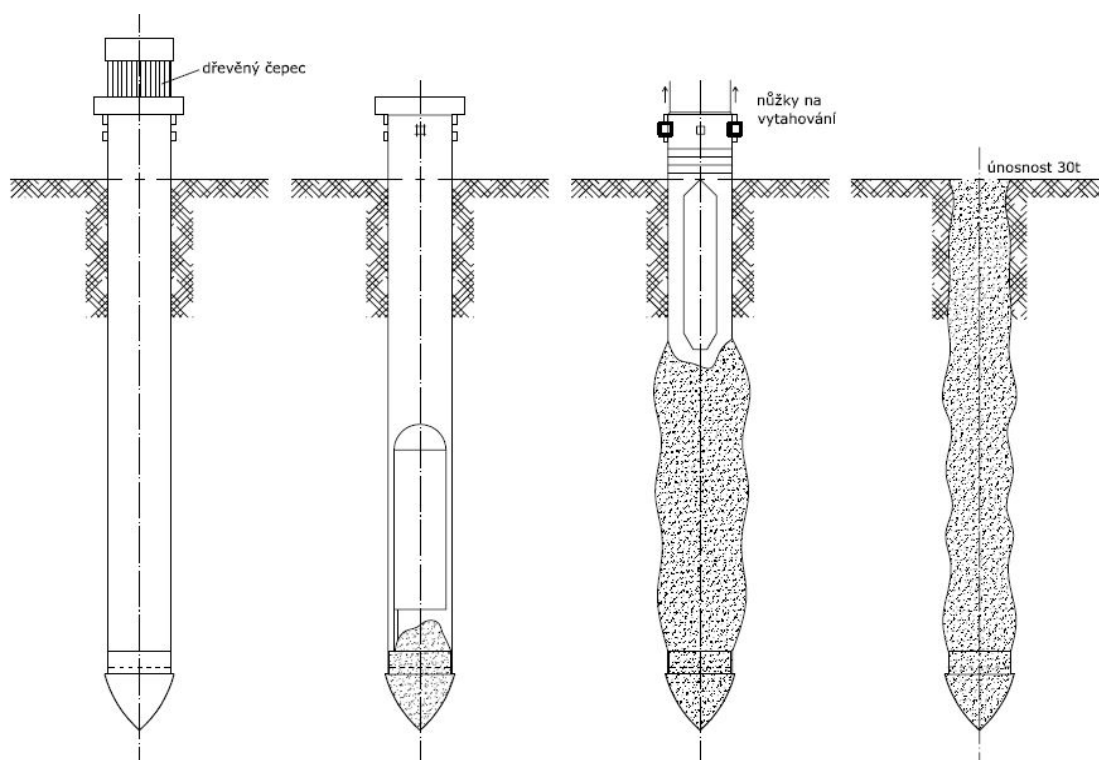


Obr.2.6: Možné způsoby úpravy hlavy piloty [1]

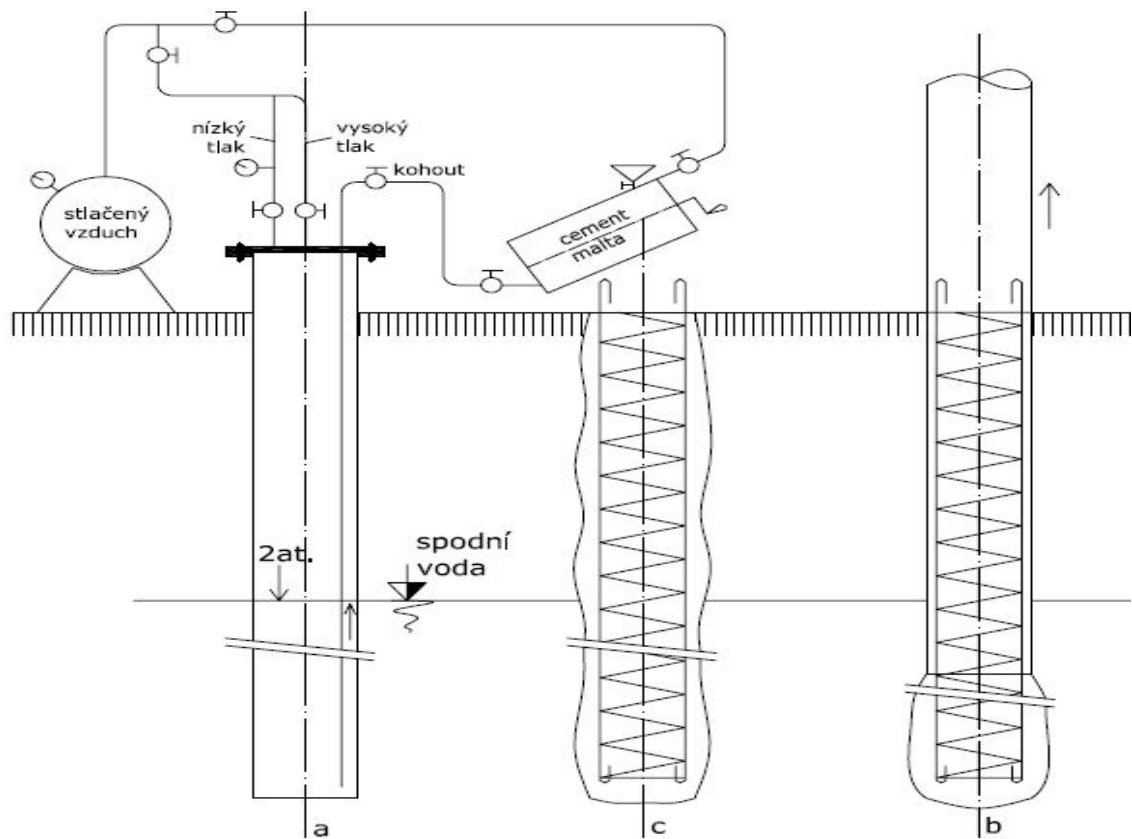
- **Železné:** použití jen výjimečně, jako beranící prvky se používají staré kolejnice nebo I profily.
- **Betonové:** - předem zhotovené - zhotovují se na staveništi z železobetonu s průřezem kruhovým nebo čtvercovým s okosenou hranou.
 - na místě pěchované – betonování přímo do předem vyvrtaných nebo beraněných děr bez výpažnic nebo s výpažnicemi, které se po dokončení vytáhnou, či ponechají.

Způsobů hlubinného zakládání pomocí pilot je velmi mnoho. Ze způsobů minulých můžeme jmenovat např.: piloty Franki, systém Simplex (obr.2.7), Wolfsholz (obr.2.8), Raymond nebo Lorenz. [1]

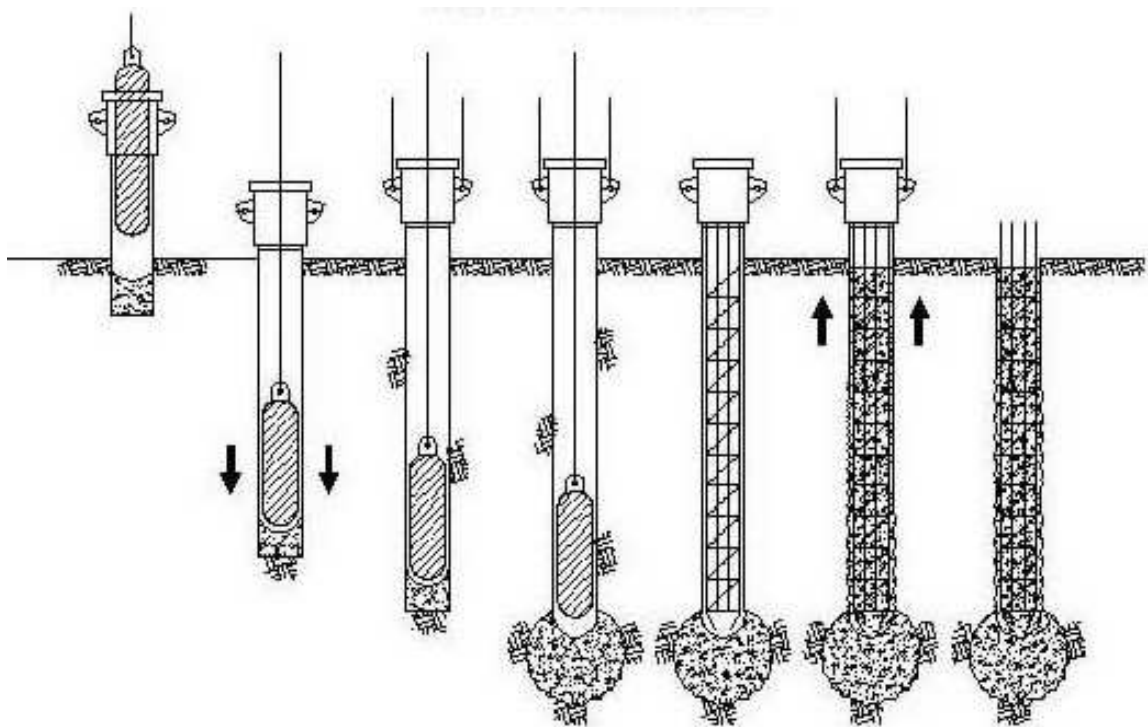
V současné době je známo více než 100 druhů hlubinného zakládání pomocí pilot. Některé druhy budou detailněji popsány v kapitole 3. [2]



Obr.2.7: Systém „SIMPLEX“ [1]



Obr.2.8: Železobetonová pilota systém „WOLFSHOLE“ [1]



Obr.2.9: Železobetonová pilota systém „FRANKI“ [20]

3 Piloty

3.1 Rozdělení a provádění

Piloty jsou stavební základové prvky, které přenáší zatížení od stavby do únosného podloží třením na plášti piloty, únosností v patě nebo kombinací. Tyto veličiny jsou rozhodujícími aspekty v celkové únosnosti piloty. Dalším důležitým kritériem je to, jestli je pilota opřena o nestlačitelné podloží, vetknutá nebo jestli je jen zahloubena v podloží stlačitelném, tzv. pilota plovoucí. Zakládání na pilotách je v současné době nejpoužívanější metoda a zároveň neustále se vyvíjející. Pilotové zakládání v ČR téměř úplně vytlačilo způsoby jako jsou studny nebo kesony a to nejen díky o dost snazšímu způsobu provádění, ale i díky výhodnosti použití v našich geotechnických podmínkách. Únosné podloží se běžně nachází v hloubce kolem 10 – 20 metrů a nabízí nám tak zejména využití pilot vrtaných, které lze do tohoto podloží bez problémů vetknout. Z toho tedy vyplývá, že jsou u nás nejrozšířenější piloty vrtané, se stále rostoucím podílem pilot prováděných průběžným šnekem, tzv. technologií CFA. [2], [5]

Dle evropské klasifikace lze piloty rozdělit takto:

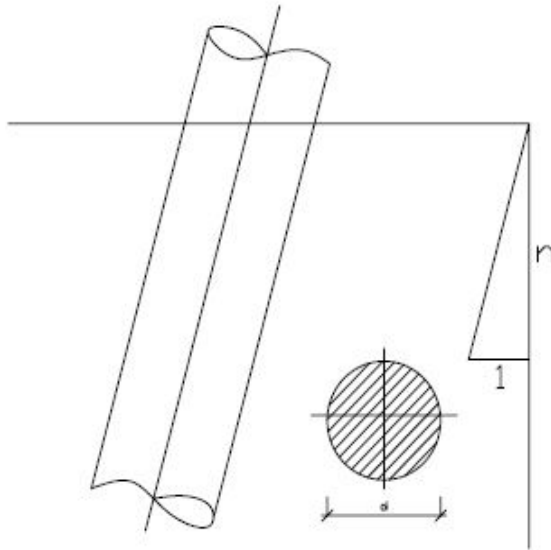
- Vrtané (replacement)
- Ražené (displacement)
 - Prefabrikované
 - Betonové
 - Ocelové
 - Dřevěné
 - Na místě betonované
 - Dočasně pažené
 - betonové
 - Trvale pažené
 - Betonová roura
 - Ocelová roura

Univerzální pilota, která by se dala využít při každém řešeném problému neexistuje. Proto je nezbytné dále piloty dělit podle různých kritérií. Jak již bylo řečeno dříve, piloty se neustále vyvíjejí, ale i přesto existuje základní dělení: [2]

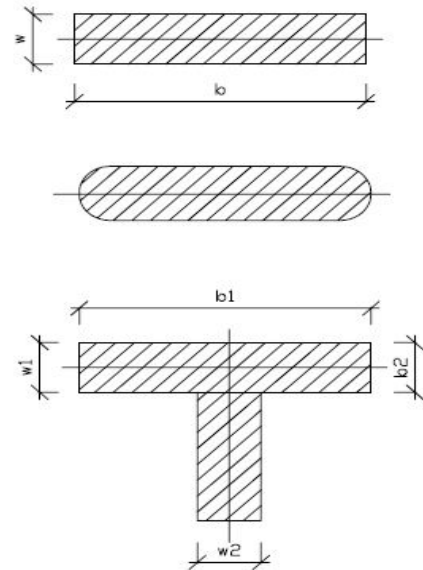
- a) podle příčného průměru
 - maloprofilové (0,3 m (0,15 m) – 0,6 m)
 - velkoprofilové (0,6 m – cca. 3,0 m)
- b) podle sklonu
 - svislé
 - šikmé
- c) podle způsobu namáhání
 - tlačené
 - tažené
 - namáhané ohybem (tlak i tah)
- d) podle materiálu
 - betonové
 - ocelové
 - dřevěné

3.2 Piloty vrtané

Prvky, které přenáší zatížení nebo omezují deformace pomocí nosného dřívku. Vrtané piloty se provádí s průměry 0,3 – 3,0 m s kruhovým průřezem, a to jako svislé nebo šikmé prvky s všeobecným sklonem $n \geq 4$ (obr.3.1) nebo jako podzemní stěny s omezením rozměru lamely $w_i \geq 0,4$ m (obr.3.2). Vrtané piloty mohou být navrhovány jako osamělé, skupinové nebo jako pilotové stěny. Pro různé účely je možné rozšířit dřívík nebo patku piloty. Od průměru $> 0,6$ m jsou vrtané piloty označovány jako velkoprofilové, které svou vysokou únosností často nahradí skupinu pilot. V současnosti představují stěžejní prvky hlubinného zakládání, a budou detailněji popsány v kapitole 3.2.1 nejen z důvodu již zmíněného, ale i z důvodu použití této metody v praktické části této práce. [2]



Obr. 3.1: Sklon piloty [2]



Obr. 3.2: Lamely podzemních stěn [2]

3.2.1 Technologie provádění

Z technologického hlediska se výroba vrtaných pilot dělí na dvě fáze. V první fázi se zhotoví vrt a v druhé fázi se v připraveném vrtu vyhotoví pilota. Hloubka vrtu se běžně pohybuje v rozmezí 5 – 40 m a s průměrem 0,6 – 3,0 m. Obě veličiny jsou závislé na technickém účelu, tj. na přenosu zatížení z horní stavby do únosného podloží. Velkopřůměrové piloty jsou vhodné pro všechny geologické podmínky, které kladou velké požadavky na správně zvolenou technologii provádění vrtu a vrtné zařízení. Je zcela nemožné použít univerzální zařízení se schopností zhotovení práce ve všech geotechnických podmínkách. Vrtnou technologii lze rozdělit z hlediska geotechnických podmínek dle tab.1. [4], [2]

Tab.1: Geotechnické podmínky a vrtná technologie provádění [4]

NESOUDRŽNÉ HORNINY	
<i>konzistence</i>	<i>vrtná technologie</i>
tekoucí	roztlačování
měkké, sypké	nabírání
částečně soudržné	řezání
SOUDRŽNÉ HORNINY	
měkké	řezání
středně tvrdé	drcení
pevné	dlátování, drcení

V nesoudržných horninách je nutnost zajistit stabilitu stěny vrtu ocelovou pažnicí nebo bentonitovou suspenzí. Pro způsoby rozpojování horniny, které jsou uvedeny v tab.1, slouží různé způsoby vrtání. Velkopřůměrové piloty je nejlepší realizovat vrtáním rotačním způsobem nebo drápákovým hloubením. Vrtání rotačním způsobem probíhá mnoha způsoby. Z technologického hlediska lze rotační vrtání dělit dle tab.2.

Tab.2: Způsoby rotačního vrtání [4]

rotační vrtání bez výplachu	vrtání šapou nebo spirálovým vrtákem
	vrtání šnekovou kolonou
	vrtání trubkovým šnekem
rotační vrtání s přímým výplachem	jádrové vrtání
	vrtání rotary
rotační vrtání s nepřímým výplachem	airliftové vrtání
	sací vrtání

Jako nejběžnější metoda rotačního vrtání z tab.2 je používána metoda rotačního vrtání bez výplachu. Metoda vrtání s přímým výplachem se používá zřídka, při zhotovování vrtů ve skalních horninách. Vrtání s nepřímým výplachem je realizováno stejně jako vrtání s přímým výplachem jen výjimečně, a to z důvodu malé výkonnosti a velké složitosti provádění. Nejčastější realizace velkopřůměrových vrtaných pilot je v zeminách, kde je náběrové vrtání bez výplachu 5 – 10x rychlejší než vrtání jádrové, sací nebo airliftové.

Vrtání drápkové je v podstatě druhem vrtání náběrového s efektivním využitím v zeminách, ve kterých náběrové vrtání bez výplachu nedosahuje požadovaných výsledků. V nesoudržných zeminách je použitelné zejména s průběžným dopažováním. [4]



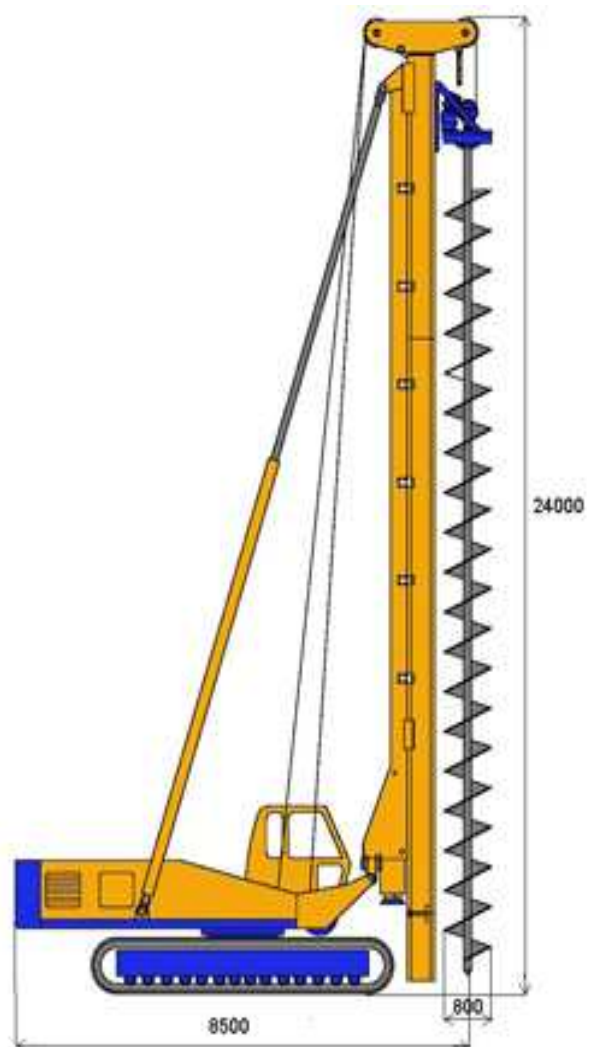
Obr.3.3: Vrtání piloty rotační technologií [17]

3.3 Piloty prováděné průběžným šnekem (CFA)

Vrtané piloty CFA (Continuous Flight Auger) patří mezi nejprogresivnější metody hlubinného zakládání u nás i ve světě. Jak už název napovídá, hlavním znakem je průběžný šnek, který plní stěžejní funkci v celém technologickém postupu (Obr.3.4). Metoda je vhodná jak pro zeminy nesoudržné, suché či zvodnělé, tak pro zeminy soudržné bez obsahu tvrdých, nevrtnatelných částic. Ve většině případů jsou piloty prováděny jako svislé, pokud možno s co nejmenšími otáčkami vrtného zařízení, kvůli zmenšení negativních vlivů při vrtání na okolní zeminu. Závity průběžného šneku nesmí mít rozdílné stoupání a musí být po celé délce konstantní (Obr.3.5). [2], [6]

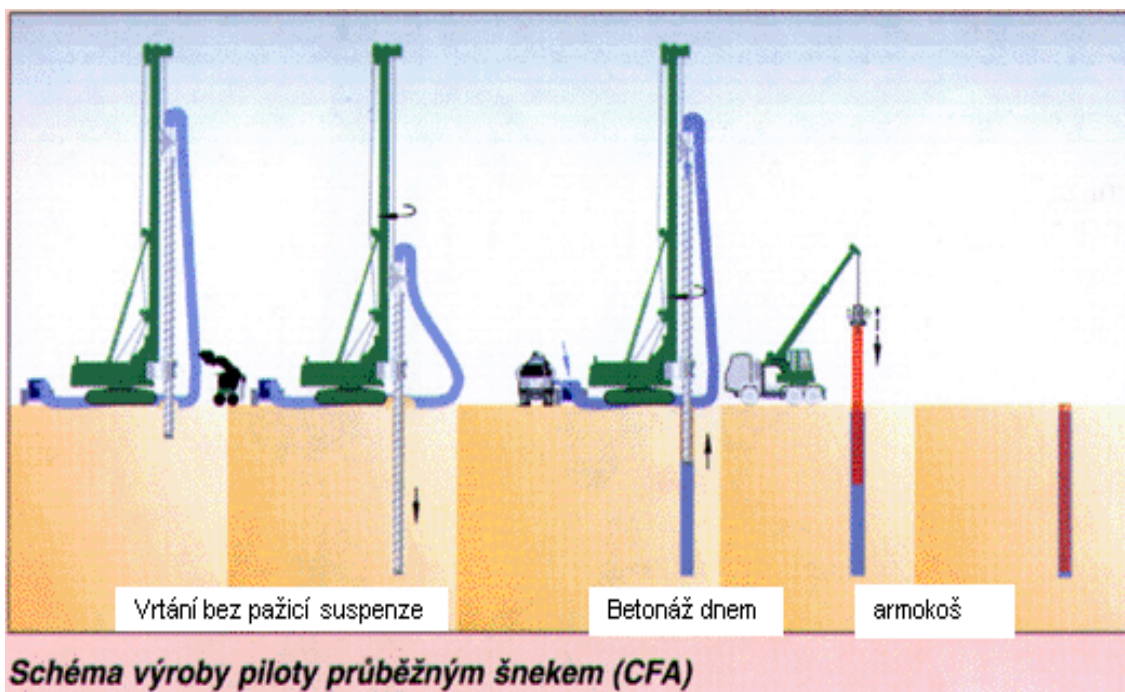


Obr.3.4: Průběžný šnek [16]



Obr.3.5: Vrtací souprava CFA pilot [14]

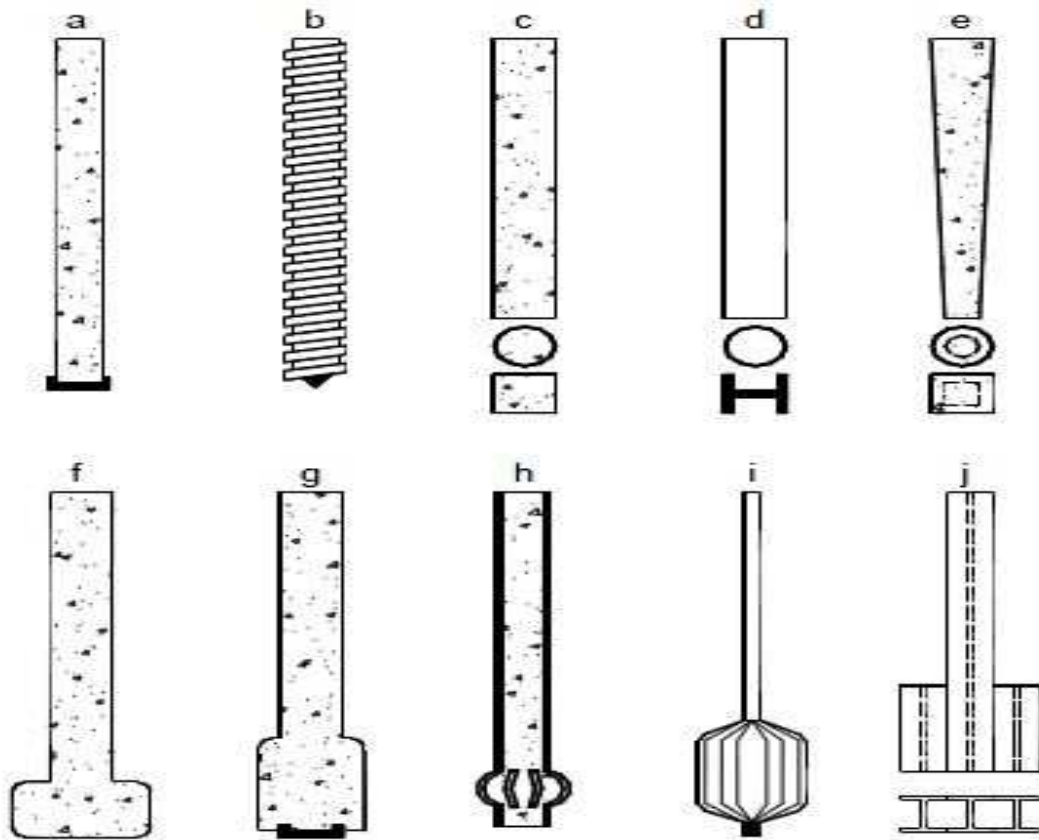
První fáze zhotovení piloty probíhá tak, že je průběžný šnek zavrtán do požadované hloubky s minimálním nahromaděním zeminy na povrchu v okolí vrtu. Zemina tak zůstává okolo šneku pod úrovní terénu a tvoří nám tak pažení vrtu. Abychom zabránili vnikání zeminy či vody do středové trubky průběžného šneku, musíme ji náležitě uzavřít. Druhá fáze spočívá v betonáži piloty za současného vytahování průběžného šneku. Beton je veden středovou rourou pomocí betonových čerpadel pod tlakem, který nám tak zajistí zvýšenou plášťovou únosnost. Při betonáži se v žádném případě nesmí průběžný šnek otáčet opačným směrem než v první fázi. Betonáž za současného vytahování probíhá buď bez otáček, nebo s otáčkami stejně orientovanými s vrtáním. V průběhu betonáže musí být zajištěn nepřerušovaný přísun čerstvého betonu, abychom vyplnili celý dřík piloty bez přerušení. V konečné fázi odstraníme vhodnou technikou zeminu, která se nám nakupila v okolí ohlubně vrtu a po úpravě betonu v hlavě piloty spustíme armokoš. Ten nejprve klesá vlastní tíhou, ale poté je nutno použít pro jeho správné dosednutí techniku. Vhodné je tlačení např. pomocí lžice nakladače, na druhou stranu je nepřijatelné vibrování z důvodu rizika roztřídění betonu. Jednotlivé fáze výstavby jsou znázorněny na obr. 3.6. [2]



Obr.3.6: Fáze výstavby CFA pilot [11]

3.4 Piloty ražené

V evropské klasifikaci označované jako „displacement“. Je zřejmé, že se oproti vrtaným pilotám (replacement) mění celá technologie výstavby. Neprovádí se vrt s následným těžním zeminy, ale zemina je při provádění piloty roztlačována v jejím okolí. Jako vhodná metoda se používá beranění, vibrování, šroubování, zatlačování nebo některá kombinace. Použitelné materiály na výrobu ražených pilot jsou: ocel, litina, železobeton nebo předpjatý beton, dřevo, malta nebo kombinace některých z uvedených materiálů. Ražené piloty se dají dále dělit na prefabrikované a zhotovené na místě. Na obr.3.7 jsou uvedeny nejpoužívanější typy ražených pilot. [2]



Obr.3.7: Příklady ražených pilot: a) beraněná na místě betonovaná, b) šroubová na místě betonovaná, c) prefabrikovaná železobetonová, d) ocelová (kruhová, H), e) prefabrikovaná žb kónická, f) na místě betonovaná s rozšířenou patou (předrážená, franki), g) na místě betonovaná s rozšířením paty, h) na místě betonovaná s ponechanou pažnicí a s rozšířením paty, i) s tělesem rozšiřující patu v měkké zemině, j) ocelová svařovaná s rozšířením paty [2]

3.4.1 Prefabrikované

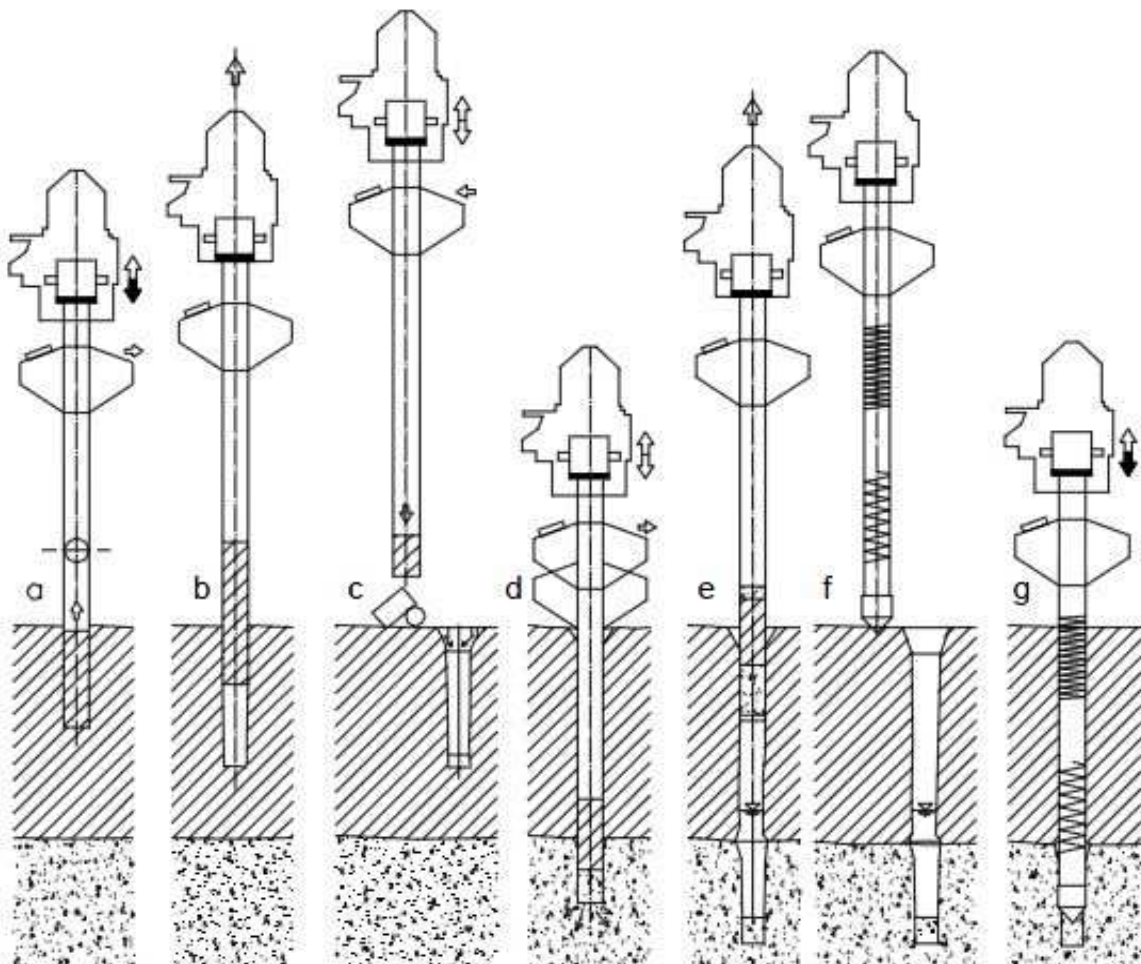
Díky geotechnickým poměrům jsou nejvíce rozšířené v severní Evropě. U nás se prakticky od konce 90. let neprovádí. Provádí se hlavně beraněním nebo vibrováním. Pokud navrhujeme ražené piloty jako skupinové, musíme řešit předvrtávání následných pilot. Zemina je stačena do takové míry, že není možné ostatní piloty dorazit, a právě předvrtáním dojde k uvolnění zeminy a následném doražení piloty. Předvrtáním ale nepříznivě ovlivníme únosnost pilot. Pro zvýšení únosnosti můžeme použít injektáž směsí cementové suspenze, kterou do dříku piloty injektujeme za pomoci ocelových trubek do dříku zabudovaných nebo k němu připevněných. Vlivem zarážení železobetonových pilot jsou hlavy značně poškozeny a je nutné jejich odbourání až na neporušený beton (obr.3.8). Pro každý druh beraněných prefabrikovaných pilot je nutné určit kritéria pro ražení, které stanovíme s ohledem na druh beranu (vibrátoru), rozměry a jejich délky. [2]



Obr. 3.8: Ražené železobetonové piloty (u některých pilot je vidět poškození hlavy důsledkem beranění) [12]

3.4.2 Na místě betonované

Na rozdíl od ražených pilot prefabrikovaných se provede beraněním, vibrováním nebo šroubováním otvor, jenž se následně zabetonuje a razící roura, kterou jsme otvor zhotovili, se vytáhne. Takto provedeným pilotám říkáme „dočasně pažené“. Pokud razící rouru ponecháme, hovoříme o pilotách „trvale pažených“. V našich geologických podmínkách jsou rozšířeny dva typy. Piloty VUIS, které u nás v současnosti ztrácí význam kvůli omezením z hlediska geotechnických podmínek byly rozšířeny hlavně na Slovensku, kde byly také vyvinuty (obr.3.9). Druhý, u nás nejpoužívanější typ jsou piloty FRANKI, který v současnosti představuje 10 – 15 % hlubinných základů.



Obr.3.9: Schéma výroby pilot VUIS se ztracenou botkou: a) vibrování pažnice, b) těžba soudržné zeminy, c) odstranění zeminy pomocí stlačeného vzduchu, d) betonáž piloty, e) vibrování se ztracenou botkou, f) armování piloty, g) betonáž piloty [2]

Zhotovení pilot FRANKI probíhá následovně:

Razící roura se vztyčí a pomocí skipu se její dno zasype suchým betonem s drceným kamenivem (cca. $0,15 \text{ m}^3$). Beton v dolní části roury vytvoří zátku, tzv. „korek“, který je následně hutněn dopadem beranu s hmotností $1,5 - 5,5 \text{ t}$ z výšky $2 - 4 \text{ m}$. Opakované nárazy beranu způsobí vnikání roury do zeminy až do požadované hloubky. Roura se vyvěsí a přidá se ještě $0,5 - 1,5 \text{ m}^3$ betonu. V dalším kroku se vyrazí „korek“ a dojde k utváření „cibule“ pod patou piloty. Nesmí dojít k úplnému vyražení zátky z roury, aby nedošlo k narušení celistvosti piloty. Právě „cibule“ má rozhodující vliv na únosnost piloty. Poté se osadí armokoš s následným dosypáním betonu. V posledním kroku se vytáhne razící roura za současného hutnění betonu beranem. Na obr.3.10 je patrná průměr piloty oproti vzniklé „cibuli“ pod patou. [2]



Obr.3.10: Pohled na „cibuli“ piloty Franki [13]

4 Mikropiloty

Mikropiloty jsou štíhlé stavební prvky s průměrem do 300 mm. Přenášejí jak tlakové, tak i tahové síly od základů nebo od zemního tlaku. Díky nízkým nárokům na využitý prostor při provádění se využívají hlavně na podchycování či zesilování základů stávajících staveb, ale také pro založení objektů nových, kde nám stísněné podmínky nedovolují řešit piloty velkopřůměrové. Mikropiloty lze využít také jako stabilizační opatření, tzn. pro zajištění svahu proti sesuvu. Jejich využití nalezneme i u podzemních staveb při stabilizaci prováděného výrubu nebo u špatně vrtatelných hornin v základové půdě, kde není možnost použít piloty vrtané. [2], [7]

Podle průměru lze piloty dělit na:

- vrtané mikropiloty s průměrem < 300 mm (obr.4.1)
- ražené mikropiloty s průměrem < 150 mm



Obr. 4.1: Detail šroubovice vrtané mikropiloty [18]

Délky, ve kterých se mikropiloty provádějí nejsou omezeny. Stejně tak i jejich sklon lze provádět pod libovolným úhlem. Kromě tlakových a tahových sil se v některých případech setkáme i s působením příčných sil, proti kterým mají ale malou tuhost, a pro zajištění bezpečného přenosu je nutno mikropiloty navrhnout jako skupinu – mikropilotové rošty. Z hlediska vyztužení jsou mikropiloty řešené se silnostěnnou trubní vyztuží, což u nás představuje drtivou většinu, nebo se dají vyztužit pomocí armokošů.

Dle způsobu uvedení mikropilot do funkce se dělí na:

- Nepředtížované – deformace probíhá po spojení s nezakladovou konstrukcí
- Předtížené – před spojením se základem se předtíží silou odpovídající jejímu následnému zatížení
- Předpjaté – předtížená pilota spojena s konstrukcí v zatíženém stavu

Celou mikropilotu lze rozdělit na několik částí – hlavu, dřík, kořen a patu. V horní části nalezneme hlavu piloty, která je tvořena buď ocelovou deskou s nátrubkem (mikropiloty trubní) nebo rozptýlenou betonářskou výztuží (mikropiloty armokošové). Touto úpravou se stýká s nadzákladovou konstrukcí. Osově zatížení, a to jak tlakové tak i tahové se přenáší do kořene pomocí dříku. Dřík je část mikropiloty, která je neinjektovaná. Osově síly tedy zachytí kořen, který tvoří spodní část celé mikropiloty a je v okolní hornině držen pomocí injektáže. Na samotném spodku neboli v úrovni počvy vrtu se nachází pata mikropiloty. [2]

4.1 Technologie provádění

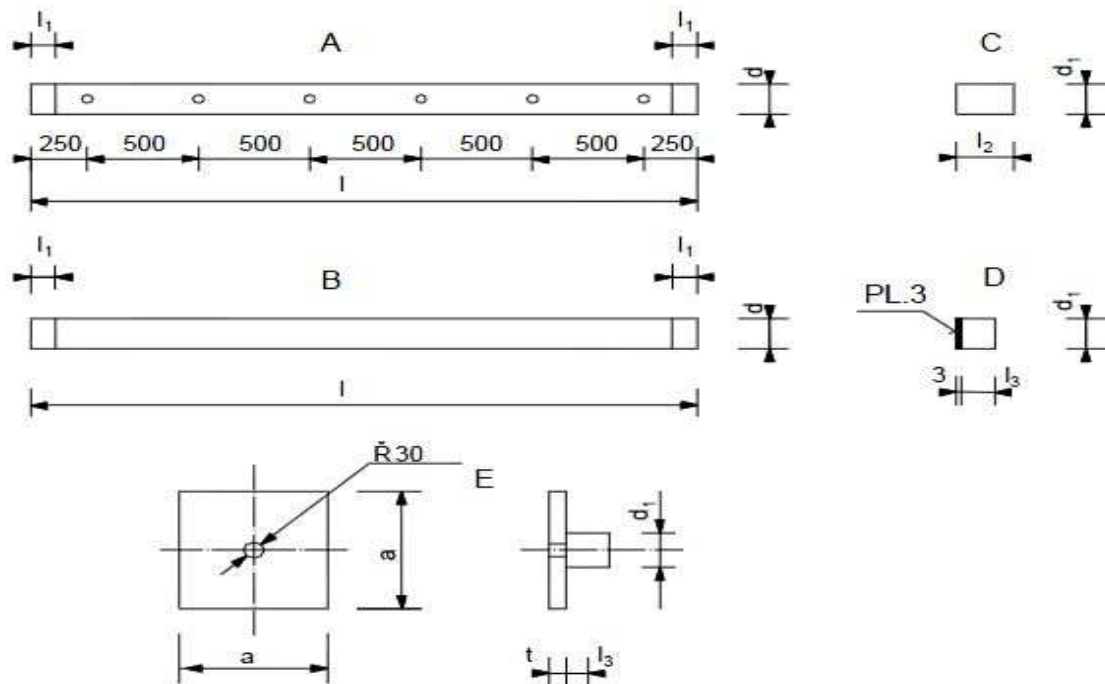
V první fázi je nutno provést maloprofilový vrt. Celá technologie je využitelná nejen při provádění mikropilot, ale také při výrobě kotev, hřebíků či injektáže (klasické i tryskové). Vrty jsou většinou prováděny jako bezjádrové z důvodu zvýšení rychlosti vrtání bez nutnosti odběru jádra. S ohledem na geotechnické podmínky, prováděnou konstrukci a její charakter volíme příslušnou technologii provádění vrtu. V tab.3 jsou uvedeny nejběžnější způsoby v našich geotechnických.

Tab.3: Technologie vrtání maloprofilových vrtů [2]

TECHNOLOGIE VRTÁNÍ	GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY
Rotační vrtání spirálem za sucha	soudržné zeminy tuhé až pevné konzistence, měkké poloskalní
Rotační vrtání na plnou čelbu s výplachem	zeminy a měkké horniny
Rotační příklepové vrtání	tvrdé horniny, štěrky, balvanité zeminy, ostatní horniny

V druhé fázi zajistíme výztuž mikropilot. Jak už bylo zmíněno na začátku, jako vhodnou výztuž lze použít buď silnostěnnou trubku o délkách 1500 mm nebo 3000 mm s nejčastěji používanými průměry 70/12 mm, 89/10 mm nebo 108/16 mm (obr.4.2). Jako alternativu můžeme použít speciálně upravený armokoš z betonářské výztuže o profilech 20 – 28 mm a ovinutou spirálou průměru 5 – 6 mm, který je ve spodní části opatřen čtveřicí prutů průměru 6 mm, jenž jsou překryty gumovou manžetou. Výroba armokoše probíhá v jednom kuse bez použití montážního styku. V ojedinělých případech lze provádět speciální mikropiloty s výztuží válcovaných ocelových profilů.

Připravená výztuž se po odmaštění a zbavení nečistot vsune do vrtu, který je vyplněn cementovou zálivkou. Cementová zálivka je do vrtu aplikována ihned po jeho dokončení v poměru cement : voda = 2,5 : 1. Lze použít i cementovou maltu, pokud zajistíme následné osazení výztuže.



Obr.4.2: Schéma typických dílů výztužných trubek mikropilot: a) perforovaná trubka, b) plná trubka, c) spojník, d) zátka, e) hlava na tlak s nátrubkem [2]

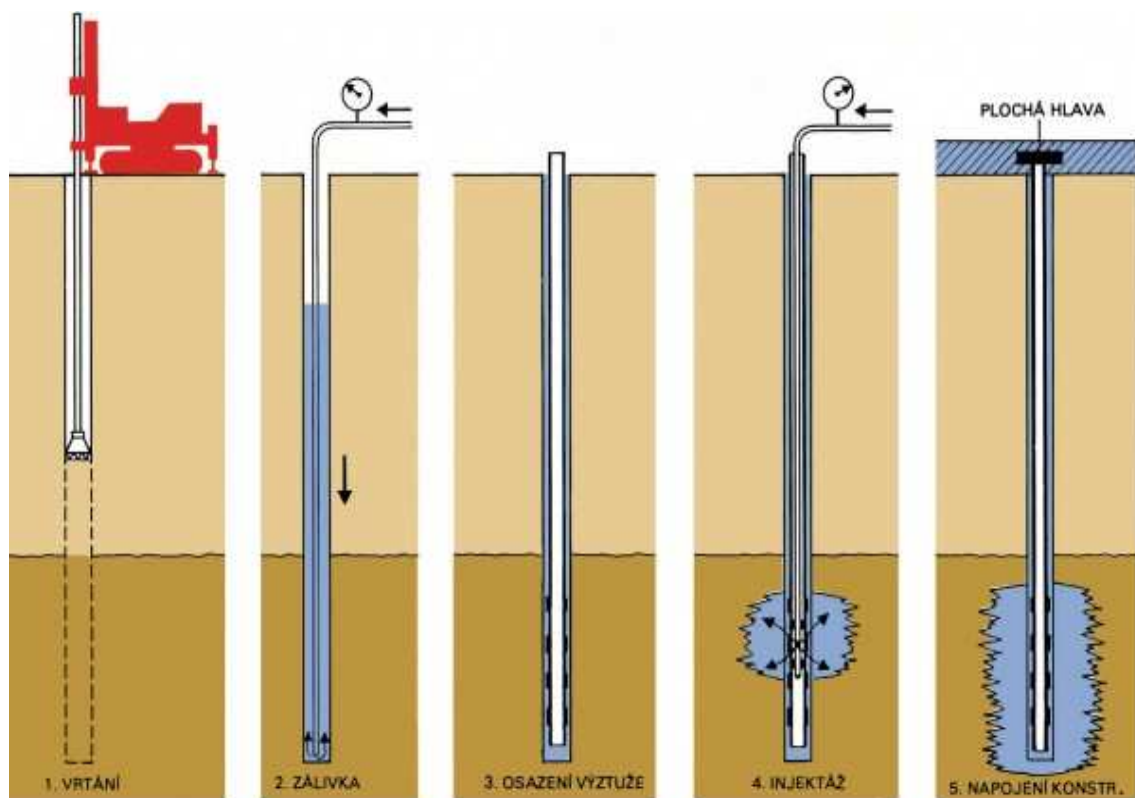
V třetí fázi zajistíme únosnost mikropiloty injektáží kořene. Na rozdíl od klasické injektáže, kde je hlavní cíl proinjektování okolní zeminy a zlepšení jejich vlastností, tady musíme docílit upnutí kořene mikropiloty do okolního prostředí použitím injektážní směsi, kterou do okolí kořene roztáčíme radiálním směrem. Injektuje se tedy v meších dávkách směsi, zásadně od spodku kořene po jeho vrch s možností opakované reinjektáže. Injektáž je provedena pomocí vysokotlakého čerpadla přes dvojitý obturátor, který na příslušnou etáž dvěma způsoby:

- Ve výztužné trubce – mikropiloty trubní
- V trubce manžetové – mikropiloty armokošové popř. ostatní

Průběh injektáže lze také rozdělit na několik fází. První fázi můžeme zahájit několik hodin po osazení výztuže. Přesný čas se určí s ohledem na použitou injektážní směs.

Nejprve osadíme dvojitý obturátor na spodní etáž a za soustavného sledování tlaku injektujeme. Pokud dosáhneme předepsaného tlaku, injektáž příslušné etáže je ukončena a obturátor uvolníme a přesuneme ho na další etáž. Tlak má vždy tendenci rostoucí, ale po protržení zálivky náhle klesne. V další injektáži opět roste. Jakmile tlak protrhne zálivku, musíme ho snížit na rychlost injektáže okolo 5 l/min. Po skončení injektáže se nesmí zapomenout vypláchnout trubku vodou, aby byla pro následnou reinjektáž průchodná.

Následuje reinjektáž, dokud nedosáhneme předepsaného tlaku. Pokud se nám nepodaří protrhnout zálivku ani při tlaku 10 MPa, můžeme etáž považovat za ukončenou. Naopak pokud nedosáhneme ani při druhé injektáži požadovaného tlaku, je nutné se poradit s projektantem. Hotovou mikropilotu je nutné nakonec vyplnit zálivkou. Celkový technologický postup provádění mikropilot znázorňuje obr.4.3. [2]



Obr.4.3: Technologický postup provádění mikropilot [15]

5 Praktická aplikace

5.1 Zadání

5.1.1 Popis zadaného objektu

Otevřená kniha se špuntem. Tak označuje stavbu její architekt František Šmédek. Její skutečný název je SONOCENTRUM a jedná se o polyfunkční budovu s velice futuristickým vzhledem (obr.5.1). Celý komplex bude mít čtyři podzemní a devět nadzemních podlaží. Na ploše přes 1100 m² nalezneme luxusní byty, restauraci s kapacitou až 300 osob a v kouli, jež značnou částí přispívá extravagantnímu vzhledu, bude umístěn víceúčelový sál s jevištěm, tanečním parketem a hledištěm s třemi galeriemi. [8]



Obr.5.1: Sonocentrum [8]

Objekt se nachází severovýchodně od středu města na ulici Veveří, v městské části Žabovřesky. Na jeho jihovýchodní straně navazuje na budovu komerčního centra Platinum a na straně severozápadní navazuje na administrativní objekt Chempex. Stavba se nachází ve stísněných podmínkách s úrovní základové spáry cca. 9,5 m pod úrovní terénu. Pozemek je lichoběžníkového tvaru o rozměrech 32x70 metrů a jeho

nadmořská výška se pohybuje od 249 do 250 m.n.m.

Vzhledem k geologickým a hydrogeologickým podmínkám byly zvoleny jako nejoptimálnější řešení velkopřůměrové vrtané piloty o průměrech 630, 920 a 1220 mm.



Obr.5.2: Pohled na stavební jámu z ulice Veverí [21]



Obr.5.3: Pohled na dno stavební jámy. Jednotlivé piloty jsou již zabetonovány a připraveny na další fázi výstavby [22]



Obr.5.4: Pohled na zhotovenou základovou desku. Rozmístění pilot je zřejmé dle vyčnívající výztuže [22]



Obr.5.5: Stavba ve fázi výstavby skeletu

5.1.2 Geologické a hydrogeologické poměry

Z hlediska geologie má Brno velice pozoruhodnou polohu. Nachází se v blízkosti hranic dvou významných geologických celků, kterými jsou Český masív a Karpaty. Pro Brno jsou typické vrstvy neogenních jíílů, tzv. téglů, které mají nejen značný rozsah, ale i velké mocnosti v řádech desítek až stovek metrů. V území stavby se nacházejí v nadmořské výšce přibližně 241 m n. m. s mocností okolo 11 metrů. Znamená to, že se v hloubce okolo 230 m n. m. nachází další geologická vrstva, kterou je brněnský masív tvořený silně zvětralými granodiority rozloženými na eluviální písky. Vzhledem k dostupným informacím nemůžeme s jistotou určit průběh skalního podloží. Základová spára objektu se nachází v hloubce 9,5 metrů pod terénem. Mocnost neogenních jíílů pod základovou spárou je tedy přibližně 10 metrů a nasedají na brněnský masív. Návrh pilot nám tedy ovlivní tyto dvě geologické vrstvy.

Hladina podzemní vody nebyla zastižena v žádné části území. Vrstvy neogenních jíílů vykazují pouze zemní vlhkost, která nebude mít velký vliv na návrh pilot.



Obr.5.6: Směrová a výšková poloha objektu [19]

5.1.3 Geotechnické vlastnosti zeminy

➤ NEOGENNÍ JÍL

Tab.4: Geotechnické vlastnosti neogenních jílu [22]

VELIČINA	SYMBOL	HODNOTA	JEDNOTKA
Poissonovo číslo	ν	0,42	-
převodní součinitel	β	0,37	-
objemová tíha	γ	20,5	[kN/m ³]
vlhkost	w	32	[%]
mez tekutosti	w _L	84,4	[%]
mez plasticity	w _p	29,7	[%]
stupeň konzistence	I _c	0,96 - 1,13	-
soudržnost	c _{ef}	17,1	[kPa]
úhel vnitřního tření	ϕ_{ef}	20	[°]
modul přetvárnosti	E _{oed}	3	[MPa]

➤ BRNĚNSKÝ MASÍV

Tab.5: Geotechnické vlastnosti brněnského masívu [22]

VELIČINA	SYMBOL	HODNOTA	JEDNOTKA
pevnost v prostém tlaku	σ_{ci}	5	[MPa]
soudržnost	c _{ef}	95	[kPa]
úhel vnitřního tření	ϕ_{ef}	25	[°]
objemová tíha	γ	25	[kN/m ³]

5.2 Teorie výpočtu

Dle projektové dokumentace bude výpočet proveden pro nejvíce zatíženou pilotu P29 s osovou silou o velikosti $N = 8640$ kN a pilotu P63 s osovou silou $N = 5090$ kN. [22] Vzhledem k geotechnickým podmínkám na místě stavby bude výpočet proveden jako pilota plovoucí, z části zahloubena v neocenním jílu (F8 CV) a z části v podskalní hornině – granodioritu (R5). Výpočty budou provedeny pro dvě piloty rozdílné délky a průměru. Výsledkem bude nejen porovnání obou výpočtů z hlediska skupiny mezních stavů s následným srovnáním výpočtu zhotoveného výpočetním programem GEO5, ale také zhodnocení obou variant z hlediska ekonomického. Teorie výpočtu na základě 1. a 2. skupiny mezních stavů je popsána níže.

- ❖ Únosnost osamělých pilot stanovená výpočtem na základě 1. skupiny mezních stavů:

Výpočtová únosnost se vypočítá podle vztahu: [2]

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} \geq V_d$$

U_{vd} svislá výpočtová únosnost piloty

U_{bd} výpočtová únosnost paty piloty

U_{fd} výpočtová únosnost na plášti piloty

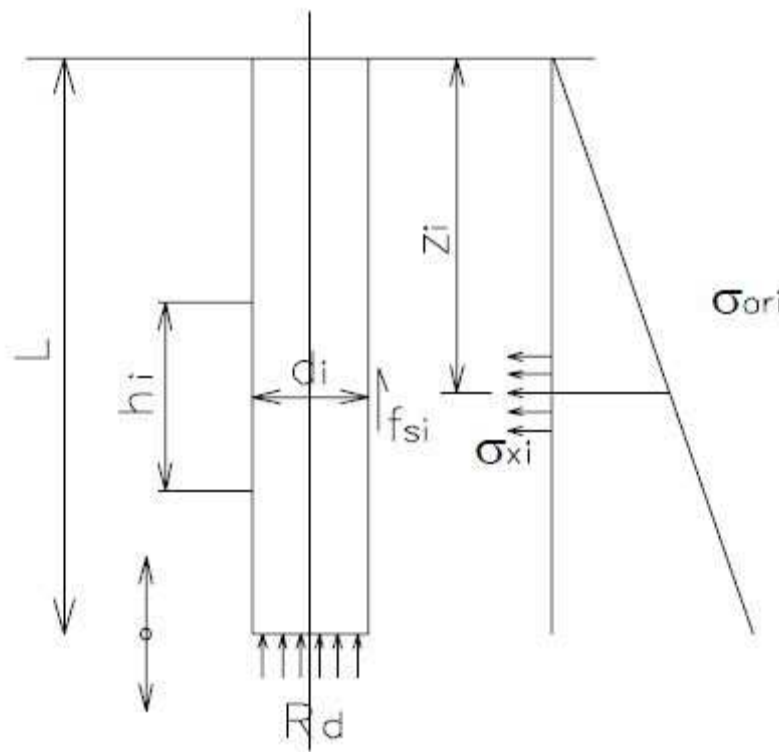
V_d svislá složka extrémního výpočtového zatížení v hlavě piloty

Součinitelé spolehlivosti γ_m :

$\gamma_{m\phi} = 1,4$ pro úhel vnitřního tření (efektivní nebo totální)

$\gamma_{mc} = 2,0$ pro soudržnost (efektivní nebo totální)

$\gamma_{m\gamma} = 1,0$ pro objemovou tíhu a hydrostatický tlak



Obr.5.7: Schéma piloty pro výpočet únosnosti pro 1. skupinu MS [2]

Únosnost paty piloty se vypočítá dle vztahu:

$$U_{bd} = k_1 \cdot A_s \cdot R_d$$

A_s plocha paty piloty

R_d výpočtová únosnost paty piloty

$$R_d = 1,2 \cdot c \cdot N_c + (1 + \sin \varphi_a) \cdot \gamma_1 \cdot L \cdot N_d + \gamma_2 \cdot d/2 \cdot N_b$$

$N_c = 2 + \pi$ pro $\varphi_u = 0$

$N_c = (N_d - 1) \cdot \cotg \varphi_a$ pro $\varphi_a > 0$

$N_d = \exp(\pi \cdot \tg \varphi_d) \cdot \tg^2(45 + \varphi_d/2)$

$N_b = 1,5 \cdot (N_d - 1) \cdot \tg \varphi_a$

K_1 součinitel, vyjadřující zvětšení únosnosti vlivem délky piloty L :

$K_1 = 1,0$ $L \leq 2,0$ m

$K_1 = 1,05$ $2,0$ m $< L < 4,0$ m

$K_1 = 1,1$ $4,0$ m $< L < 6,0$ m

$K_1 = 1,15$ $L > 6,0$ m

Výpočtová únosnost na plášti piloty se vypočítá ze vztahu:

$$U_{fd} = \sum \pi \cdot d_i \cdot h_i \cdot f_{si}$$

f_{si} tření na plášti

$$f_{si} = \sigma_{xi} \cdot \tg(\varphi_d / \gamma_{r1}) + c_d / \gamma_{r2}$$

kontaktní napětí v i -té vrstvě je dáno:

$$\sigma_{xi} = k_2 \cdot \sigma_{ori}$$

σ_{ori} geostatické napětí v hloubce z_i

k_2 Součinitel bočního zemního tlaku na plášti piloty:

$$k_2 = 1,0 \dots\dots\dots z \leq 10,0 \text{ m}$$

$$k_2 = 1,2 \dots\dots\dots z > 10,0 \text{ m}$$

součinitel γ_{r2} zohledňuje podmínky působení základové půdy:

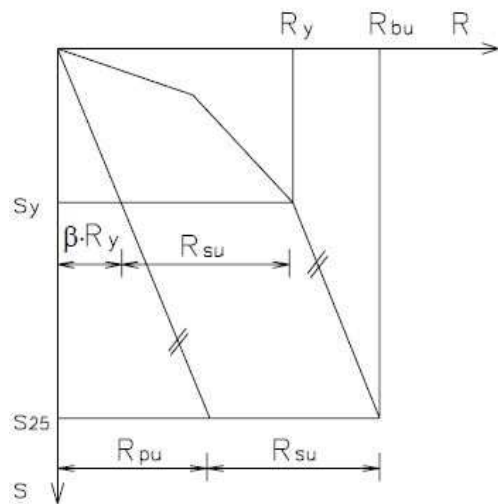
$$\gamma_{r2} = 1,3 \dots\dots\dots z \leq 1,0 \text{ m}$$

$$\gamma_{r2} = 1,2 \dots\dots\dots 1,0 \text{ m} < z \leq 2,0 \text{ m}$$

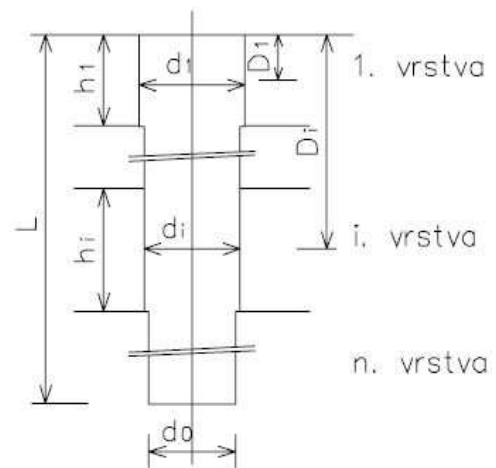
$$\gamma_{r2} = 1,1 \dots\dots\dots 2,0 \text{ m} < z \leq 3,0 \text{ m}$$

$$\gamma_{r2} = 1,0 \dots\dots\dots z > 3,0 \text{ m}$$

- ❖ Únosnost osamělých pilot stanovena výpočtem na základě 2. skupiny mezních stavů:
 - Z důvodu přítomnosti pouze zemin a podskalních hornin bude výpočet proveden jako pilota zahlobená do stlačitelného podloží. Je nutno řešit tvar mezní zatěžovací křivky (obr.5.6). [2]



Obr.5.8: Mezní zatěžovací křivka [2]



Obr.5.9: Pilota ve vrstevnaté zemině [2]

Mezní únosnost na plášti piloty:

$$R_{su} = m_1 \cdot m_2 \cdot \pi \cdot \sum d_i \cdot h_i \cdot q_{si}$$

h_i mocnost příslušné vrstvy zemině (obr.5.7)

m_1 dílčí koeficient dle druhu zatížení

$m_1 = 0,7$ zatížení provozní

$m_1 = 1,0$ zatížení extrémní

m_2 dílčí koeficient vyjadřující vliv povrchu dřívku

$m_2 = 1,0$ betonáž do suchého vrtu a pod vodou

$m_2 = 1,0$ Betonáž pod pažící suspenzí

Velikost mezního plášťového tření q_{si} :

$$q_{si} = a - b/(D_i/d_i)$$

a, b regresní koeficienty (tab.6)

D_i Vzdálenost mezi hlavou piloty a polovinou i-té vrstvy

d_i Průměr piloty v i-té vrstvě

Tab.6: Regresní koeficienty [2]

Zemina Hornina		Regresní koeficienty /kPa/			
		a	b	e	f
Poloskalní	R 3	246,02	225,95	2841,31	1298,96
	R 4	169,98	139,45	1616,22	1155,34
	R 5	131,92	94,96	957,61	703,89
Nesoudržné	ID = 0,5	62,46	16,06	268,11	174,89
	ID = 0,7	91,22	48,44	490,34	445,42
	ID = 0,9	154,03	115,88	1596,70	1399,88
Soudržné	IC = 0,5	46,39	20,81	197,74	150,22
	IC ≥ 1,0	97,31	108,59	987,60	1084,26

Velikost napětí na patě piloty při deformaci za plné mobilizace plášťového tření q_0 :

$$q_0 = e - f/(L/d_0)$$

e, f regresní koeficienty (tab.6)

L délka piloty

d_0 průměr piloty v patě

Průměrná velikost plášťového tření podél dřívku q_s :

$$q_s = (\sum d_i \cdot h_i \cdot q_{si}) / (\sum d_i \cdot h_i)$$

Koeficient přenosu zatížení do paty piloty β :

$$\beta = q_0 / (q_0 + 4 \cdot q_s \cdot L / d_0)$$

Zatížení v hlavě piloty na mezi mobilizace plášťového tření R_y :

$$R_y = R_{su} / (1 - \beta)$$

Velikost sedání S_y je dána rovnicí:

$$S_y = I \cdot R_y / (d \cdot E_s)$$

I příčinkový koeficient sedání piloty

E_s průměrná velikost sečnového modulu deformace zemin podél dřívku

Příčinkový koeficient I :

$$I = I_1 \cdot R_k$$

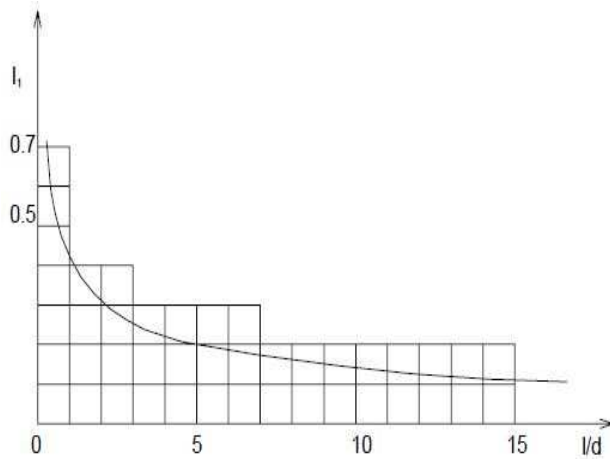
I_1 základní příčinkový koeficient (obr.5.8)

R_k ... korekční součinitel vyjadřující vliv tuhosti K a štíhlostní poměr L/d
(obr.5.9)

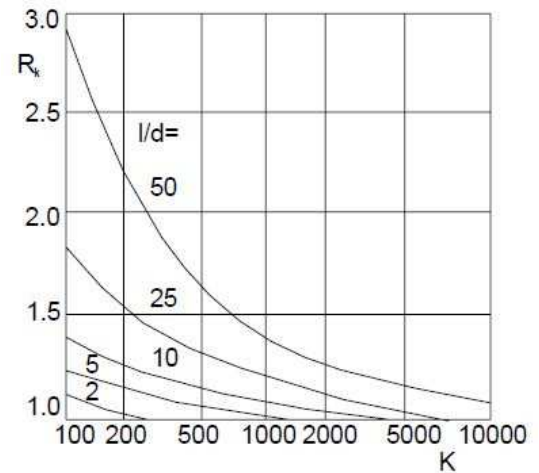
Velikosti sečnových modulů E_s pro jednotlivé zeminy jsou sestaveny v tab.6 a 7.

Průměrný sečnový modul se vypočte jako:

$$E_s = (\sum E_{si} \cdot h_i) / (\sum h_i)$$



Obr.5.10: Základní příčinkový koeficient [2]



Obr.5.11: Korekční součinitel [2]

Tab.7: Sečnový modul deformace E_s pro podskální horniny [2]

h (m)	d /m/								
	0,6			1,0			1,5		
	R 3	R 4	R 5	R 3	R 4	R 5	R 3	R 4	R 5
1,5	50,3	28,2	20,2	72,3	35,0	24,7	85,5	33,5	22,3
3	64,5	43,1	30,8	105,5	57,3	41,0	138,3	58,8	41,2
5	-	58,2	41,3	-	75,3	54,8	-	87,9	63,7
10	-	87,5	61,6	-	114,5	83,2	-	133,0	97,0

Tab.8: Sečnový modul deformace E_s pro soudržné zeminy [2]

h /m/	d /m/					
	0,6		1,0		1,5	
	I_c					
	0,5	$\geq 1,0$	0,5	$\geq 1,0$	0,5	$\geq 1,0$
1,5	6,9	13,2	7,9	13,4	8,6	12,3
3	10,0	22,0	12,5	23,9	13,7	23,0
5	12,5	31,2	15,9	35,4	18,4	36,7
10	15,5	44,3	21,3	51,3	24,6	57,4

Souřadnice (S_y ; R_y) je určena první větve mezní zatěžovací křivky, která má tvar paraboly 2° a rovnici:

$$s = s_y(R/R_y)^2$$

$$0 \leq R \leq R_y$$

Druhá větve mezní zatěžovací křivky je určena úsečkou o souřadnicích koncového bodu ($S_{25} = 25$ mm; R_{bu}) a platí:

$$R_{bu} = R_{su} + R_{pu}$$

$$R_{pu} = \beta \cdot R_y \cdot S_{25} / S_y$$

Rovnice druhé větve mezní zatěžovací křivky je tedy:

$$s = S_y + (S_{25} - S_y) \cdot (R - R_y) / (R_{bu} - R_y)$$

$$R_y \leq R \leq R_{bu}$$

5.3 Vlastní výpočet

5.3.1 Ruční výpočet podle 1. a 2. skupiny mezních stavů pro pilotu P29

- Pilota P29, $V_d = 8640$ kN, $d = 1220$ mm, $L = 13,5$ m

Výpočet na základě 1. skupiny MS

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} \geq V_d$$

Únosnost na patě piloty:

$$U_{bd} = k_1 \cdot A_s \cdot R_d$$

$$A_s = \pi \cdot d^2 / 4 = \pi \cdot 1,22^2 / 4 = 1,169 \text{ m}^2$$

$$C_d = C_u / 2 = 95 / 2 = 47,5 \text{ kPa}$$

$$\varphi_d = \varphi_{ef} - 4 = 25 - 4 = 21^\circ$$

$$N_d = \exp(\pi \cdot \text{tg} \varphi_d) \cdot \text{tg}^2(45 + \varphi_d/2) = \exp(\pi \cdot \text{tg} 21) \cdot \text{tg}^2(45 + 21/2) = 7,071$$

$$N_c = (N_d - 1) \cdot \cot \varphi_a = (6,939 - 1) \cdot \cot 21 = 15,815$$

$$N_b = 1,5 \cdot (N_d - 1) \cdot \text{tg} \varphi_a = 1,5 \cdot (6,939 - 1) \cdot \text{tg} 21 = 3,496$$

$$\begin{aligned} R_d &= 1,2 \cdot c \cdot N_c + (1 + \sin \varphi_a) \cdot (\Sigma h_i \cdot \gamma_i / \Sigma h_j) \cdot L \cdot N_d + \gamma_2 \cdot d / 2 \cdot N_b = \\ &= 1,2 \cdot 47,5 \cdot 15,815 + (1 + \sin 21) \cdot (\Sigma 10 \cdot 20,5 + 3,5 \cdot 25 / \Sigma 10 + 3,5) \cdot 13,5 \cdot 7,071 + \\ &+ 0,7 \cdot 25 \cdot 1,22 / 2 \cdot 3,496 = 901,455 + 2809,468 + 37,319 = 3748,242 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$U_{bd} = 1,15 \cdot 1,169 \cdot 3748,242 = \underline{\underline{5038,949 \text{ kN}}}$$

Únosnost na plášti piloty:

$$\sigma_{or1} = z_1 \cdot \gamma_I = 5 \cdot 20,5 = 102,5 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x1} = k_2 \cdot \sigma_{or1} = 1,0 \cdot 102,5 = 102,5 \text{ kPa}$$

$$f_{s1} = \sigma_{x1} \cdot \text{tg}(\varphi_d / \gamma_{r1}) + c_d / \gamma_{r2} = 102,5 \cdot \text{tg}(21/1,0) + (17,1/2)/1,0 = 47,896 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{or2} = z_2 \cdot \gamma_{II} = 10 \cdot 20,5 + 1,75 \cdot 25 = 248,750 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x2} = k_2 \cdot \sigma_{or2} = 1,2 \cdot 248,750 = 298,500 \text{ kPa}$$

$$f_{s2} = \sigma_{x2} \cdot \text{tg}(\varphi_d / \gamma_{r1}) + c_d / \gamma_{r2} = 298,500 \cdot \text{tg}(21/1,1) + 47,5/1,0 = 150,812 \text{ kPa}$$

$$U_{fd} = \Sigma \pi \cdot d_i \cdot h_i \cdot f_{si} = \pi \cdot 1,22 \cdot 10 \cdot 47,896 + \pi \cdot 1,22 \cdot 3,5 \cdot 150,812 = \underline{\underline{3858,813 \text{ kN}}}$$

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} = 5038,949 + 3858,813 = \underline{\underline{8897,762 \text{ kN}}}$$

$$U_{vd} \geq V_d \text{ } \mathbf{8897,762 \text{ kN} > 8640 \text{ kN} \text{ VYHOVUJE!}$$

Výpočet na základě 2.skupiny MS

$$R_{su} = m_1 \cdot m_2 \cdot \pi \cdot \sum d_i \cdot h_i \cdot q_{si} = 0,7 \cdot 1,0 \cdot \pi \cdot (1,22 \cdot 10 \cdot 70,814 + 1,22 \cdot 3,5 \cdot 121,140) =$$
$$= 3037,414 \text{ kN}$$

$$q_{s1} = a - b/(D_1/d_1) = 97,31 - 108,59/(5/1,22) = 70,814 \text{ kPa}$$

$$q_{s2} = a - b/(D_2/d_2) = 131,92 - 94,96/(11,75/1,22) = 121,140 \text{ kPa}$$

$$q_0 = e - f/(L/d_0) = 957,61 - 703,89/(13,5/1,22) = 893,999 \text{ kPa}$$

$$q_s = (1,22 \cdot 10 \cdot 70,814 + 1,22 \cdot 3,5 \cdot 121,140) / (1,22 \cdot 10 + 1,22 \cdot 3,5) = 83,816 \text{ kPa}$$

$$\beta = q_0 / (q_0 + 4 \cdot q_s \cdot L / d_0) = 893,999 / (893,999 + 4 \cdot 83,816 \cdot 13,5 / 1,22) = 0,194$$

$$R_y = R_{su} / (1 - \beta) = 3037,414 / (1 - 0,194) = 3768,504 \text{ kN}$$

$$I = I_1 \cdot R_k = 0,15 \cdot 1,1 = 0,165$$

$$I_1 \dots \text{obr. 5.8} \Rightarrow I_1 = 0,15$$

$$R_k \dots \text{obr. 5.9} \Rightarrow R_k = 1,1$$

$$k = E_b / E_s = 32 \cdot 10^9 / 51,785 \cdot 10^6 \approx 620$$

$$E_s = (\sum E_{si} \cdot h_i) / (\sum h_i) = (53,984 \cdot 10 + 45,504 \cdot 3,5) / (10 + 3,5) = 51,785 \text{ MPa}$$

$$E_{si} \dots \text{tab.6 a7}$$

$$S_y = I \cdot R_y / (d \cdot E_s) = 0,165 \cdot 3768,504 / (1,22 \cdot 51785) = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 9,8 \text{ mm}$$

$$R_{pu} = \beta \cdot R_y \cdot S_{25} / S_y = 0,194 \cdot 3768,504 \cdot 25 / 9,8 = 1865,025 \text{ kN}$$

$$R_{bu} = R_{su} + R_{pu} = 3037,414 + 1865,025 = 4902,439 \text{ kN}$$

$R_y < R > R_{bu} \dots \text{sedání piloty je větší než } s_{lim} = 25 \text{ mm!} \Rightarrow \text{nový návrh piloty}$

Přepočítání 2. mezního stavu pro novou pilotu o délce $L = 26\text{m}$:

$$R_{su} = m_1 \cdot m_2 \cdot \pi \cdot \sum d_i \cdot h_i \cdot q_{si} = 0,7 \cdot 1,0 \cdot \pi \cdot (1,22 \cdot 10 \cdot 70,814 + 1,22 \cdot 16 \cdot 125,483) = \\ = 7286,457 \text{ kN}$$

$$q_{s1} = a - b/(D_1/d_1) = 97,31 - 108,59/(5/1,22) = 70,814 \text{ kPa}$$

$$q_{s2} = a - b/(D_2/d_2) = 131,92 - 94,96/(18/1,22) = 125,483 \text{ kPa}$$

$$q_0 = e - f/(L/d_0) = 957,61 - 703,89/(26/1,22) = 924,581 \text{ kPa}$$

$$q_s = (1,22 \cdot 10 \cdot 70,814 + 1,22 \cdot 16 \cdot 125,483) / (1,22 \cdot 10 + 1,22 \cdot 16) = 105,521 \text{ kPa}$$

$$\beta = q_0 / (q_0 + 4 \cdot q_s \cdot L / d_0) = 924,581 / (924,581 + 4 \cdot 105,521 \cdot 26 / 1,22) = 0,093$$

$$R_y = R_{su} / (1 - \beta) = 7286,457 / (1 - 0,093) = 8043,070 \text{ kN}$$

$$I = I_1 \cdot R_k = 0,1 \cdot 1,3 = 0,130$$

$$I_1 \dots \text{obr. 5.8} \Rightarrow I_1 = 0,1$$

$$R_k \dots \text{obr. 5.9} \Rightarrow R_k = 1,3$$

$$k = E_b / E_s = 32 \cdot 10^9 / 78,036 \cdot 10^6 \approx 410$$

$$E_s = (\sum E_{si} \cdot h_i) / (\sum h_i) = (53,984 \cdot 10 + 93,069 \cdot 16) / (10 + 16) = 78,036 \text{ MPa}$$

$$E_{si} \dots \text{tab.6 a7}$$

$$S_y = I \cdot R_y / (d \cdot E_s) = 0,130 \cdot 8043,070 / (1,22 \cdot 78036) = 11,4 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 11,4 \text{ mm}$$

$$R_{pu} = \beta \cdot R_y \cdot S_{25} / S_y = 0,093 \cdot 8033,579 \cdot 25 / 11,4 = 1698,006 \text{ kN}$$

$$R_{bu} = R_{su} + R_{pu} = 7286,457 + 1698,006 = 8984,463 \text{ kN}$$

$$R_y < R < R_{bu} \Rightarrow s = S_y + (S_{25} - S_y) \cdot (R - R_y) = 11,4 + (25 - 11,4) \cdot (8640 - \\ 8033,579) / (8984,463 - 8033,579) = 20,1 \text{ mm}$$

$$s_{lim} = 25 \text{ mm} > s = 20,1 \text{ mm} \dots \text{VYHOVUJE!}$$

Ověření v programu GEO5: viz. příloha č. 1

5.3.2 Ruční výpočet podle 1. a 2. skupiny mezních stavů pro pilotu P63

- Pilota P63, $V_d = 5090$ kN, $d = 920$ mm, $L = 13,0$ m

Výpočet na základě 1. skupiny MS

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} \geq V_d$$

Únosnost na patě piloty:

$$U_{bd} = k_1 \cdot A_s \cdot R_d$$

$$A_s = \pi \cdot d^2 / 4 = \pi \cdot 0,92^2 / 4 = 0,655 \text{ m}^2$$

$$C_d = C_u / 2 = 95 / 2 = 47,5 \text{ kPa}$$

$$\varphi_d = \varphi_{ef} - 4 = 25 - 4 = 21^\circ$$

$$N_d = \exp(\pi \cdot \text{tg} \varphi_d) \cdot \text{tg}^2(45 + \varphi_d / 2) = \exp(\pi \cdot \text{tg} 21) \cdot \text{tg}^2(45 + 21 / 2) = 7,071$$

$$N_c = (N_d - 1) \cdot \cotg \varphi_a = (6,939 - 1) \cdot \cotg 21 = 15,815$$

$$N_b = 1,5 \cdot (N_d - 1) \cdot \text{tg} \varphi_a = 1,5 \cdot (6,939 - 1) \cdot \text{tg} 21 = 3,496$$

$$\begin{aligned} R_d &= 1,2 \cdot c \cdot N_c + (1 + \sin \varphi_a) \cdot (\sum h_i \cdot \gamma_i / \sum h_i) \cdot L \cdot N_d + \gamma_2 \cdot d / 2 \cdot N_b = \\ &= 1,2 \cdot 47,5 \cdot 15,815 + (1 + \sin 21) \cdot (\sum 10 \cdot 20,5 + 3,0 \cdot 25 / \sum 10 + 3,0) \cdot 13,0 \cdot 7,071 + \\ &+ 0,7 \cdot 25 \cdot 0,92 / 2 \cdot 3,496 = 901,455 + 2689,406 + 28,1428 = 3619,003 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$U_{bd} = 1,15 \cdot 0,665 \cdot 3619,003 = \underline{\underline{2767,632 \text{ kN}}}$$

Únosnost na plášti piloty:

$$\sigma_{or1} = z_1 \cdot \gamma_I = 5 \cdot 20,5 = 102,5 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x1} = k_2 \cdot \sigma_{or1} = 1,0 \cdot 102,5 = 102,5 \text{ kPa}$$

$$f_{s1} = \sigma_{x1} \cdot \text{tg}(\varphi_d / \gamma_{r1}) + c_d / \gamma_{r2} = 102,5 \cdot \text{tg}(21 / 1,0) + (17,1 / 2) / 1,0 = 47,896 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{or2} = z_2 \cdot \gamma_{II} = 10 \cdot 20,5 + 1,5 \cdot 25 = 242,500 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{x2} = k_2 \cdot \sigma_{or2} = 1,2 \cdot 242,500 = 291 \text{ kPa}$$

$$f_{s2} = \sigma_{x2} \cdot \text{tg}(\varphi_d / \gamma_{r1}) + c_d / \gamma_{r2} = 291 \cdot \text{tg}(21/1,1) + 47,5/1,0 = 148,216 \text{ kPa}$$

$$U_{fd} = \Sigma \pi \cdot d_i \cdot h_i \cdot f_{si} = \pi \cdot 0,92 \cdot 10 \cdot 47,896 + \pi \cdot 0,92 \cdot 3,0 \cdot 148,216 = \underline{\underline{2669,772 \text{ kN}}}$$

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} = 2767,632 + 2669,772 = \underline{\underline{5437,104 \text{ kN}}}$$

$$U_{vd} \geq V_d \text{ } \mathbf{5437,104 \text{ kN} > 5090 \text{ kN} \text{ VYHOVUJE!}$$

Výpočet na základě 2.skupiny MS

$$R_{su} = m_1 \cdot m_2 \cdot \pi \cdot \Sigma d_i \cdot h_i \cdot q_{si} = 0,7 \cdot 1,0 \cdot \pi \cdot (0,92 \cdot 10 \cdot 77,329 + 0,92 \cdot 3,0 \cdot 124,323) = \\ = 2319,095 \text{ kN}$$

$$q_{s1} = a - b/(D_1/d_1) = 97,31 - 108,59/(5/0,92) = 77,329 \text{ kPa}$$

$$q_{s2} = a - b/(D_2/d_2) = 131,92 - 94,96/(11,5/0,92) = 124,323 \text{ kPa}$$

$$q_0 = e - f/(L/d_0) = 957,61 - 703,89/(13/0,92) = 907,796 \text{ kPa}$$

$$q_s = (0,92 \cdot 10 \cdot 77,329 + 0,92 \cdot 3,0 \cdot 124,323) / (0,92 \cdot 10 + 0,92 \cdot 3,0) = 88,174 \text{ kPa}$$

$$\beta = q_0 / (q_0 + 4 \cdot q_s \cdot L/d_0) = 907,796 / (907,796 + 4 \cdot 88,174 \cdot 13,0/0,92) = 0,154$$

$$R_y = R_{su} / (1 - \beta) = 2319,095 / (1 - 0,154) = 2741,520 \text{ kN}$$

$$I = I_1 \cdot R_k = 0,12 \cdot 1,2 = 0,144$$

$$I_1 \text{ ... obr. 5.8} \Rightarrow I_1 = 0,12$$

$$R_k \text{ ... obr. 5.9} \Rightarrow R_k = 1,2$$

$$k = E_b/E_s = 32 \cdot 10^9 / 56,587 \cdot 10^6 \approx 570$$

$$E_s = (\Sigma E_{si} \cdot h_i) / (\Sigma h_i) = (49,9 \cdot 10 + 78,88 \cdot 3,0) / (10 + 3,0) = 56,587 \text{ MPa}$$

$$E_{si} \text{ ... tab.6 a7}$$

$$S_y = I \cdot R_y / (d \cdot E_s) = 0,144 \cdot 2741,520 / (0,92 \cdot 56587) = 7,6 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 7,6 \text{ mm}$$

$$R_{pu} = \beta \cdot R_y \cdot S_{25} / S_y = 0,154 \cdot 2741,520 \cdot 25 / 7,6 = 1388,796 \text{ kN}$$

$$R_{bu} = R_{su} + R_{pu} = 2319,095 + 1388,796 = 3707,891 \text{ kN}$$

$R_y < R > R_{bu} \dots$ sedání piloty je větší než $s_{lim} = 25 \text{ mm!} \Rightarrow$ nový návrh piloty

Přepočítání 2. mezního stavu pro novou pilotu o délce $L = 19,5 \text{ m}$:

$$R_{su} = m_1 \cdot m_2 \cdot \pi \cdot \sum d_i \cdot h_i \cdot q_{si} = 0,7 \cdot 1,0 \cdot \pi \cdot (0,92 \cdot 10 \cdot 77,329 + 0,92 \cdot 9,5 \cdot 125,997) =$$
$$= 3986,205 \text{ kN}$$

$$q_{s1} = a - b / (D_1 / d_1) = 97,31 - 108,59 / (5 / 0,92) = 77,329 \text{ kPa}$$

$$q_{s2} = a - b / (D_2 / d_2) = 131,92 - 94,96 / (14,75 / 0,92) = 125,997 \text{ kPa}$$

$$q_0 = e - f / (L / d_0) = 957,61 - 703,89 / (19,5 / 0,92) = 924,400 \text{ kPa}$$

$$q_s = (0,92 \cdot 10 \cdot 77,329 + 0,92 \cdot 9,5 \cdot 125,997) / (0,92 \cdot 10 + 0,92 \cdot 9,5) = 101,039 \text{ kPa}$$

$$\beta = q_0 / (q_0 + 4 \cdot q_s \cdot L / d_0) = 924,400 / (924,400 + 4 \cdot 101,039 \cdot 19,5 / 0,92) = 0,097$$

$$R_y = R_{su} / (1 - \beta) = 3986,205 / (1 - 0,097) = 4416,359 \text{ kN}$$

$$I = I_1 \cdot R_k = 0,1 \cdot 1,15 = 0,115$$

$$I_1 \dots \text{obr. 5.8} \Rightarrow I_1 = 0,1$$

$$R_k \dots \text{obr. 5.9} \Rightarrow R_k = 1,15$$

$$k = E_b / E_s = 32 \cdot 10^9 / 59,842 \cdot 10^6 \approx 530$$

$$E_s = (\sum E_{si} \cdot h_i) / (\sum h_i) = (44,3 \cdot 10 + 76,202 \cdot 9,5) / (10 + 9,5) = 59,842 \text{ MPa}$$

$$E_{si} \dots \text{tab.6 a7}$$

$$S_y = I \cdot R_y / (d \cdot E_s) = 0,115 \cdot 4416,359 / (0,92 \cdot 59842) = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 9,2 \text{ mm}$$

$$R_{pu} = \beta \cdot R_y \cdot S_{25} / S_y = 0,097 \cdot 4416,359 \cdot 25 / 9,2 = 1164,095 \text{ kN}$$

$$R_{bu} = R_{su} + R_{pu} = 3986,205 + 1164,095 = 5150,299 \text{ kN}$$

$$R_y < R < R_{bu} \Rightarrow s = S_y + (S_{25} - S_y) \cdot (R - R_y) = 9,2 + (25 - 9,2) \cdot (5090 - 4416,359) / (5150,299 - 4416,359) = 23,7 \text{ mm}$$

$$s_{lim} = 25 \text{ mm} > s = 23,7 \text{ mm} \dots \text{ VYHOVUJE!}$$

Ověření v programu GEO5: viz. příloha č. 2

5.4 Výsledné zhodnocení a porovnání výpočtů

- Pilota P29

V první navržené délce 13,5 m pilota vyhověla na 1. mezní stav s rezervou 3 %. Při řešení 2. mezního stavu nastal problém s nadměrným sedáním a bylo nutné délku piloty zvětšit na 26m. Následné sedání je o 4,9 mm menší než limitní hodnota 25 mm a výsledek tím můžeme považovat za přijatelný. Se zvětšenou délkou je značně předimenzován 1. MS. Vzájemné porovnání ručního výpočtu a výpočtu řešeným v programu GEO5 je znázorněno v tab.8.

2. MS	R_y [kN]	R_{pu} [kN]	R_{bu} [kN]	s [mm]
ruční výpočet	8033,58	1698,01	8984,46	20,1
GEO 5	8043,07	1384,16	8672,65	24,4

Tab.8: Porovnání výsledků pro 2.MS u piloty P29

- Pilota P63

V prvním návrhu o délce 13,0 m pilota vyhověla na 1. MS s rezervou 6,8 %. Stejný problém jako u piloty P29 nastal při řešení 2. MS a bylo nutné délku piloty zvětšit. Druhý návrh s délkou 19,5 vykazoval sedání přijatelné a to o 1,3 mm než je sedání mezní. Porovnání výsledků 2. MS v tab.9.

2. MS	R_y [kN]	R_{pu} [kN]	R_{bu} [kN]	s [mm]
ruční výpočet	4416,36	1164,1	5150,3	23,7
GEO 5	4416,37	1306,27	5292,48	21,1

Tab.9: Porovnání výsledků pro 2.MS u piloty P63

6 Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo uvedení do problematiky hlubinných základů z hlediska metod dnes již nepoužívaných, ale hlavně těch, které patří v současnosti mezi stěžejní metody v zakládání staveb ve složitých základových poměrech. Po teoretické části následovala praktická aplikace, jejíž výsledkem byl ruční výpočet podle 1. a 2. skupiny mezních stavů, doplněný o výsledky z programu GEO5. Jako objekt zájmu bylo vybráno Sonocentrum, což je třinácti podlažní polyfunkční budova založená na velkopřůměrových vrtaných pilotách, které jsou namáhány osovými silami o velikosti mnohdy až 9000 kN. Při řešení 2. mezního stavu nastal problém s nadměrným sedáním, který se vyřešil zvětšením délky posuzované piloty. Tento způsob je ale značně neekonomický, a při takovém množství pilot, které se pod objektem nachází, by byla stavba značně prodražena. Takto vzniklý problém přímo vybízí k provedení detailnějšího geotechnického průzkumu, který by v případě určení hledaného skalního podloží zajistil možnost použít namísto pilot plovoucích piloty opřené o skalní podloží, které by s jistotou vyřešily problém sedání, a přispěly tak k ekonomičtějšímu návrhu celé spodní stavby.

Seznam použitých zdrojů:

- [1] BAŽANT, J., MENCL, V.: Zakládání staveb. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1954.
- [2] 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.
- [3] WEIGLOVÁ, K.: Mechanika zemin. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 186 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-7204-507-5.
- [4] ŠIMEK, J., HOLOUŠKOVÁ, T.: Mechanika zemin a zakládání staveb. Praha: Editační středisko ČVUT, 1992. ISBN 80-01-00708-4.
- [5] MASOPUST, J., MÜHL, P.: Velkopřůměrové vrtané piloty. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00241-9.
- [6] VRTANÉ PILOTY CFA. Eurogema [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.eurogema.cz/cs/piloty/cfa>
- [7] MIKROPILOTY. Topgeo Brno, spol. s.r.o. [online]. © 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.topgeo.cz/cs/zakladani-staveb-a-specialni-zakladani-staveb/mikropiloty>
- [8] SONOCENTRUM. SONO Records s.r.o [online]. © 2011 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: www.sonocentrum.cz
- [9] REŠERŠE. Základové půdy v areálu Masarykovy univerzity [online]. 2009 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/309600/prif_b/Reserse.txt

- [10] CAISSONS AND TOWERS. Brooklyn bridge [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.mybrooklynbridge.com/caissons.php>
- [11] TECHNOLOGIE. Pilotové pažící stěny [online]. ©2007-2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/obrjama332.html#obr332i>
- [12] ČESKÉ DÁLNIČE. Beraněné piloty [online]. 2011, [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://forum.ceskedalnice.cz/viewtopic.php?f=16&t=2443&start=150>
- [13] PILE INFO. Franki Pile [online]. ©1998-2009 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.geoforum.com/info/pileinfo/view.asp?ID=15>
- [14] MODEL&CO. Continuous Flight Auger [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.model-co.com/en/foundation_equipment/piling/continuous_flight_auger_cfa/bf15_continuous_flight_auger_cfa.asp
- [15] SPECIÁLNÍ ZÁKLADY. Mikropiloty [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.soletanche.cz/technologie_mikropiloty
- [16] UNIVERSAL AUGERS. Hollow Stem Continuous Flight Augers [online]. © 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.universal-augers.com/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=52&category_id=41&option=com_virtuemart&Itemid=
- [17] BORETA. Vrtané piloty [online]. © 2007 - 2010 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.boreta.cz/cinnosti/piloty-klasicke.html>
- [18] BRONZE. Zemní zavrtávací mikropiloty [online]. © 2007 - 2010 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.bronze.cz/zavrtavaci-mikropiloty/zavrtavaci-mikropiloty.htm>

-
- [19] MAPY.CZ, s.r.o. Mapy.cz [online]. © 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [20] FRANKI PILE. Franki africa [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.franki.co.za/content/index.cfm?navID=1&itemID=24>
- [21] ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE. Brestt [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://brestt.cz/>
- [22] KELLER. Speciální zakládání staveb [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.kellergrundbau.cz/>

Seznam použitých zkratk a symbolů:

obr.		obrázek
popř.		popřípadě
tab.		tabulka
tzv.		takzvaný
φ	[°]	úhel vnitřního tření zeminy
φ_d	[°]	výpočtová hodnota úhlu vnitřního tření zeminy
σ_{or}	[Pa]	geostatické napětí v hloubce z
σ_x	[Pa]	kontaktní napětí
a	[kPa]	regresní koeficient
A_s	[m ²]	plocha na patě piloty
b	[kPa]	regresní koeficient
c	[kPa]	regresní koeficient
c_d	[Pa]	výpočtová hodnota soudržnosti
d	[kPa]	regresní koeficient
D	[m]	vzdálenost od hlavy piloty do poloviny i-té vrstvy
d_o	[m]	průměr piloty v patě
d_p	[m]	průměr piloty v patě
e	[kPa]	regresní koeficient
E_s	[Pa]	průměrná hodnota sečnového modulu deformace zemin podél dřívku piloty

f	[kPa]	regresní koeficient
f_{si}	[Pa]	tření na plášti
h	[m]	mocnost zeminy
I	[-]	příčinkový koeficient sedání piloty
I_1	[-]	základní příčinkový koeficient
k_1	[-]	součinitel vyjadřující zvětšení únosnosti vlivem délky piloty
k_2	[-]	součinitel bočního zemního tlaku na plášti piloty
L	[m]	délka piloty
N_b	[-]	součinitel únosnosti
N_c	[-]	součinitel únosnosti
N_d	[-]	součinitel únosnosti
q_o	[Pa]	Velikost napětí na patě piloty při deformaci za plné mobilizace plášťového tření
q_{si}	[Pa]	velikost mezního plášťového tření
R_d	[N]	výpočtová únosnost paty piloty
R_k	[-]	korekční součinitel
R_{su}	[N]	mezní únosnost na plášti piloty
R_y	[N]	zatížení v hlavě piloty na mezi mobilizace plášťového tření
s	[m]	okamžité sednutí dříku piloty
s_y	[m]	velikost sedání
U_{bd}	[N]	výpočtová únosnost paty piloty
U_{fd}	[N]	výpočtová únosnost na plášti piloty
U_{fd}	[N]	výpočtová únosnost na plášti piloty

U_{vd}	[N]	svislá výpočtová únosnost piloty
V_d	[N]	svislá složka extrémního výpočtového zatížení v hlavě piloty
β	[-]	koeficient přenosu zatížení od hlavy piloty
γ	[kN·m ⁻³]	objemová tíha
γ_d	[kN·m ⁻³]	výpočtová objemová tíha
$\gamma_{m\phi}$	[-]	součinitel spolehlivosti pro úhel vnitřního tření
γ_{mc}	[-]	součinitel spolehlivosti pro soudržnost
$\gamma_{m\gamma}$	[-]	součinitel spolehlivosti pro objemovou tíhu a hydrostatický tlak
γ_{r1}	[-]	součinitel podmínek působení dle Sedleckého
γ_{r2}	[-]	součinitel podmínek působení základové půdy

Seznam obrázků:

Obr.2.1: betonová studna [1]	10
Obr.2.2: dřevěný břit [1]	10
Obr.2.3: Suché pracoviště [1]	11
Obr.2.4: Kesonové zakládání Brooklynského mostu [10]	12
Obr.2.5: Srovnání stability studny a roury [1]	13
Obr.2.6: Možné způsoby úpravy hlavy piloty [1]	13
Obr.2.7: Systém „SIMPLEX“ [1]	14
Obr.2.8: Železobetonová pilota systém „WOLFSHOLE“ [1]	15
Obr.2.9: Železobetonová pilota systém „FRANKI“ [20]	15
Obr. 3.1: Sklon piloty [2]	18
Obr. 3.2: Lamely podzemních stěn [2]	18
Obr.3.3: Vrtání piloty rotační technologií [17]	19
Obr.3.4: Průběžný šnek [16]	20
Obr.3.5: Vrtací souprava CFA pilot [14]	20
Obr.3.6: Fáze výstavby CFA pilot [11]	21
Obr.3.7: Příklady ražených pilot [2]	22
Obr. 3.8: Ražené železobetonové piloty [12]	23
Obr.3.9: Schéma výroby pilot VUIS se ztracenou botkou [2]	24
Obr.3.10: Pohled na „cibuli“ piloty Franki [13]	25
Obr. 4.1: Detail šroubovice vrtané mikropiloty [18]	26
Obr.4.2: Schéma typických dílů výztužných trubek mikropilot [2]	28

Obr.4.3: Tegnologický postup provádění mikropilot [15]	29
Obr.5.1: Sonocentrum [8]	30
Obr.5.2: Pohled na stavební jámu z ulice Veveří [21]	31
Obr.5.3: Pohled na dno stavební jámy [22]	31
Obr.5.4: Pohled na zhotovenou základovou desku [22]	32
Obr.5.5: Stavba ve fázi výstavby skeletu	32
Obr.5.6: Směrová a výšková poloha objektu [19]	33
Obr.5.7: Schéma piloty pro výpočet únosnosti pro 1. skupinu MS [2]	35
Obr.5.8: Mezní zatěžovací křivka [2]	37
Obr.5.9: Pilota ve vrstevnaté zemině [2]	37
Obr.5.10: Základní příčinkový koeficient [2]	40
Obr.5.11: Korekční součinitel [2]	40

Seznam tabulek:

Tab.1: Geotechnické podmínky a vrtná technologie provádění [4]	18
Tab.2: Způsoby rotačního vrtání [4]	19
Tab.3: Technologie vrtání maloprofilových vrtů [2]	27
Tab.4: Geotechnické vlastnosti neogenních jílu [22]	34
Tab.5: Geotechnické vlastnosti brněnského masívu [22]	34
Tab.6: Regresní koeficienty [2]	38
Tab.7: Sečnový modul deformace E_s pro podskalní horniny [2]	40
Tab.8: Sečnový modul deformace E_s pro soudržné zeminy [2]	40

Seznam příloh

Příloha č.1: Posouzení piloty P29 na 2. mezní stav programem GEO 5

Příloha č.2: Posouzení piloty P63 na 2. mezní stav programem GEO 5

Příloha č.3: Vytyčovací plán pilot (*upraveno podle podkladů od firmy Keller*)

Příloha č.4: Půdorys pilot (*převzato od firmy Keller*)

Příloha č.5: Příčný řez objektem E – E - SO 01

(převzato – aurore Ing. Arch. František Šméděk)