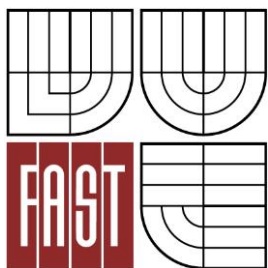




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

AKVAPARK JESENÍK – VYBRANÉ GEOTECHNICKÉ PROBLÉMY

WATERPARK JESENÍK – SELECTED GEOTECHNICAL PROBLEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB KUČERA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. VĚRA GLISNÍKOVÁ, CSc.

BRNO 2015

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o možných způsobech založení staveb. Blíže se zaměřuje na základové patky a piloty. V praktické části je řešení dvou variant založení tobogánu v rámci projektu Aquapark Jeseník. Navržené varianty jsou spočteny bez použití výpočtového softwaru a s použitím softwaru GEO 5 pro vzájemné porovnání. Závěrem je zhodnocení a porovnání výsledků obou variant.

Klíčová slova

Zakládání staveb, plošné základy, hlubinné základy, základové desky, základové rošty, základové pásy, základové patky, studně, kesony, piloty, vrtané piloty, ražené piloty, mikropiloty

Abstract

The bachelor thesis discusses the possible ways of establishing the basics of structures. Its main focus lays on foundation pads and piles. The practical part consists of finding a solution regarding two different approaches of the foundation of the waterslide in Aquapark Jeseník. Even though the proposed variants are calculated without the use of computational software, software GEO 5 is used to compare the results. The conclusion contains the comparison and evaluation of the results of both approaches.

Keywords

Foundation of buildings, shallow foundations, deep foundations, foundation slab, grillage, strip foundation, foundation pads, wells, caisson foundation, piles, replacement piles, displacement piles, micropiles

Bibliografická citace VŠKP

Jakub Kučera *Akvapark Jeseník - vybrané geotechnické problémy*. Brno, 2015. 63 s., 13 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce Ing. Věra Glisníková, CSc.

Prohlášení:

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

V Brně dne 26.5.2015

.....
podpis autora

Jakub Kučera

Poděkování:

Rád bych poděkoval všem, které jsem za dobu studia potkal a mohl se od nich učit. Zvláště pak své rodině za psychickou podporu po celou dobu mého studia a vedoucí práce Ing. Věře Glisníkové CSc. za vstřícný přístup, odborné vedení a rady, které mi poskytla během řešení bakalářské práce.

OBSAH

1	Úvod.....	8
2	Plošné zakládání.....	9
2.1	Základové desky.....	9
2.2	Základové rošty.....	10
2.3	Základové pásy.....	10
2.4	Základové patky.....	11
3	Hlubinné zakládání.....	12
3.1	Studně a kesony.....	12
3.2	Piloty.....	13
3.2.1	Ražené piloty.....	15
3.2.2	Vrtané piloty.....	18
3.3	Mikropiloty.....	27
4	Praktická aplikace.....	30
4.1	Popis stavby.....	30
4.2	Geomorfologické, geologické a hydrogeologické poměry.....	30
4.2.1	Geomorfologické poměry.....	30
4.2.2	Geologické poměry.....	32
4.2.3	Hydrogeologické poměry.....	34
4.2.4	Vrtný průzkum.....	35
4.3	Výpočet – ruční.....	37

4.3.1	Výpočet patky	37
4.3.2	Výpočet piloty	44
4.4	Výpočet pomocí programu GEO 5	49
4.4.1	Výpočet patky pomocí programu GEO 5	49
4.4.2	Výpočet piloty pomocí programu GEO 5	51
4.5	Shrnutí výsledků	53
4.5.1	Patka	53
4.5.2	Pilota	53
4.5.3	Ekonomické posouzení	54
5	Závěr	55
	Seznam použitých zdrojů	56
	Literatura:	56
	Ostatní:	56
	Seznam použitých zkratk a symbolů	58
	Seznam obrázků	60
	Seznam tabulek	62
	Seznam příloh	63

1 ÚVOD

Předmětem bakalářské práce je statické a ekonomické posouzení dvou zvolených způsobů založení stavby.

Bakalářská práce je strukturovaná do dvou hlavních částí. První část se věnuje plošnému a hlubinnému zakládání obecně, se zaměřením na základové patky a piloty, což by mělo vést k lepšímu pochopení problematiky, kterou se zabývá druhá část práce. Ve druhé (praktické) části je řešen statický výpočet a přibližné ekonomické porovnání dvou způsobů založení tobogánové věže. Pro porovnání bylo zvoleno založení na základových patkách a na pilotách. Výpočet těchto způsobů bude řešen analyticky, pro úplnost doplněn výpočtem softwarovým pomocí programu GEO 5 (společnosti Fine).

2 PLOŠNÉ ZAKLÁDÁNÍ

Nejrozšířenějším typem základových konstrukcí jsou plošné základy, které přenášejí veškeré zatížení z vrchní stavby do základové půdy. Mají zpravidla vodorovnou základovou spáru, jejíž hloubka a rozměry jsou dány zatížením stavbou, stlačitelností, únosností základové půdy, klimatickými vlivy, vlivem podzemní vody a technologií provádění základů. Plošné základy roznášejí zatížení z vrchní stavby na větší plochu tak, aby byly splněny požadavky I. a II. skupiny mezních stavů. Za ekonomicky přijatelné lze považovat použití plošných základů do hloubky založení přibližně 4 m pod upraveným terénem, pokud se do této hloubky nevyskytuje podzemní voda. Mezi základy plošné patří základové desky, rošty, pásy a patky.

2.1 Základové desky

Základová deska (Obr. 2-1) je souvislý plošný základ roznášející zatížení na celou plochu půdorysu stavby. Tento typ plošného základu je výhodné použít při zakládání v obtížných podmínkách např. nehomogenní, málo únosná půda, pro výškové a velmi zatížené konstrukce při použití stěnového nebo skeletového systému, založení pod hladinou podzemní vody. Z technologického hlediska je nejvýhodnější deska o konstantní tloušťce – jednoduché bednění a velkoplošná betonáž.



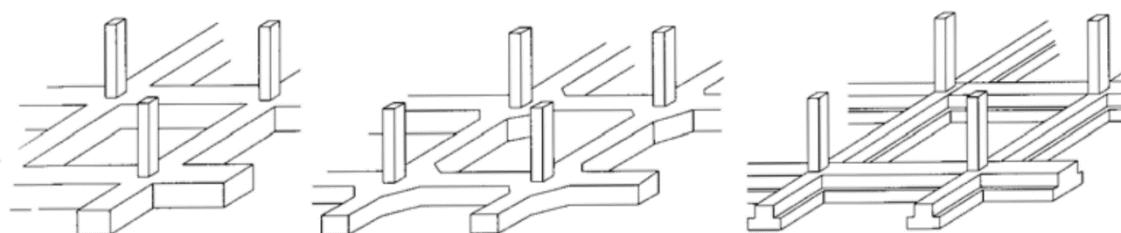
Základové desky podle tvaru rozdělujeme na – desky rovné, žebrové (se spodními, horními žebry), roštové nebo hříbové. Podle způsobu provedení – železobetonové monolitické, z prostého betonu. Tloušťka desek závisí na základových poměrech a na typu konstrukce.

Obr. 2-1: Základová deska [7]

Při zakládání na únosném podloží stačí navrhnout tenkou desku obvykle tloušťky 0,20 až 0,35 m. Při zakládání na méně únosném podloží a pro větší zatížení se navrhují tlusté desky, jejichž tloušťka se pohybuje v rozmezí 0,40 až 1,40 m. V odůvodněných případech i v tloušťce několika metrů. [3]

2.2 Základové rošty

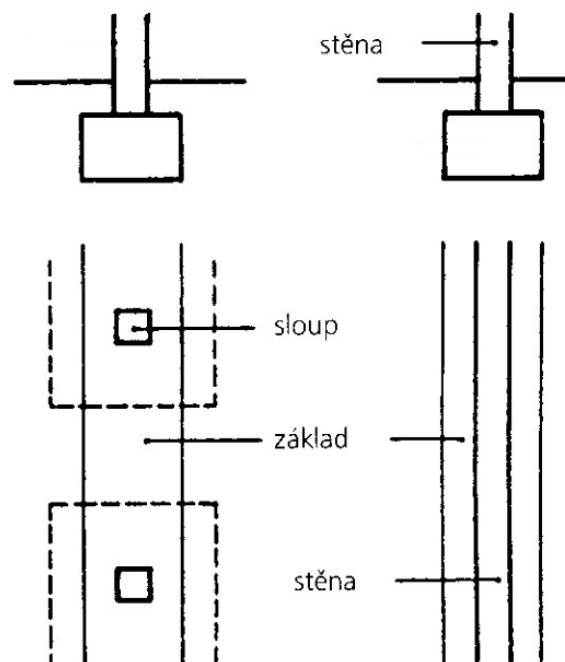
Základové rošty jsou tvořeny soustavou základových pásů, vznikají jejich pravoúhlým křížením, což ztuhuje konstrukci a zvyšuje jejich tuhost. Provádějí se jako železobetonové, vhodné pro zakládání v obtížných podmínkách, např. na málo únosných zeminách, poddolovaném území, v seismických oblastech, při přenášení velkých zatížení. Používají se většinou u skeletových nadzákladových konstrukcí.



Obr. 2-2: Základový rošt [3]

2.3 Základové pásy

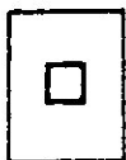
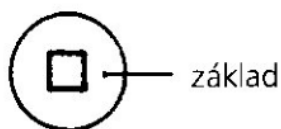
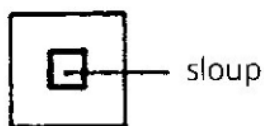
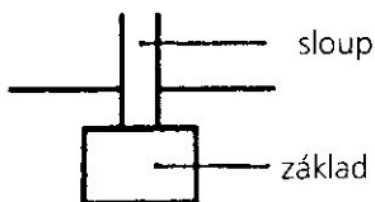
Základové pásy se používají pro založení konstrukčních systémů stěnových i skeletových (Obr. 2-3). Jsou to zpravidla obdélníkové základy o poměru délky L k šířce B větším než 6. Většinou jde o základ pod průběžnou stěnou. Při malé vzdálenosti sloupů je z hlediska spotřeby betonu výhodnější než patka. [3]



Obr. 2-3: Základový pás [2]

2.4 Základové patky

Základové patky se provádějí většinou pod nadzákladové konstrukce skeletového konstrukčního systému. Půdorysný tvar je obvykle čtvercový, obdélníkový nebo kruhový. Patky se většinou provádějí monolitické jednostupňové, v případě větších hloubek



Obr. 2-4: Základová patka pod sloupem [2]

založení, je možno použít vícestupňových patek. Pro založení na patkách je vhodná málo stlačitelná základová půda o dostatečné a stejnoměrné únosnosti. Z technologického a ekonomického hlediska se doporučuje provádět patky do půdorysné plochy 3 x 3 m. Při centrickém zatížení se navrhuje čtvercové patky, při excentrickém zatížení se základová spára prodlužuje ve směru excentricity. Volba rozměrů, materiálů i tvaru patek může být ovlivněna způsobem kotvení sloupů (technologie provádění monolitických a montovaných základových patek). Při výskytu spodní vody je nutné chránit výztuž vrstvou betonu, která vytváří krycí vrstvu a podkladní beton v tloušťce přibližně 50 – 100 mm. Proti případné agresivitě vody můžeme použít aktivní izolace, nátěry, obklady, apod.



Obr. 2-5: Základové patky [8]

3 HLUBINNÉ ZAKLÁDÁNÍ

Hlubinné zakládání se používá při malé či nedostatečné únosnosti horních vrstev základové půdy nebo je-li nutné zakládat pod hladinu podzemní vody. Využívají se také v případech, kdy plošné založení nevyhovuje ze statických nebo ekonomických důvodů. Funkcí hlubinných základů je přenést zatížení do únosnějších, hlouběji uložených vrstev základové půdy a značně omezit sedání.

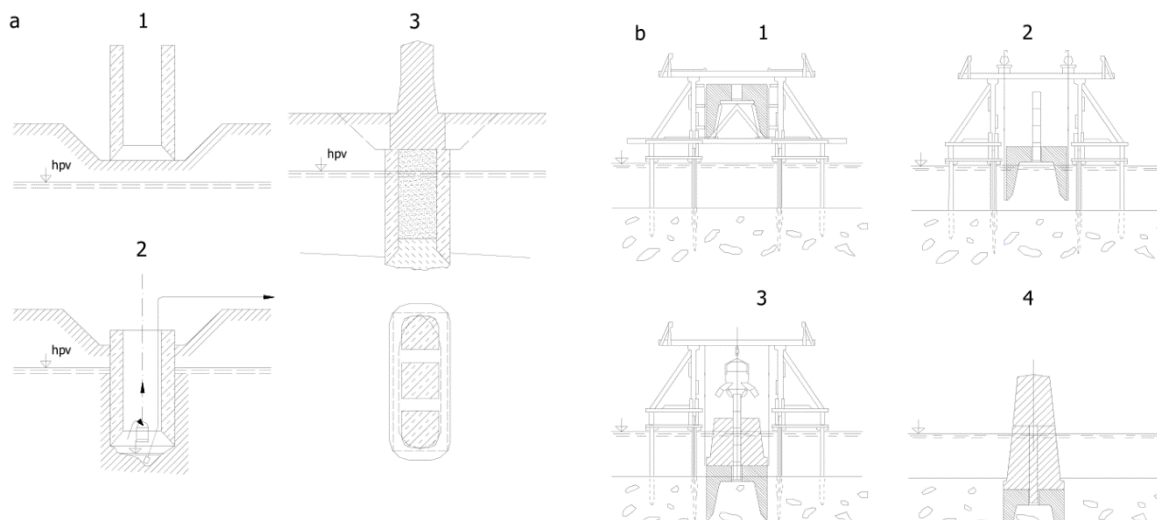
Hlubinné základy se dají rozdělit na studně, kesony, piloty, mikropiloty, podzemní stěny a jiné speciální technologie (kotvy, injektáž, atd.).

3.1 Studně a kesony

Studně se navrhují při zakládání pod hladinou podzemní vody a ve zvodnělých zeminách. Obvykle se skládá z betonových skruží, opatřených ve spodní části břitem. Uložení skruží na únosnou půdu se provádí těžením půdy z jejich vnitřního prostoru, podkopáváním a následným klesnutím na únosnou zeminu, poté se vnitřní prostor zabetonuje.

Kesony se používají pro zakládání pod hladinou vody nebo ve zvodnělých zeminách. Jsou to dutá tělesa shora uzavřená stropem, vytváří pracovní komoru zabezpečenou proti vnikání vody přetlakem vzduchu. Většinou jsou prováděny z železobetonu s ocelovým břitem. Z komory kesonu dělníci podhrabávají břit a keson klesá podobně jako studna. V komoře je pracovní tlak odpovídající hydrostatickému tlaku sloupce vody o výšce rovné zahloubení spodní hrany stěn kesonu pod hladinou vody, přibližně 10 kPa na 1m. Při přetlaku přes 100 kPa hrozí pracovníkům tzv. kesonová nemoc, které se brání pomalým výstupem s regulovaným poklesem přetlaku v komoře.

V dnešní době se tyto způsoby hlubinného zakládání již moc nepoužívají, lze je nahradit jinými např. vrtanými velkopřůměrovými pilotami, apod. [3]



Obr. 3-1: (a) Schéma studně: 1- osazení studně, 2- spouštění studny podhrabáváním břitu, 3- hotový studňový základ; (b) schéma kesonu: 1- osazení kesonu na bárku, 2- spouštění kesonu pod hladinu vody na závěsech, 3- práce v kesonu, 4- hotový základ [3]

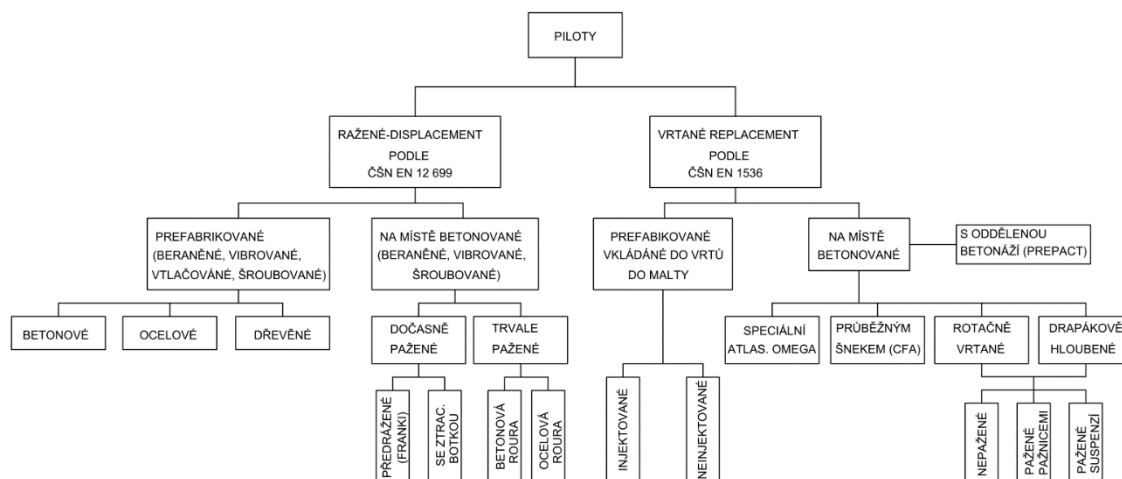
3.2 Piloty

Piloty jsou nejčastěji používané prvky hlubinného zakládání staveb. Většinou mají tvar sloupů, jejichž příčný průřez může být kruhový nebo jakkoliv hranatý a členitý. Po délce mohou být konstantní či proměnné např. teleskopický, rozšířený dřík, rozšířená pata apod. Hlavní funkcí pilot je přenos zatížení ze stavebních konstrukcí do hlubších, únosnějších vrstev základové půdy a tím omezit velikost sedání. Jejich použití je také vhodné při zakládání pod hladinou podzemní vody.

V šedesátých letech minulého století došlo v České republice k výraznému rozvoji pilot. V dnešní době zaujímají stav na trhu přibližně z 95% piloty vrtané a zbytek tvoří předrážené piloty Franki. Převaha vrtaných pilot je dána především geotechnickými podmínkami, jež jsou u nás velmi pestré a rozmanité, také v relativně malé hloubce (10 – 20 m) se nachází skalní (poloskalní) podloží, do něhož je vhodné piloty vetknout.

V evropské praxi se piloty dělí podle výrobního postupu do dvou základních skupin:

- 1) piloty typu *displacement*, kdy je zemina stlačena do stran, pod patu piloty a není z prostoru budoucí piloty odtěžena (piloty ražené).
- 2) piloty typu *replacement (non displacement)*, kdy je zemina z prostoru budoucí piloty odstraněna v průběhu provádění (piloty vrtané). [3]

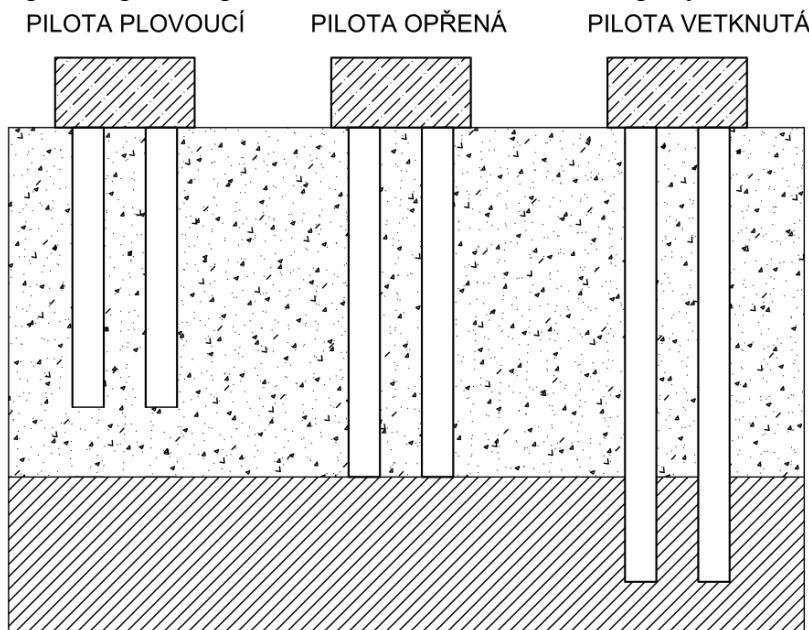


Obr. 3-2: Evropská klasifikace pilot [1]

Starší klasifikace pilot:

- a) podle příčného rozměru:
 - maloprofilové (příčný rozměr od 0,3 m, resp. 0,15 m do 0,6 m)
 - velkoprofilové (příčný rozměr přes 0,6 m do cca 3,0 m)
- b) podle způsobu namáhání:
 - tlačené
 - tažené
 - příčně zatížené (v kombinaci s tlakem či tahem)
- c) podle materiálu:
 - betonové (železobetonové, z předpjatého betonu)
 - ocelové
 - dřevěné [3]

d) podle způsobu přenášení zatížení do základové půdy viz obr. 3-3:



Obr. 3-3: Rozdělení pilot podle způsobu přenášení zatížení do základové půdy [autor]

3.2.1 Ražené piloty

U těchto pilot se zemina z vrtu či prostoru, který má zaujímat, netěží. Výjimkou je omezené zvednutí terénu, vibrací nebo jinými pracemi potřebnými k instalaci ražené piloty. Podle evropské klasifikace se řadí do typu *displacement*, při jejich návrhu se řídíme normou ČSN EN 12699:2001 Provádění speciálních geotechnických prací – Ražené piloty. [1]

Materiálem používaným pro výrobu ražených pilot může být: ocel, litina, beton (železobeton, předpjatý beton), dřevo, malta (injekční směs), nebo kombinace těchto materiálů. Instalace pilot se provádí pomocí beranění, vibrování, šroubování, zatlačování nebo kombinací výše zmíněných technologií. Nejmenší rozměr ražených pilot může být 150mm. Dají se rozdělit do 2 základních skupin: prefabrikované a na místě betonované.

3.2.1.1 Prefabrikované ražené piloty

V dnešní době se již na našem území prakticky nepoužívají s ohledem na geotechnické poměry, nejčastěji se instalovaly beraněním, vibrováním, zřídka pak šroubováním a zatlačováním. Nejrozšířenější jsou železobetonové piloty čtvercového

průřezu (se skosenými rohy) o rozměrech: 250/250 – 450/450 mm a délce do 15 m. Při návrhu založení na skupině ražených pilot vzniká problém při dorážení posledních pilot, jelikož je zemina už natolik zhutněna, že poslední piloty nejdou dorazit. V těchto případech se využívá pomocných metod, jako např. předvrtání, jimiž se zemina uvolní a pilota pak lze zarazit. Pro zvýšení únosnosti se ražené prefabrikované piloty během, i po ražení injektují. Injekční směs na bázi cementové suspenze se injektuje pomocí ocelových injekčních trubek, jež jsou ke dřívku připevněny nebo do něj zabudovány. Po instalaci mívají železobetonové prefabrikované piloty poškozené hlavy, které musejí být šetrně odstraněny až na úroveň nepoškozeného betonu. Při jejich návrhu je třeba zohlednit mnoho faktorů, např. metodu instalace, druh beranu, rozměry a délky pilot, aby bylo možné stanovit kritéria pro ražení:

- 1) Berané piloty: - energie při berání (tíha beranu, výška pádu beranu)
 - vnikání piloty do základové půdy
 - rychlost vnikání do základové půdy
- 2) Vibrované piloty: - energie vibrování
 - frekvence vibrování
 - vnik piloty v závislosti na předchozích ukazatelích
- 3) Piloty šroubované: - krouticí moment a tlaková síla působící na pilotu ve
 vztahu k rychlosti vniku do základové půdy [3]

3.2.1.2 Ražené piloty na místě betonované

Pomocí berání, vibrování či šroubování se nejprve provede otvor obvykle kruhového průřezu, který se zabetonuje (včetně armování). Razící roura se v zemi buď vytáhne (piloty dočasně pažené) nebo se v zemi ponechá (piloty trvale pažené). S ohledem na geotechnické poměry se u nás rozšířily v podstatě jen 2 druhy dočasně pažených pilot: - vibrované nebo berané piloty se ztracenou botkou (VUIS, Fundex)
 - tzv. předrážené, na místě betonované piloty (Franki)

Piloty VUIS

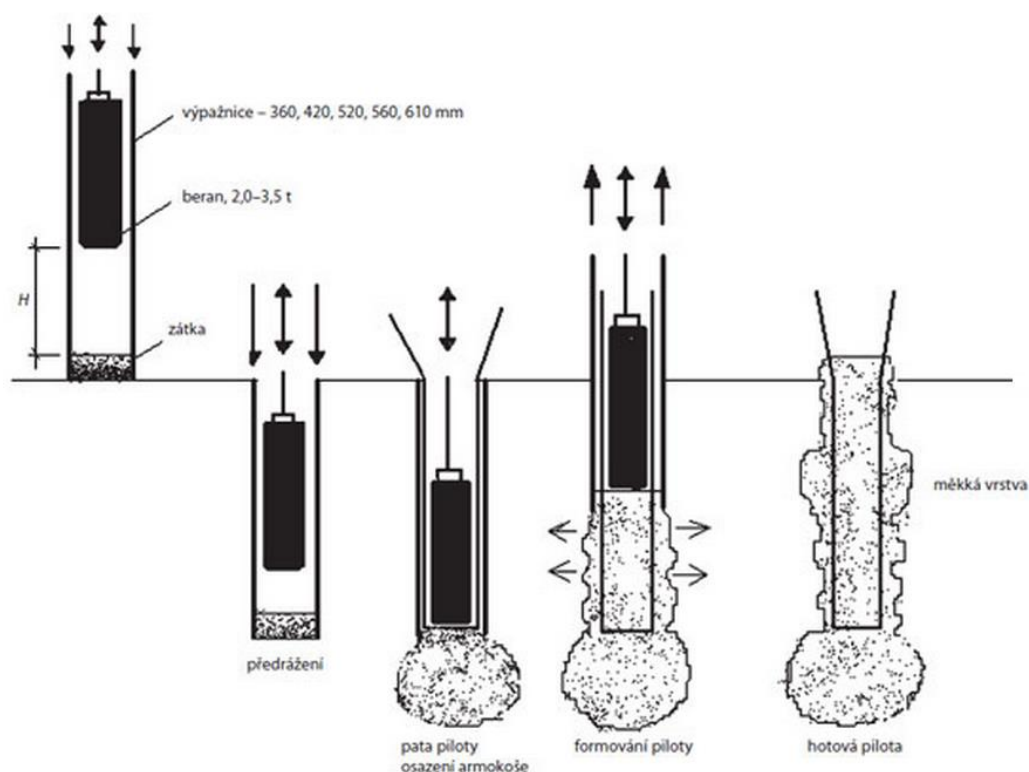
Tyto piloty byly vyvinuty a rozšířeny především na Slovensku, u nás se používaly pouze zřídka. V dnešní době se nepoužívají vzhledem k jejich malým únosnostem a

omezení z titulu vhodných geotechnických podmínek. Byly proveditelné v tuhých soudržných zeminách, píscích a drobných štěrcích bez kamenů a balvanů.

Piloty Franki

Vyvinuty v Belgii v 30. letech minulého století, u nás se používaly již v době před 2. světovou válkou. V současné době se u nás touto technologií provádí 10 – 15 % pilotových základů, avšak jejich značná část připadá na štěrkové prvky, které se řadí spíše do oblasti zlepšování základové půdy. Vhodné především v prostředí málo únosných naplavenin, sprašových i jílovitých hlín, objemově nestálých zemin, neulehlých násypů, v poddolovaném území, v místech zvýšené seismicity a v místech s agresivní podzemní vodou. V těchto případech mají piloty Franki výrazně vyšší únosnost při stejném průřezu pilot ve srovnání s ostatními technologiemi, což značí i ekonomicky výhodnější založení stavby.

Při vzniku pilot Franki se nejprve vztyčí razicí roura a pomocí skipu se její dno zasype suchým betonem (přibližně $0,15 \text{ m}^3$) s drceným kamenivem s frakcí do 22 mm. Beton v dolní části razicí roury vytvoří zátku (korek), jež je následně hutněna dopadem ocelového beranu o hmotnosti 1,25 – 5,5 t z výšky 2 – 4 m. Opakovanými nárazy beranu vniká razicí roura do zeminy až do požadované hloubky. Poté se roura vyvěsí a postupně se přidá 0,5 – 1,5 m^3 betonu. V další fázi se zátka vyrazí, pouze částečně aby nedošlo k přerušení piloty, a dochází k utváření typické „cibule“ pod patou piloty. Právě „cibule“ má rozhodující vliv na únosnost piloty. Následně se roura opatří armokošem a dosype se další beton. V posledním kroku se vytahuje razicí roura při současném hutnění betonu beranem, pracujícím uvnitř armokoše. [3]



Obr. 3-4: Provádění pilot Franki [10]

3.2.2 Vrtané piloty

Tyto piloty jsou prováděny vrtáním a těžením zeminy z prostoru budoucí piloty – typ replacement. Provádění a monitoring vrtaných pilot se řídí evropskou normou ČSN EN 1536: Provádění speciálních geotechnických prací – Vrtané piloty /1999/. Mají nosný dřík, který slouží k přenosu zatížení a omezení vznikajících deformací. Mohou mít kruhový průřez, nebo mohou být tvořeny lamelami podzemních stěn, pokud je celý jejich průřez betonován najednou. Po délce může být jejich průřez konstantní či teleskopický, mohou mít rozšířený dřík nebo patu. Za vrtané piloty se považují prvky následujících parametrů:

- průměr dříku: $0,3 \leq d \leq 3,0$ m,
- nejmenší rozměr lamely na místě betonované podzemní stěny: $w_i \geq 0,4$ m,
- poměr mezi rozměry $b_i / w_i \leq 6$, kde b_i je největší a w_i nejmenší z průřezových rozměrů lamely podzemní stěny,
- sklon dle obrázku $n \geq 4$ ($\Theta \geq 76^\circ$), s ponechanými pažnicemi $n \geq 3$ ($\Theta \geq 72^\circ$)

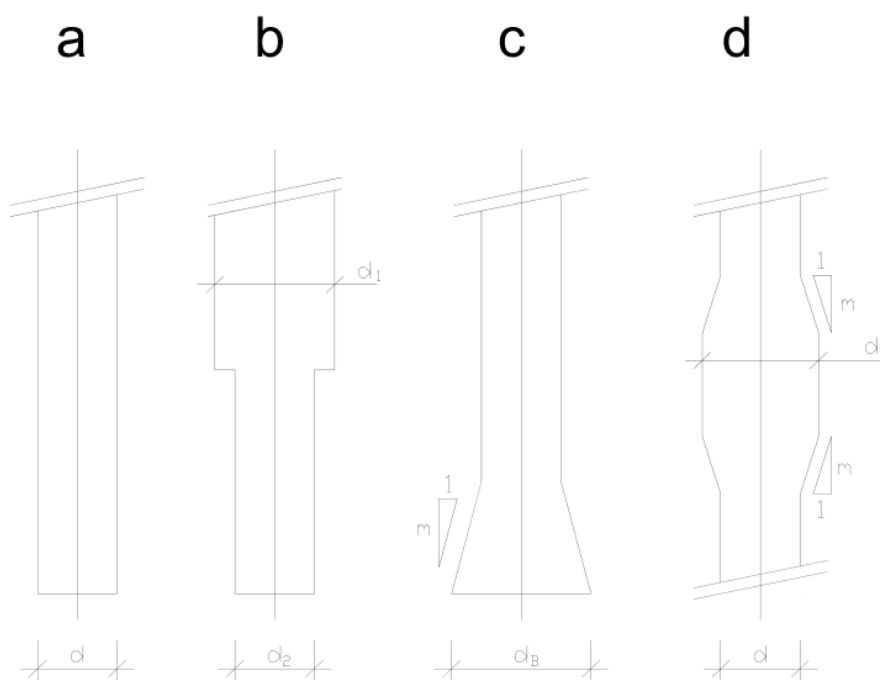
- plocha příč. řezu rozšířené paty piloty, lamely podzemní stěny: $A \leq 10 \text{ m}^2$.

Pro piloty s rozšířenou patou či dřikem dále platí:

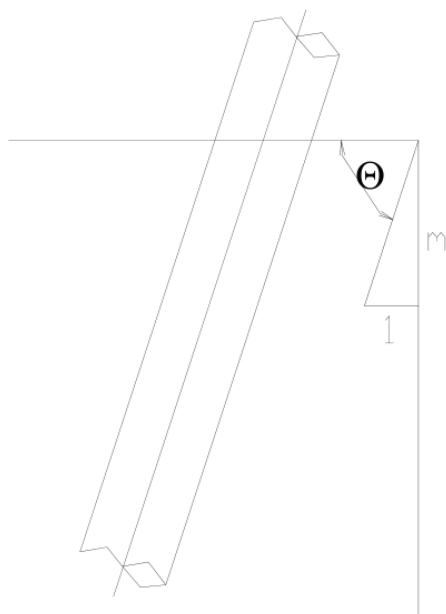
- rozšíření paty v nesoudržných zeminách $d_B/d \leq 2$, v soudržných $d_B/d \leq 3$,
- rozšíření dříku: pro všechny typy zemin $d_E/d \leq 2$, (d_B , d_E viz obrázek),
- sklon rozšiřované části v zeminách nesoudržných: $m \geq 3$ a v zeminách soudržných $m \geq 1,5$.

Piloty mohou být navrhovány jako:

- osamělé,
- skupinové,
- pilotové stěny, které slouží jako pažící a opěrné konstrukce. [3]



Obr. 3-5: Tvary dříků vrtaných pilot: a – konstantní průřez, b – teleskopický dřík, c – rozšířená pata, d – rozšířený dřík [3]



Obr. 3-6: Definice sklonu pilot [3]

V České republice jsou vrtané piloty nejčastějším typem všech pilotových základů a to přibližně z 90 – 95 %. Jedná se především o piloty velkopřůměrové a piloty typu CFA. Z důvodů rozmanitých geotechnických podmínek u nás, zvláště výskytem poloskalního až skalního podloží v relativně malé hloubce.

Podle statického hlediska můžeme piloty rozdělit takto:

- a) *Piloty opřené patou o velmi únosnou horninu*
zde můžeme plně využít únosnost betonového dříku piloty, pokud je pata v celé své ploše uložena na skalním podloží. Výpočet dle 1. geotechnické kategorie.
- b) *Plovoucí piloty*
zde je zatížení přenášeno hlavně plášťovým třením. Tohoto typu využijeme, pokud je základová půda v požadované hloubce málo únosná. Výpočet dle 2. geotechnické kategorie.
- c) *Piloty vetknuté*
zde se k přenosu zatížení využívá jak pata, tak i plášť piloty. Prakticky se využívají hlavně ve vrstevnatých zeminách, kde je nadloží málo únosných vrstev tvořeno neúnosnou zeminou nebo kde pata piloty spočívá na zemině únosnější, než v okolí dříku. Výpočet dle 2. geotechnické kategorie.

d) *Piloty s rozšířenou patou*

těch se využívá, nelze-li vrtnou soupravou dosáhnout do vrstvy o únosnosti odpovídající zhruba únosnosti dříku piloty daného průměru. V případě, je-li nutné zachovat dostatečně mocnou vrstvu zeminy zabraňující prolomení dna vztlakem podzemní vody. Dno musí být kvalitně vyčištěné, což lze provést ruční prací v zapaženém vrtu.

3.2.2.1 *Vrty pilot a vrtné nástroje*

Vrty se provádějí technologií rotačně náběrového vrtání, případně použitím drapákového hloubení, které se využívá především v balvanitých zeminách. Nejčastějšími nástroji u nás je vrtný hrnec (šapa), vrtný šnek (spirál), vrtací korunka, jednolanový drapák, vrtné dláto. Vrtný hrnec je použitelný především v písčitých a šterkovitých zeminách, suchých i zvodnělých a v poloskalních horninách (jílovce, břidlice apod.). Vrtný šnek se používá hlavně v soudržných zeminách. Vrtací korunka slouží k provrtání vložek skalních hornin. Jednolanový drapák je ideální v nesoudržných balvanitých zeminách, vrt je vždy pažen. Vrtné dláto slouží k rozbíjení překážek. Podle volby vrtného nástroje se vytěžená zemina sype přímo na nákladní auta, nebo na terén v okolí vrtu, z něhož se později nakládá a odváží.

3.2.2.2 *Pažení vrtů*

Vrty mohou být: - nepažené,
- pažené ocelovými pažnicemi,
- pažící suspenzí (většinou jílovou).

Nepažené vrty:

Je-li zajištěna stabilita stěn vrtu, je možné provést vrt bez pažení. V průběhu prací je však nutné neustále kontrolovat, zdali do vrtu nekontrolovatelně nevniká voda, popřípadě zda do vrtu neodpadávají části stěny. V případě zjištění vniku vody či odpadání stěn je nutno vrt ihned zapažit. Šikmé vrty se sklonem $m \leq 15$ se musí pažit v celé délce, nelze-li prokázat jejich stabilitu. Vrty o průměru 1,0 m a větším by měly být paženy vždy tzv. úvodní pažnicí délky 1,5 – 2,5 m, pro zajištění vedení vrtného nástroje při opakovaném těžení a zavrtávání a zamezí tvorbě kaveren u hlavy piloty. Přesah úvodní pažnice nad pracovní plošinu by měl být přibližně 0,2 – 0,3 m. U nesoudržných zemin

s $I_D < 0,5$ a u soudržných s $I_C < 0,5$ je nutno pažit vždy. Také u nedokonale hutněných zásypů a navážek je nutné pažení. [2]

Pažení pomocí ocelových pažnic:

Je nejpoužívanější metodou pažení vrtů s průměrem menším než 1,5 m. Nejčastěji se používá varných ocelových rour s tloušťkou stěny 8 – 12 mm nebo speciálních spojovatelných ocelových pažnic, vesměs dvouplášťových s tloušťkou stěny 40 mm. Pažení probíhá současně s hloubením vrtu nebo jej předchází. Pažnice musí být nedeformovatelné, kruhové, dimenzované na zatížení při pažení i vytahování a bez jakýchkoliv výstupků a zbytků betonu. Použití ocelových varných rour je rychlé a vhodné zvláště při pažení pouze v horní části vrtu s dovrtáním v soudržné zemině bez pažení. Spojovatelné pažnice jsou vhodnější při potřebě hlubšího pažení, kde jednotlivé díly mají délku 1,50 m a jsou spojovány kuželovými šrouby. [2]

Tab. 3-1: Průměry varných a spojovatelných pažnic spolu s vrtným nářadím (v mm) [1]

Průměr varné pažnice	630	720	820	920	1020	1220	1420	-	1620	(1820)
Průměr spojov. pažnice	630	750	880	-	(1020) 1080	(1180) 1200 1220	-	1500	-	-
Průměr vrtného nářadí	570	630	770	870	920	1070	1220	1350	1500	1700

Pažení jílovou suspenzí:

Účinnost pažení jílovou suspenzí je dán kombinací hydrostatického tlaku a elektrochemických účinků. Jílová suspenze je tzv. plastická kapalina, která se v klidovém stavu změní z tekutiny na gel, který se vyznačuje větší stříhovou pevností. Rozmícháním gelu se změní zase v tekutinu, tento proces se dá neustále opakovat. Jílová suspenze se vyrábí v rozplavovači o objemu 4 – 7 m³ a skládá se z jílu, vody, případně dalších přísad např. sody, ztekucovadel apod.

Vyrobená suspenze se k vrtům většinou přivádí potrubím. Při vrtání musí být hladina neustále udržována tak, aby její přetlak zabránil opadávání zeminy do vrtu a zajistil stabilitu vrtu, také nejméně 1,5 m nad úrovní hladiny podzemní vody. Suspenzi lze po pročištění znovu použít, pokud není znehodnocena stykem s cementem, vápnem nebo chemickým roztokem. Vyvrtanou zeminu znečištěnou suspenzí lze odvážet na skládku až po jejím částečném vyschnutí a odtečení suspenze. V současnosti se především z ekologických důvodů od tohoto způsobu pažení ustupuje. [2]

3.2.2.3 Přípravné práce před betonáží, betonáž a dokončovací práce

K těmto pracím patří čištění vrtu, kontrola jeho délky, případné čerpání podzemní vody, neohrozí-li se tím stabilita vrtu a armování železobetonových pilot. Prodloužení mezi dovrátáním a začátkem betonáže má být co nejkratší. Dno vrtu se čistí tzv. čistící šapou s rovným dnem, uzavíratelnou šapou nebo šapou s klapkami bez centrátoru. Nelze-li vrtu zabetonovat v jedné směně, je třeba vrtu pročistit prohloubením piloty o 1,5 m nebo o dva násobky průměru piloty. Při použití jílové suspenze se musí nejdříve hodinu před vložením výztuže vyčistit dno vrtu, odstranit filtrační koláč a zkontrolovat písčitost suspenze (max 4 %). Na místě betonované, vrtané piloty mohou být nevyztužené (pouze tlačené), s kotevní výztuží, se speciální výztuží (např. válcované profily, ocelové roury) nejčastěji však železobetonové (vyztužené armokoši v celé délce, nebo jen v její části piloty). Vyztužený armokoš se skládá z podélné, příčné a pomocné výztuže. Krytí výztuže u pilot s průřezem $d \leq 0,6$ m je 50 mm pro větší průřezy 60 mm. U pilot vyztužených spojitelnými pažnicemi se krytí zvětšuje o tloušťku stěny pažnice, jež bývá 40 mm. Pokud je to možné, zapouštějí se armokoše do vrtů v celku. V případě velice dlouhých pilot (přes 20 m) je možné v průběhu zapouštění výztuž spojit rychlospojky.

Tab. 3-2: Minimální vyztužení železobetonových vrtaných pilot a příčná výztuž [1]

Jmenovitá průřezová plocha dříku piloty A_c	Plocha podélné výztuže A_s	Pravoúhlé a kruhové třmínky a spirála	≥ 6 mm a $\geq 1/4$ největšího průměru podélné výztuže
$A_c \leq 0,5 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,5 \% A_c$	Výztužné sítě jako příčná výztuž	≥ 5 mm
$0,5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,0025 \text{ m}^2$		
$A_c > 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,25 \% A_c$		

Po ukončení přípravných prací následuje betonáž piloty. Třída betonu by měla být v rozmezí C16/20 až C30/37. Beton musí mít vysokou plasticitu, vysokou odolnost proti rozměšování, správné složení a konzistenci, schopnost samozhutnění a vhodnou zpracovatelnost. Pro dosažení těchto vlastností smějí být jako přísady použity plastifikátory, superplastifikátory a zpomalovače tuhnutí, je nutno dbát na správné dávkování. Betonuje-li se v teplotách pod + 5°C může být použito provzdušňovacích přísad.

Tab. 3-3: Složení čerstvého betonu [1]

Obsah cementu	
- betonáž do sucha	$\geq 325 \text{ kg/m}^3$
- betonáž pod vodou či suspenzí	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$
vodní součinitel (v/c)	$< 0,60$
Podíl jemné frakce $d < 0,125 \text{ mm}$ (včetně cementu)	
Je-li - největší zrno kameniva $d > 8 \text{ mm}$	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
- největší zrno kameniva $d \leq 8 \text{ mm}$	$\geq 450 \text{ kg/m}^3$

Tab. 3-4 : Požadavky na zpracovatelnost čerstvého betonu při různých podmínkách betonáže [1]

Stupeň rozlití $\varnothing$ [mm]	Stupeň sednutí kužele (podle Abramse) [mm]	Typické podmínky použití (příklady)
$\varnothing = 500 \pm 30$	$H = 150 \pm 30$	betonáž do sucha
$\varnothing = 560 \pm 30$	$H = 180 \pm 30$	betonáž bet. čerpadlem nebo sypákovými rourami pod vodu
$\varnothing = 600 \pm 30$	$H = 200 \pm 30$	betonáž sypákovými rourami pod pažící suspenzí
Změřený stupeň rozlití ($\varnothing$) nebo sednutí kužele (H) se zaokrouhlí na 10 mm		

Vrtané piloty lze provádět způsobem betonáže do sucha nebo pod vodou či pažící suspenzí. První způsob se dá využít tehdy, jeli vrt zcela suchý a provádí se pomocí betonážní roury s násypkou umístěnou ve středu vrtu tak, aby proud betonu nenarážel na

stěny vrtu, ani na výztuž piloty. Vnitřní průměr roury má být větší než osminásobek největší použité frakce kameniva v betonu, bývá min. 200 mm.

Při použití druhého způsobu betonáže a to betonáže pod vodu se používá metoda Contractor, při které se beton ukládá pomocí sypákové roury, která brání rozměšování a znečištění kapalinou v pilotě. Vnitřní průměr sypákové roury je nejméně šestinásobek největší použité frakce kameniva v betonu, bývá min. 150 mm. Její jednotlivé části dosahují délky 1,5 – 2,0 m a jsou opatřeny vodotěsnými spoji. Před začátkem betonáže se sypáková roura opatří vhodnou zátkou a spustí se na dno vrtu, poté se naplní betonem a povytáhne se o výšku jednoho průměru roury. S postupující betonáží se postupně vytahuje, vždy však musí zůstat ponořena v betonu nejméně 1,5 m u pilot s průměrem do 1,2 m a 2,5 m u pilot s průměrem větším nebo rovným 1,2 m. Roura se zásadně zkracuje shora. Voda či pažící suspenze se z vrtu odčerpává v průběhu betonáže.

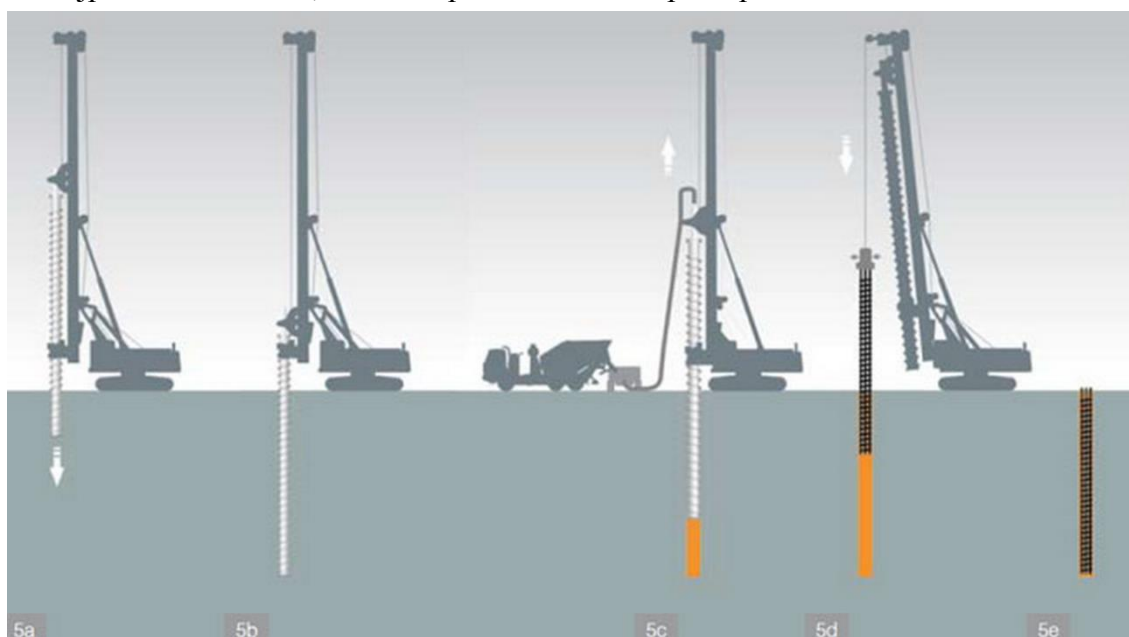
Při pažení vrtu ocelovými pažnicemi se musí jejich vytahování zahájit ihned po dokončení betonáže, nebo v jejím průběhu při dostatečném přetlaku betonu. Při pomalém vytahování pažnice je nutné sledovat hladinu betonu. Hlava piloty se vždy přebetonuje, aby při odpažení nedošlo k jejímu poklesu pod navrhovanou úroveň.

Po betonáži následuje prodleva, poté se provádí dokončovací práce, mezi které patří: úprava hlavy piloty, úprava její výztuže, případně zřízení nadpilotové konstrukce. Hlavy pilot se upravují opatrným odbouráním na úroveň zdravého betonu tak, aby nedošlo k porušení zbylé části piloty např. výztuže. [2]

3.2.2.4 *Technologie výroby pilot prováděných průběžným šnekem (CFA)*

Pilotové základy, které jsou prováděné tzv. průběžným šnekem. Jedná se o relativně novou metodu, která ve vhodných zeminách několikanásobně zvyšuje produktivitu práce při provádění vrtaných pilot. V průběhu vrtání zůstává zemina na závitech šneku, čímž je zajištěna stabilita stěn vrtu. Vhodnými zeminami jsou nesoudržné ($I_D > 0,4$; $d_{60}/d_{10} > 2$), suché i zvodnělé, ale i většina soudržných zemin, pokud neobsahují nevrtatelné vložky.

Vrtání průběžným šnekem je prováděno s minimálními otáčkami vrtného nástroje tak, aby se co nejméně snížily negativní účinky vrtání na okolní zeminu. Vzhledem k tomu musí mít vrtná souprava dostatečný kroutcí moment a tažnou sílu. Nejprve se nástroj zavrtá do zeminy na celkovou hloubku, přičemž nedochází k nakupení zeminy v okolí vrtu. Aby se zabránilo vniku vody či zeminy do středové roury, je opatřena na spodu uzavíratelnou zátkou. Po dosažení určené hloubky se provádí betonáž středovou rourou, na níž je napojena hadice z betonážního čerpadla. Při betonáži se nástroj povytahuje, nemá se otáčet. Pouze v odůvodněných případech se může otáčet ve stejném směru jako při vrtání. Pro plynule vybetonování celé piloty je důležité zajištění dostatečného množství betonu. Používá se beton, který má stupeň sednutí kužele dle Abramse 190 – 210 mm s obsahem oblého kameniva. Po skončení betonáže se zemina v okolí odstraní, pilota se v hlavě upraví a osadí armokošem. Ten se do betonu vtlačuje nejprve vlastní tíhou, následně pak tlakem nebo poklepem vhodného zařízení.

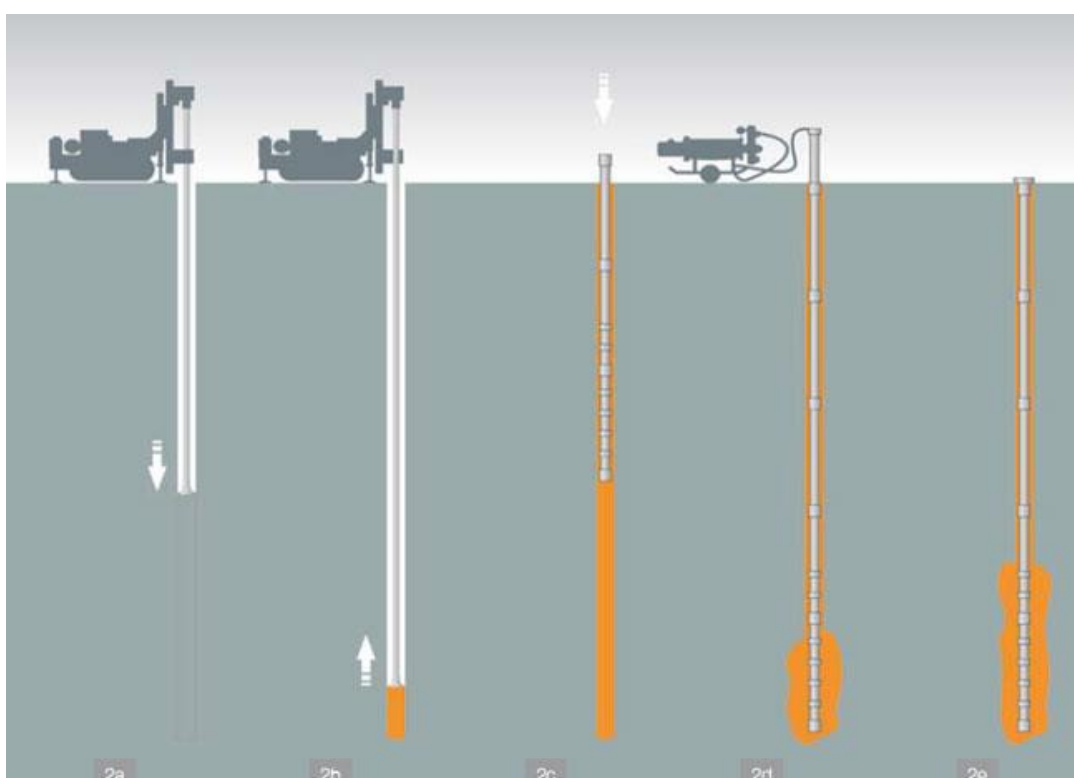


Obr. 3-7: Technologický postup provádění piloty průběžným šnekem (CFA): 5a) zahájení vrtání, 5b) dokončení vrtání v projektované hloubce, 5c) betonáž piloty za současného vytahování průběžného šneku, 5d) vkládání armokoše do čerstvě vybetonované piloty, 5e) dokončení piloty [10]

3.3 Mikropiloty

Byly vyvinuty pro účely podchycování a zesilování základů stávajících staveb v mimořádně stísněných podmínkách. Začaly se používat také pro novostavby, u kterých nelze využít jiné metody vzhledem k omezenému pracovnímu prostoru. Výroba, provádění a monitoring mikropilot se řídí evropskou normou ČSN EN 14199: Provádění speciálních geotechnických prací – Mikropiloty. Norma platí pro:

- vrtané mikropiloty do vnějšího průměru 300 mm,
- ražené mikropiloty do vnějšího průměru 150 mm.

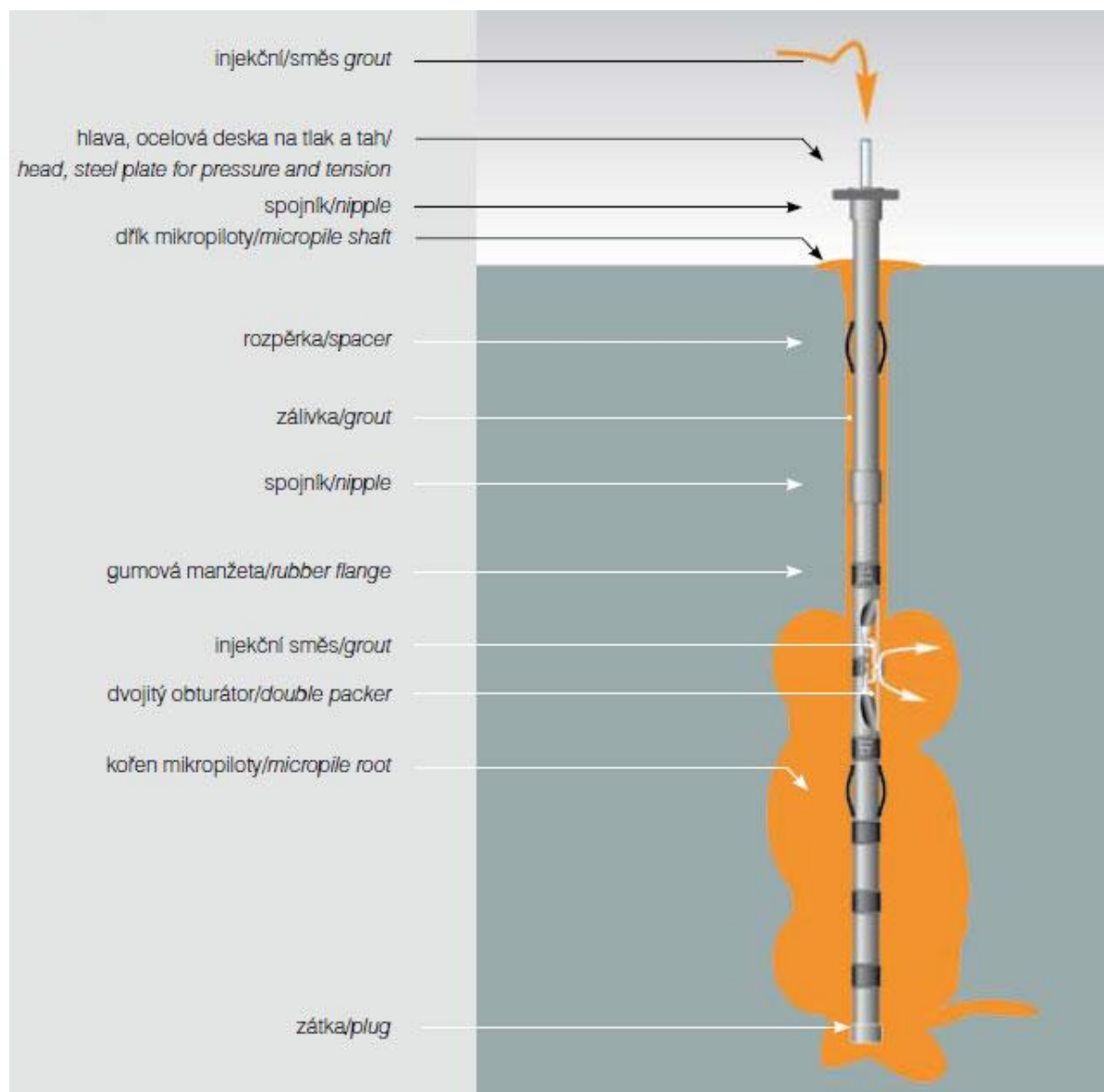


Obr. 3-8: Technologický postup provádění mikropilot: 2a) zhotovení vrtu rotační technologií, 2b) vytahování vrtného nářadí a vyplnění vrtu zálivkou, 2c) osazování výztužné silnostěnné ocelové trubky, 2d) injektáž kořenové části mikropilota, 2e) hotová mikropilota. [11]

Sklony ani délky provádění mikropilot nejsou omezeny. Jsou především určeny pro přenášení tlakových i tahových osových sil. Pro využití jejich vnitřní únosnosti jsou upnuty do základové půdy pomocí injektáže. Z hlediska vyztužení se u nás využívá vyztužení trubicí ocelovou výztuží (více jak 90 %) nebo armokošové. Lze je také dělit podle způsobu uvedení mikropilot do funkce:

- a) nepředtěžované (volné) – deformace probíhá v plné hodnotě po spojení s nadzákladovou konstrukcí,
- b) předtížené - před spojením se základem se předtíží silou odpovídající jejímu následnému zatížení,
- c) předpjaté – předtížená mikropilota je spojena s konstrukcí v zatíženém stavu, což vede k minimální výsledné deformaci.

Mikropilotu lze rozdělit na několik částí: hlavu, dřík, kořen a patu. Hlava piloty se nachází v horní části a je tvořena ocelovou deskou s nátrubkem nebo rozptýlenou betonářskou výztuží. Tlakové i tahové zatížení se přenáší do kořene pomocí dříku. Osové síly jsou zachyceny kořenem, který je v okolní hornině držen pomocí injektáže. V úrovni počvy (na spodu) vrtu se nachází pata mikropiloty. [3]

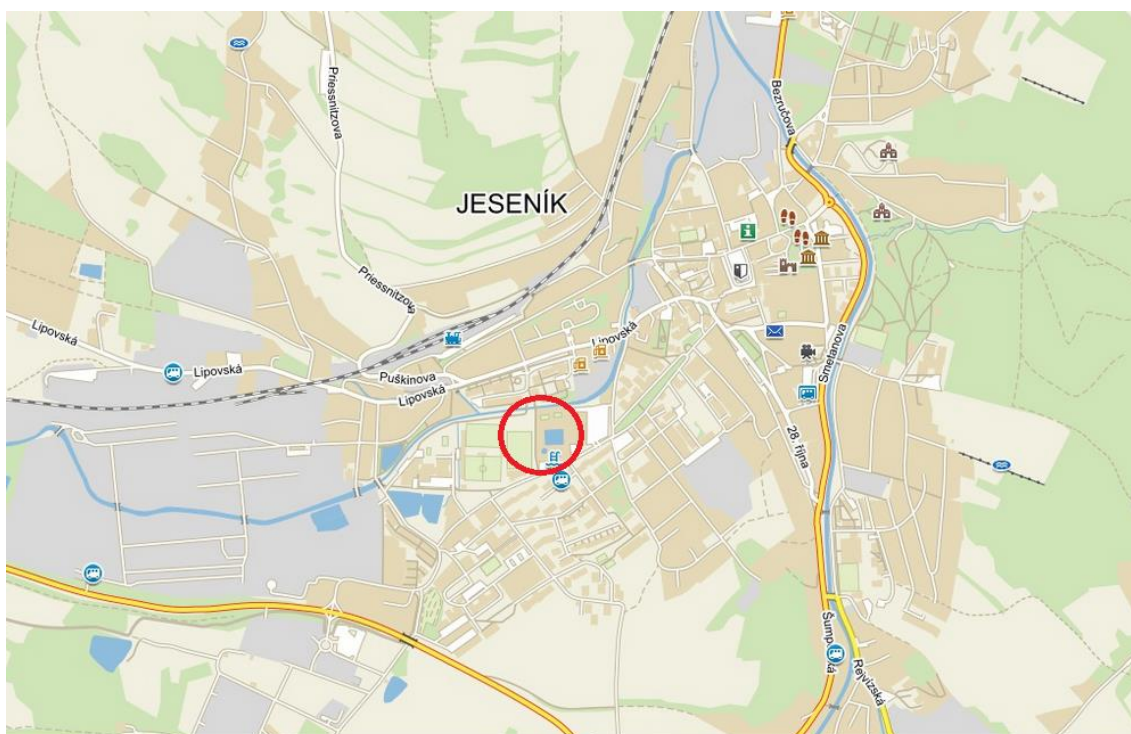


Obr. 3-9: Charakteristický řez mikropilotou [11]

4 PRAKTICKÁ APLIKACE

4.1 Popis stavby

Stavba se nachází ve městě Jeseník na ulici Dukelská v severní části stávajícího městského koupaliště v nadmořské výšce 440,5 m n.m. V rámci stavby byla vybrána problematika založení tobogánu. Ve vzdálenosti přibližně 20m od tobogánu protéká řeka Staříč, hladina řeky je přibližně o 3 m níže, než terén staveniště.



Obr. 4-1: Poloha staveniště [12]

4.2 Geomorfologické, geologické a hydrogeologické poměry

4.2.1 Geomorfologické poměry

4.2.1.1 Geografické poměry

Jeseník je okresní město v Olomouckém kraji, ležící 105 km severně od Olomouce na soutoku řek Bělá a Staříč. Na ploše přibližně 38 km² zde žije necelých 12 tisíc obyvatel. [15]

4.2.1.2 Přiřazení ke geomorfologické jednotce

Podle geomorfologického členění ČR (P.Boháč, J. Kolář, 1996) náleží lokalita ke geomorfologickému celku I4C-6 Zlatohorská vrchovina s hierarchií:

Systém:	HERCYNSKÝ
Subsystém:	HERCYNSKÉ POHOŘÍ
Provincie:	ČESKÁ VYSOČINA
Sub-provincie:	KRKONOŠSKO-JESENICKÁ
Oblast:	JESENICKÁ OBLAST
Celek:	ZLATOHORSKÁ VRCHOVINA [16]

4.2.1.3 Charakteristika pozemku

Zájmová lokalita se nachází v areálu městského koupaliště na Dukelské ulici ve městě Jeseník. Terén zájmového území je zvlněný s generelním sklonem k severu a dosahuje na staveništi nadmořské výšky cca 438,4 - 440,4 m.n.m (viz nadmořské výšky vrtů).

4.2.1.4 Hydrologická data

Hydrologicky náleží zájmové území k povodí Odry. Staveniště se nachází na pravém břehu Staříče, levostranného přítoku řeky Bělé.

4.2.1.5 Klimatické poměry

Území náleží do oblasti chladné CH7. Průměrný úhrn srážek je ve vegetačním období přibližně 550 mm, v zimním období 450 mm. Počet letních dnů za rok je odhadován na 10-30 a počet mrazových dnů na 140-160.

4.2.2 Geologické poměry

4.2.2.1 Geologie stavby

Zájmové území je zobrazeno na geologické mapě ČR 1 : 50 000, list 14 – 22 Jeseník.

Starší paleozoikum – devon

V podloží kvartéru se vyskytují vrstvy devonských hornin vrbenské skupiny, včetně pláště žulovského plutonu. Charakterizují je amfibolity a stromatity s převahou amfibolitu.

Holocén – pleistocén

Holocénní-pleistocénní sedimenty jsou v zájmové území zastoupeny fluvialními převážně hlinitopísčitými až štěrkovitými sedimenty údolní nivy potoka Staříč.

Kvartér -Antropogenní uloženiny – navážky

Většinou jde o přemístěné zeminy při terénních úpravách nebo stavebních pracích heterogenního složení.

Podloží:

Typ horniny: METAMORFIT

Hornina: BŘIDLICE ZELENÁ, AMFIBOLIT

Eratém: PALEOZOIKUM

Soustava: ČESKÝ MASIV – KRYSTALINIKUM A PREVARISKÉ
PALEOZOIKUM

Oblast: MORAVSKOSLEZSKÁ OBLAST

Region: SILEZIKUM

Pokryvy:

Typ horniny: SEDIMENT NEZPEVNĚNÝ

Hornina: HLÍNA, PÍSEK, ŠTĚRK

Popis: NIVNÍ SEDIMENT

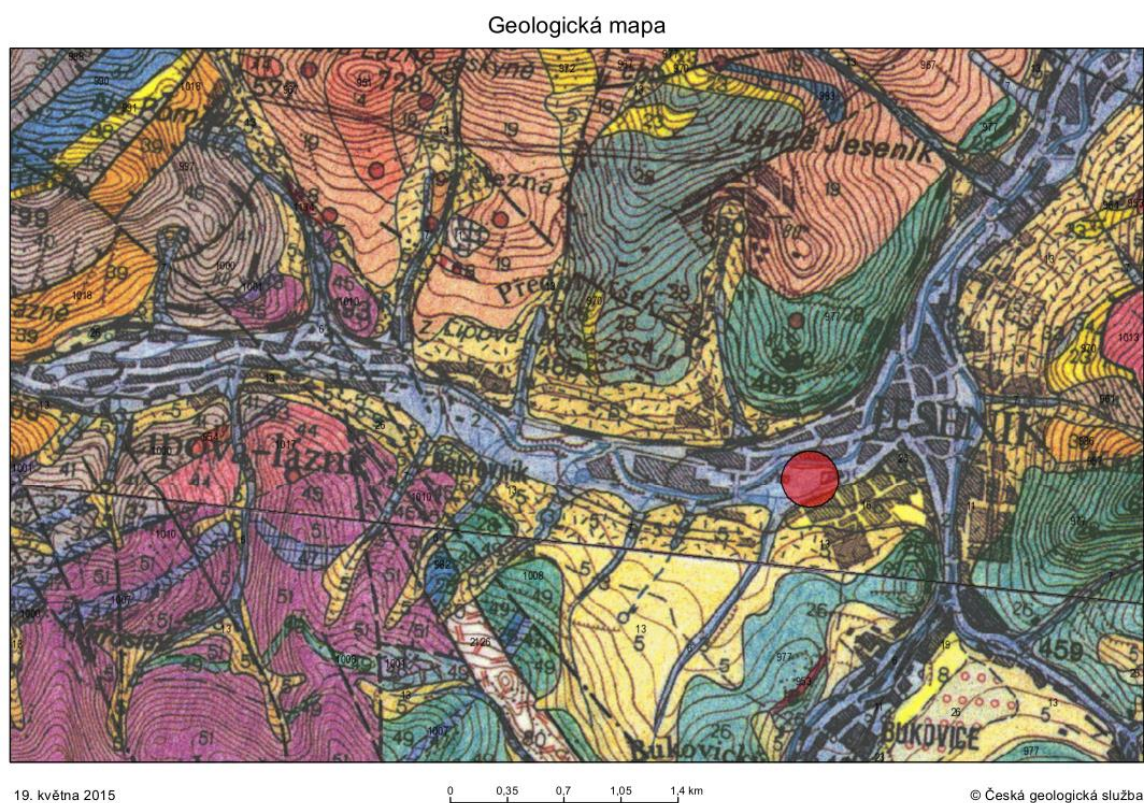
Eratém: KENOZOIKUM

Útvar: KVARTÉR

Oddělení: HOLOCÉN

Soustava: ČESKÝ MASIV – POKRYVNÉ ÚTVARY A POSTVARISKÉ
MAGMATITY

Oblast: KVARTÉR



Obr. 4-2: Geologická mapa [13]

4.2.3 Hydrogeologické poměry

Hladina podzemní vody byla naražena v hloubce 5,9 m pod terénem v jižní části staveniště (vrt J-1). Přibližně po 18 hodinách se hladina podzemní vody ustálila v úrovni 2,5 – 3,7 m pod terénem (vrty J-1 – J-5). Dle Hydrogeologické rajonizace náleží zájmová lokalita do rajónu č. 6431 – Krystalinikum severní části Východních Sudet – jihovýchodní část. Podzemní voda je zde vázána na fluvialní hlinitopísčité a štěrkovité sedimenty a eluvium skalního podkladu.

Voda je z hlediska základního chemického rozboru pro pH slabě kyselá a z hlediska celkové tvrdosti velmi měkká, se slabou uhličitou agresivitou (XA1-XA2 dle ČSN EN 206-1).

Výsledky chemického rozboru podzemní vody:

Tab. 4-1: Laboratorní rozbor podzemní vody

Chemický rozbor	Vrt J-3	Jednotky
pH	6,50	-
CO ₂ volný	28,38	mg/l
CO ₂ Heyer	26,40	mg/l
CO ₂ agres.	25,10	mg/l
Amonné ionty	<0,1	mg/l
Chloridy	3,50	mg/l
Sírany	33,00	mg/l
Ca	15,00	mg/l
Mg	4,26	mg/l
Hydrogenuhličitany	73,20	mg/l
vodivost	13,50	mS/m

Tab. 4-2: Agresivita vody dle ČSN 038375 – ochrana kovových potrubí uložených v půdě ve vodě proti korozi

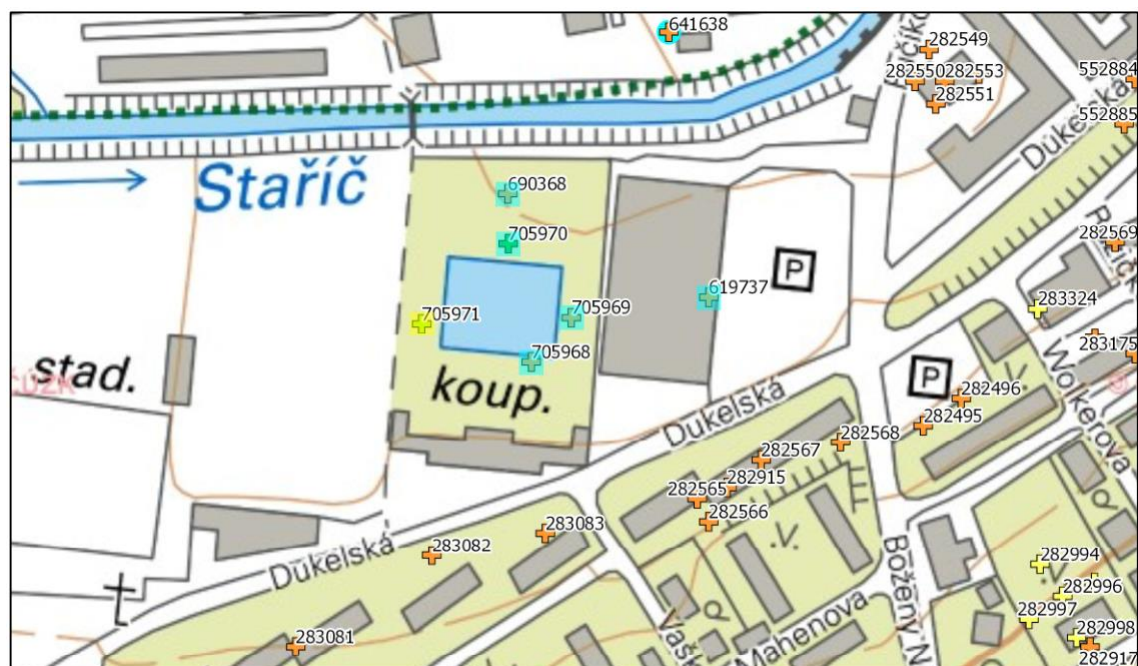
AGRESIVITA	velmi nízká	střední	zvýšená	velmi vysoká
vodivost		x		
pH	x			

SO ₃ + Cl	x			
CO ₂ agres. dle Heyera				x

Tab. 4-3: Chemické působení podzemní vody dle ČSN EN 206 – 1 – Beton – část 1: Specifikace, vlastnost, výroba a shoda

CHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA	slabá	střední	vysoká
pH	x		
CO ₂ agres. dle Heyera	x		
Mg ²⁺			
NH ₄ ⁺			
SO ₄ ²⁻			

4.2.4 Vrtný průzkum



Obr. 4-3: Vrtný průzkum v lokalitě [14]

Tab. 4-4: Vrtný průzkum [14]

Klíč vrtu	Název	Hloubka (m)	Rok	Signatura	Geologie
690368	J-3	7	2008	GF P120334	+
705968	J-7	10	2009	GF P127028	+
705969	J-8	10	2009	GF P127028	+
705970	J-9	17	2009	GF P127028	+
705971	J-10	13	2009	GF P127028	+

Ve zkoumané lokalitě bylo provedeno 5 vrtů, pro účely této práce jsem vybral 2 nejvhodnější vrty (J-1, J-3), jejichž konečná hloubka činí 7,0 m u vrtů J-1, J-3. Vrtání provedeno technologií průběžného jádrování v celém profilu vrtu. Z vrtů byly odebrány vzorky zeminy a podzemní vody, na kterých byly provedeny laboratorní rozbor v akreditované laboratoři.

Pro vzorky zeminy byly navrženy laboratorní zkoušky ke zjištění zrnitosti, stlačitelnosti, smykové totální pevnosti a stanovení koeficientu filtrace.

Pro vzorek vody byl navržen rozbor na zjištění agresivity na betonové a kovové konstrukce.

4.3 Výpočet – bez použití softwaru

4.3.1 Výpočet patky

Vstupní parametry:

Patka půdorysných rozměrech 2,5 a 2,5 m a tloušťce 0,75 m je posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti dle ČSN EN 1997. Základová spára se nachází v hloubce 2,20 m od původního terénu. Hladina podzemní vody se předpokládá v hloubce 3,70 m pod úrovní původního terénu. Pro výpočet byl zvolen 2. návrhový postup (NP2), pro který platí následující vztah [1]

Kombinace: „A1“ + „M1“ + „R2“

Podle této kombinace byly použity dílčí součinitelé pro zatížení, parametry zemin a únosnosti konstrukce dle následujících tabulek.

Tab. 4-5: Dílčí součinitelé zatížení [1]

Zatížení		Značka	Soubor A1
Stálé	Nepříznivé	γ_G	1,35
	Příznivé		1,00
Nahodilé	Nepříznivé	γ_Q	1,50
	Příznivé		0,00

Tab. 4-6: Dílčí součinitelé zatížení [1]

Parametry zeminy	Značka	Soubor M1
Úhel vnitřního tření *)	γ_ϕ	1,00
Efektivní soudržnost	γ_c	1,00
Neodvodněná smyková pevnost	γ_{cu}	1,00
Pevnost v prostém tlaku	γ_{qu}	1,00
Objemová tíha	γ_γ	1,00
*) Tento součinitel se použije pro $\tan \phi$		

Tab. 4-7: Dílčí součinitelé únosnosti [1]

	Značka	Soubor R2
Únosnost	$\gamma_{R,v}$	1,40
Usmyknutí	$\gamma_{R,h}$	1,10

Charakteristické hodnoty zatížení byly převzaty z projektu města Jeseník a činí:

$$N_{KG} = 500 \text{ kN} ; N_{KQ} = 80 \text{ kN} ; H_{xKQ} = 60 \text{ kN} ; M_{yKG} = 160 \text{ kN} ; M_{yKQ} = 40 \text{ kN}$$

Parametry zemin viz tabulka:

Tab. 4-8: Parametry zemin

Zemina	obj. hmotnost γ	modul přetv. E_{def}	soudržnost c_u	úhel smyk. Pevnosti φ_{ef}	soudržnost c_{ef}	Poissonovo číslo ν
	kg . m ⁻³	Mpa	kPa	[°]	kPa	
Navážka	18,00	1,0	-	10,0	1,0	0,30
F3MS – písčité hlína	18,35	8,0	60	28,0	14,0	0,35
S4SM - hlinitý písek	19,70	5,4	-	29,0	8,0	0,30
G3 G - F - štěrk	19,40	83,0	-	32,0	-	0,25
G1 GW - štěrk písčité	22,00	125,0	-	41,5	-	0,20

4.3.1.1 Mezní stav únosnosti

1. Zatížení a napětí v úrovni základové spáry

$$G = B \cdot L \cdot t \cdot \gamma_c \quad (4-1)$$

$$G = 2,5 \cdot 2,5 \cdot 0,75 \cdot 25 = 117,20 \text{ kN}$$

$$N_{zd} = (N_{KG} + G) \cdot \gamma_G + N_{KQ} \cdot \gamma_Q \quad (4-2)$$

$$N_{zd} = (500 + 117,20) \cdot 1,35 + 80 \cdot 1,5 = 953,22 \text{ kN}$$

$$H_{xd} = H_{xKQ} \cdot \gamma_Q \quad (4-3)$$

$$H_{xd} = 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ kN}$$

$$M_{yd} = M_{yKG} \cdot \gamma_G + M_{yKQ} \cdot \gamma_Q + H_{xd} \cdot t \quad (4-4)$$

$$M_{yd} = 160 \cdot 1,35 + 40 \cdot 1,5 + 90 \cdot 0,75 = 343,5 \text{ kNm}$$

$$e_{xd} = M_{yd} / N_{zd} \quad (4-5)$$

$$e_{xd} = 343,5 / 953,22 = 0,360 \text{ m}$$

$$B_{ef} = B - 2 \cdot e_{xd} \quad (4-6)$$

$$B_{ef} = 2,5 - 2 \cdot 0,360 = 1,78 \text{ m}$$

$$A_{ef} = L_{ef} \cdot B_{ef} \quad (4-7)$$

$$A_{ef} = 2,5 \cdot 1,78 = 4,45 \text{ m}^2$$

$$\sigma_d = N_{zd}/A_{ef} \quad (4-8)$$

$$\sigma_d = 953,22/4,45 = 214,21 \text{ kPa}$$

2. Únosnost základové spáry pro neodvodněné podmínky (krátkodobá únosnost)

$$q = 18,35 \cdot 1,0 = 18,35 \text{ kPa}$$

$$b_c = 1,0$$

$$s_c = 1,0 + 0,2 \cdot B_{ef}/L_{ef} \quad (4-9)$$

$$s_c = 1,0 + 0,2 \cdot 1,78/2,5 = 1,14$$

$$i_c = 0,5 \cdot \left(1,0 + \sqrt{(1,0 - (H_d/A_{ef} \cdot c_u))} \right) \quad (4-10)$$

$$i_c = 0,5 \cdot \left(1,0 + \sqrt{(1,0 - 90/(4,45 \cdot 60))} \right) = 0,91$$

$$R_d = (\pi + 2,0) \cdot c_u \cdot i_c \cdot s_c \cdot b_c + q \quad (4-11)$$

$$R_d = (\pi + 2,0) \cdot 60 \cdot 1,0 \cdot 1,14 \cdot 0,91 + 18,35 = 338,38 \text{ kPa}$$

$$R_d/\gamma_{R,v} = 241,7 \text{ kPa}$$

$$R_d/1,4 = 241,7 < \sigma_d = 214,21 \text{ kPa}$$

3. Odolnost proti usmyknutí

$$R_{dh} = A_{ef} \cdot c_{ud} \quad (4-12)$$

$$R_{dh} = 4,39 \cdot 60 = 263,4 \text{ kN}$$

$$R_{dh}/\gamma_{R,h} = 263,4/1,1 = 239,45 \text{ kN} > H_d = 90 \text{ kN}$$

4. Únosnost základové spáry pro odvodněné podmínky (dlouhodobá únosnost)

$$N_q = e^{\pi \cdot tg \varphi} \cdot tg^2(45 + \varphi/2) \quad (4-13)$$

$$N_q = e^{\pi \cdot tg 28} \cdot tg^2(45 + 28/2) = 14,72$$

$$N_c = (N_d - 1,0) \cdot cotg \varphi \quad (4-14)$$

$$N_c = (14,72 - 1,0) \cdot cotg 28 = 25,80$$

$$N_\gamma = 2,0 \cdot (N_d - 1,0) \cdot tg \varphi \quad (4-15)$$

$$N_\gamma = 2,0 \cdot (14,72 - 1,0) \cdot tg 28 = 14,59$$

$$s_q = 1,0 + (B_{ef}/L_{ef}) \cdot sin \varphi \quad (4-16)$$

$$s_q = 1,0 + (1,78/2,5) \cdot sin 28 = 1,33$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1,0)/(N_q - 1,0) \quad (4-17)$$

$$s_c = (1,33 \cdot 14,72 - 1,0)/(14,72 - 1,0) = 1,35$$

$$s_\gamma = 1,0 - 0,3 \cdot (B_{ef}/L_{ef}) \quad (4-18)$$

$$s_\gamma = 1,0 - 0,3 \cdot (1,78/2,5) = 0,79$$

$$m = (2,0 + B_{ef}/L_{ef})/(1,0 + B_{ef}/L_{ef}) \quad (4-19)$$

$$m = (2,0 + 1,78/2,5)/(1,0 + 1,78/2,5) = 1,58$$

$$i_q = (1 - H_d/(N_{zd} + A_{ef} \cdot c_{ef} \cdot cotg \varphi))^m \quad (4-20)$$

$$i_q = (1 - 90/(953,22 + 4,45 \cdot 14 \cdot cotg 28))^{1,58} = 0,87$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_c \cdot tg \varphi) \quad (4-1)$$

$$i_c = 0,87 - 1 - 0,87/(25,8 \cdot tg 28) = 0,86$$

$$i_\gamma = (1 - H_d / (N_{zd} + A_{ef} \cdot c_{ef} \cdot \cot g \varphi))^{m+1} \quad (4-21)$$

$$i_\gamma = (1 - 90 / (953,22 + 4,45 \cdot 14 \cdot \cot g 28))^{1,58+1} = 0,80$$

$$R_d = c_{ef} \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma_2 \cdot B_{ef} \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \quad (4-22)$$

$$R_d = 14 \cdot 25,8 \cdot 1,0 \cdot 1,35 \cdot 0,86 + 18,35 \cdot 1,0 \cdot 14,72 \cdot 1,33 \cdot 0,87 + 0,5 \cdot 19,4 \cdot 14,59 \cdot 0,79 \cdot 0,8 = 821,34 \text{ kPa}$$

$$R_d / 1,4 = 821,34 / 1,4 = 586,67 \text{ kPa} > \sigma_d = 214,21 \text{ kPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

5. Odolnost proti usmyknutí

$$R_{dh} = (N_{zd} \cdot \tan \varphi + c_d \cdot A_{ef}) \quad (4-22)$$

$$R_{dh} = (953,22 \cdot \tan 28 + 14 \cdot 4,45) = 569,14 \text{ kN} > H_d = 90 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.3.1.2 Mezní stav použitelnosti

1. Stanovení zatížení a napětí v základové spáře

$$N_{zk} = (N_{KG} + G) \cdot \gamma_G + N_{KQ} \cdot \gamma_Q \quad (4-23)$$

$$N_{zd} = (500 + 117,2) \cdot 1,0 + 80 \cdot 1,0 = 697,2 \text{ kN}$$

$$H_k = H_{xk} \cdot \gamma_Q \quad (4-24)$$

$$H_k = 60 \cdot 1,0 = 60 \text{ kN}$$

$$M_{yk} = M_{yKG} \cdot \gamma_G + M_{yKQ} \cdot \gamma_Q + H_{xk} \cdot t \quad (4-25)$$

$$M_{yk} = 160 \cdot 1,0 + 40 \cdot 1,0 + 60 \cdot 0,75 = 245 \text{ kNm}$$

Napětí v základové spáře od normálové síly a momentu

$$\sigma_n = N_{zk} / (L \cdot B) \quad (4-26)$$

$$\sigma_n = 697,2 / (2,5 \cdot 2,5) = 111,55 \text{ kPa}$$

$$\sigma_m = M_{yk} / W \quad (4-27)$$

$$\sigma_m = 245 / ((1/6) \cdot 2,5 \cdot 2,5^2) = \pm 94,08 \text{ kPa}$$

$$\sigma_1 = \sigma_n - \sigma_m \quad (4-28)$$

$$\sigma_1 = 111,55 - 94,08 = 17,47 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = \sigma_n + \sigma_m \quad (4-29)$$

$$\sigma_2 = 111,55 + 94,08 = 205,63 \text{ kPa}$$

Původní napětí v základové spáře

$$\sigma_{or,0} = 1,0 \cdot 18,35 = 18,35 \text{ kPa}$$

$$\sigma_a = \sigma_1 - \sigma_{or,0} \quad (4-30)$$

$$\sigma_a = 17,47 - 18,35 = -0,88 \text{ kPa} \rightarrow 0 \text{ kPa}$$

$$\sigma_b = \sigma_2 - \sigma_{or,0} \quad (4-31)$$

$$\sigma_b = 205,63 - 18,35 = 187,28 \text{ kPa}$$

2. Tuhost plošného základu

Průměrná velikost modulu deformace do hloubky $x = 2 \cdot B = 2 \cdot 2,5 = 5$ m pod základovou sparou.

$$E_{def,pr} = (d_1 \cdot E_{def,1} + d_2 \cdot E_{def,2} + d_3 \cdot E_{def,3})/x \quad (4-32)$$

$$E_{def,pr} = (1,6 \cdot 8 + 1,5 \cdot 5,4 + 1,9 \cdot 83)/5 = 35,72 \text{ MPa}$$

Tuhost:

$$k = (E_{bet}/E_{def,pr}) \cdot (t/B)^3 \quad (4-33)$$

$$k = (26500/35,72) \cdot (0,75/2,5)^3 = 20,03 > 1 \rightarrow \text{základ je tuhý}$$

3. Výpočet konečného sedání

D.... hloubka založení

B.... šířka základu

h_imocnost vrstvy

z_ihloubka středu i-té vrstvy

z_chloubka předpokládané „nestlačitelné“ vrstvy pod úrovní základové spáry (9,0 m)

K_1, K_2 součinitelé zohledňující vliv hloubky založení a blízkost nestlačitelné vrstvy

σ_{ori} původní geostatické napětí ve středu i-té vrstvy

m opravný součinitel přetížení

I_1 součinitel svislého napětí pod nezatíženou hranou

I_2 součinitel svislého napětí pod zatíženou hranou

$E_{oed,i}$ návrhová hodnota oedometrického modulu i-té vrstvy základové půdy

$S_{A,i}$sedání základové patky pod bodem A

$S_{B,i}$sedání základové patky pod bodem B

$$\sigma_{ori} = \gamma \cdot (D + z_i) \quad (4-34)$$

$$K_1 = 1 + 0,35 \cdot \arctg(1,55 \cdot D/z_i) \quad (4-35)$$

$$K_2 = 1 - e^{\frac{z_c}{z_i} \cdot \ln 0,25 + \ln 0,8} \quad (4-36)$$

$$z_{ri} = K_1 \cdot K_2 \cdot z_i \quad (4-37)$$

$$R = \sqrt{(B^2 + L^2 + z_i^2)} \quad (4-38)$$

$$\sigma_{zi,A} = q \cdot I_1 \quad (4-39)$$

$$I_1 = (1/(2 \cdot \pi)) \cdot (((L \cdot B \cdot z_i)/(R \cdot (z_i^2 + B^2))) + ((B \cdot z_i)/(B \cdot R)) \cdot$$

$$(R - \sqrt{(L^2 + z_i^2)})/\sqrt{(L^2 + z_i^2)}) \quad (4-40)$$

$$\sigma_{zi,B} = q \cdot I_2 \quad (4-41)$$

$$I_2 = (1/2 \cdot \pi) \cdot (\arctg(L \cdot B/z_i \cdot R) + (L \cdot z_i/(L^2 + z_i^2)) \cdot \left(R - \sqrt{((L^2 + z_i^2)/B)}\right)) \quad (4-42)$$

$$s = \sum_{i=1}^n (\sigma_{z,i} - m \cdot \sigma_{ori}) \cdot h_i / E_{oed,i} \quad (4-43)$$

Tab. 4-9: Výpočet sedání základové patky

Číslo vrstvy	hloubka pod ZS	mocnost h_i	z_i	D/z_i	K_1	z_c/z_i	K_2	$z_{ri} = K_1 \cdot K_2 \cdot z_i$
1	0,40	0,40	0,20	5,00	1,50	45,00	1,00	0,30
2	0,80	0,40	0,60	1,67	1,42	15,00	1,00	0,85
3	1,20	0,40	1,00	1,00	1,35	9,00	1,00	1,35
4	1,60	0,40	1,40	0,71	1,29	6,43	1,00	1,81
5	2,10	0,50	1,85	0,54	1,24	4,86	1,00	2,30
6	2,60	0,50	2,35	0,43	1,20	3,83	0,99	2,81
7	3,10	0,50	2,85	0,35	1,17	3,16	0,99	3,30
8	3,60	0,50	3,35	0,30	1,15	2,69	0,98	3,76
9	4,00	0,40	3,80	0,26	1,14	2,37	0,96	4,16

Tab. 4-9: Pokračování tabulky

sedání pod nezatíženou hranou						
σ_{ori}	$m \cdot \sigma_{ori}$	z_i/B	R	I_1	$\sigma_{zi} - m \cdot \sigma_{ori}$	$S_{A,i}$
22,02	4,40	0,08	3,54	0,013	-2,04	-0,06
29,36	5,87	0,24	3,59	0,036	0,81	0,03
36,70	7,34	0,40	3,67	0,053	2,61	0,08
44,04	8,81	0,56	3,80	0,064	3,14	0,10
48,97	9,79	0,74	3,99	0,069	3,05	0,12
53,89	10,78	0,94	4,25	0,068	1,90	0,07
58,82	11,76	1,14	4,54	0,063	0,07	0,00
63,74	12,75	1,34	4,87	0,057	-2,03	-
67,68	13,54	1,52	5,19	0,052	-	-
sedání pod bodem A						0,34

Tab. 4-9: Pokračování tabulky

sedání pod zatíženou hranou				
z_i/B	I_2	$\sigma_{zi} - m \cdot \sigma_{ori}$	$E_{oed,i}$	$S_{B,i}$
0,08	0,237	40,03	12,84	1,25
0,24	0,212	33,81	12,84	1,05
0,40	0,187	27,67	12,84	0,86
0,56	0,163	21,75	12,84	0,68
0,74	0,139	16,17	7,27	0,63

0,94	0,115	10,75	7,27	0,42
1,14	0,095	6,08	7,27	0,24
1,34	0,079	2,10	7,27	0,08
1,52	0,068	-0,88	7,27	-
sedání pod bodem B				5,21

Sedání základové patky na hraně A: $s_A = 0,34 \text{ mm}$

Sedání základové patky na hraně B: $s_B = 5,21 \text{ mm}$

Průměrné sedání základové patky: $s = (0,34 + 5,21)/2 = 2,78 \text{ mm} < s_{m,lim} = 60 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhoví}$

Naklonění základové patky: $\frac{\Delta s}{B} = (5,21 - 0,34)/2500 = 0,00195 < 0,002 \rightarrow \text{vyhoví}$

4.3.1.3 Technologický postup

Patka je provedena železobetonová jednostupňová o půdorysných rozměrech 2,5x2,5 m a tloušťce 0,75m. Po provedení výkopových prací se provede betonáž podkladním betonem o tloušťce 50 mm. Následně zaměříme a vytyčíme prostor pro stavbu bednění. Bednění bude ze smrkového dřeva, jako spojovacího materiálu bude použito hřebíků. Armování bude provedeno přímo do bednění z 18 profilů R14 oceli B500. Je třeba dodržet minimální tloušťky krytí výztuže.

Betonáž patky bude proveden transportbetonem C25/30 jehož složení odpovídá ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Při ukládání do dřevěného bednění je třeba dostatečně provlhčit konstrukci bednění. Následně bude beton vibrován ponorným vibrátorem, který zajistí jeho dokonalé provibrování. Beton bude nutno ošetřovat po dobu několika dnů kropením ochranné textilie, aby nedocházelo k rychlému vysychání a možnému popraskání betonu. Odbednění je možné provést po částečném zatvrdnutí betonu, v závislosti na klimatických podmínkách (přibližně po 7 dnech).

4.3.2 Výpočet piloty

4.3.2.1 Posouzení na mezní stav únosnosti:

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} \geq V_d \quad (4-44)$$

U_{vd} – svislá návrhová únosnost

U_{bd} – návrhová únosnost paty piloty

U_{fd} – návrhová únosnost na plášti piloty

V_d – svislá složka návrhového zatížení působícího v hlavě piloty

1. Návrhová únosnost paty:

$$U_{bd} = k_1 \cdot A_s \cdot R_d / \gamma_b \quad (4-45)$$

$$\gamma_b = 1,1$$

$$k_1 = 1,1 \text{ (} L = 6 \text{ m)}$$

$$A_s = \pi \cdot d^2 / 4 = \pi \cdot 0,63^2 / 4 = 0,312 \text{ m}^2$$

$$R_d = 1,2 \cdot c_d \cdot N_{cd} + (1 + \sin \varphi) \cdot \gamma_1 \cdot L \cdot N_{dd} + 0,7 \cdot \gamma_2 \cdot d / 2 \cdot N_{bd} \quad (4-46)$$

$$\varphi_k = \varphi_d = 32^\circ \text{ (} \gamma_M = 1,0 \text{)}$$

$$N_{dd} = \exp(\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi_d) \cdot \operatorname{tg}^2(45 + \varphi_d / 2) \quad (4-47)$$

$$N_{dd} = \exp(\pi \cdot \operatorname{tg} 32) \cdot \operatorname{tg}^2(45 + 32 / 2) = 23,18$$

$$N_{cd} = (N_{dd} - 1) \cdot \cot \operatorname{tg} \varphi_d \quad (4-48)$$

$$N_{cd} = (23,18 - 1) \cdot \cot \operatorname{tg} 32 = 35,50$$

$$N_{bd} = 1,5 \cdot (N_{dd} - 1) \cdot \operatorname{tg} \varphi_d \quad (4-49)$$

$$N_{bd} = 1,5 \cdot (23,18 - 1) \cdot \operatorname{tg} 32 = 20,80$$

$$\gamma_1 = \sum_{i=1}^n h_i \cdot \gamma_i / \sum_{i=1}^n h_i \quad (4-50)$$

$$\gamma_1 = (2,35 \cdot 18,35 + 1,5 \cdot 9,7 + 2,15 \cdot 9,4) / 6 = 12,98 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_2 = 9,4 \text{ kN/m}^3$$

$$R_d = (1 + \sin 32) \cdot 12,98 \cdot 6,0 \cdot 23,18 + 0,7 \cdot 10,0 \cdot 0,63 / 2 \cdot 20,8 = 2807,76 \text{ kN}$$

$$U_{bd} = 1,1 \cdot 0,312 \cdot 2807,76 / 1,1 = 876,02 \text{ kN}$$

2. Návrhová únosnost pláště:

$$U_{fd} = \pi \cdot \sum d_i \cdot h_i \cdot f_{si} / \gamma_s \quad (4-51)$$

$$\gamma_s = 1,1$$

$$f_{si} = \sigma_{xi} \cdot \operatorname{tg}(\varphi_d / \gamma_{r1}) + c_d / \gamma_{r2} \quad (4-52)$$

$$\sigma_{xi} = k_2 \cdot \sigma_{ori} \quad (4-53)$$

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

$$\gamma_{r1} = 1,0 \text{ (} z > 3,0 \text{ m)}$$

$$\gamma_{r2} = 1,2 \text{ (betonáž do vrtu zapaženého ocelovou pažnicí pod HPV)}$$

Geostatické, kontaktní napětí a tření na plášti:

$$\begin{aligned}
\text{hloubka } 1,20 - 3,80 \text{ m:} \quad & \sigma_{or1} = 1,3 \cdot 18,35 = 23,86 \text{ kPa} \\
& \sigma_{x1} = 1,0 \cdot 23,86 = 23,86 \text{ kPa} \\
& f_{s1} = 23,86 \cdot \operatorname{tg} 28 = 12,69 \text{ kPa} \\
\text{hloubka } 3,80 - 5,30 \text{ m:} \quad & \sigma_{or2} = 2,6 \cdot 18,35 + 0,75 \cdot 9,7 = 54,99 \text{ kPa} \\
& \sigma_{x2} = 1,0 \cdot 54,99 = 54,99 \text{ kPa} \\
& f_{s2} = 54,99 \cdot \operatorname{tg} 29 = 30,48 \text{ kPa} \\
\text{hloubka } 5,30 - 7,45 \text{ m:} \quad & \sigma_{or3} = 2,6 \cdot 18,35 + 1,5 \cdot 9,7 + 1,075 \cdot 9,4 = \\
& = 72,37 \text{ kPa} \\
& \sigma_{x2} = 1,0 \cdot 72,37 = 72,37 \text{ kPa} \\
& f_{s2} = 72,37 \cdot \operatorname{tg} 32 = 45,22 \text{ kPa} \\
U_{fd} = \pi \cdot 0,63 \cdot (2,35 \cdot 12,69 + 1,5 \cdot 30,48 + 2,15 \cdot 45,22) / 1,1 = 310,85 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Návrhová únosnost piloty: $U_{vd} = 876,02 + 310,85 = 1186,87 \text{ kN}$

4.3.2.2 Posouzení na mezní stav použitelnosti

$$R_{bu} = R_{su} + R_{pu} \quad (4-54)$$

R_{bu} – mezní únosnost

R_{su} – mezní únosnost na plášti piloty

R_{pu} – mezní únosnost paty piloty

Mezní únosnost na plášti piloty: $R_{su} = 0,7 \cdot m_2 \cdot \pi \sum d_i \cdot h_i \cdot q_{si} \quad (4-55)$

$$m_2 = 1,0 \text{ (betonáž do suchého vrtu a pod vodu)}$$

$$q_{si} = a - b / (D_i / d_i) \quad (4-56)$$

Tab. 4-10: Regresní koeficienty a mezní plášťové tření i-té vrstvy [1]

zemina	l_c	l_D	a	b	q_{si}
F3	1+	-	97,31	108,59	39,24
S4	-	0,7	91,22	48,44	81,37
G3	-	0,7	91,22	48,44	85,03

$$R_{su} = 0,7 \cdot 1,0 \cdot \pi \cdot 0,63 \cdot (2,35 \cdot 39,24 + 1,5 \cdot 81,37 + 2,15 \cdot 85,03) = 550,26 \text{ kN}$$

Příspěvek paty piloty:

$$R_{pu} = \beta \cdot R_y \cdot s_{25} / s_y \quad (4-57)$$

$$R_y = R_{su} / (1 - \beta) \quad (4-58)$$

$$\beta = q_0 / (q_0 + 4 \cdot q_s \cdot L / d_0) \quad (4-59)$$

$$q_0 = e - f / (L / d_0) \quad (4-60)$$

$$q_0 = 490,34 - 445,42 / (6 / 0,63) = 443,55 \text{ kPa}$$

$$q_s = \sum_{i=1}^n q_{si} d_i \cdot h_i / \sum_{i=1}^n d_i \cdot h_i \quad (4-61)$$

$$q_s = (2,35 \cdot 39,24 + 1,5 \cdot 81,37 + 2,15 \cdot 85,03) / 6,0 = 66,19 \text{ kPa}$$

$$\beta = 443,55 / (443,55 + 4 \cdot 66,19 \cdot 6 / 0,63) = 0,150$$

$$R_y = 550,26 / (1 - 0,150) = 647,36 \text{ kN}$$

$$s_y = I \cdot R_y / (d \cdot E_s) \quad (4-62)$$

$$I = I_1 \cdot R_k \quad (4-63)$$

$$I_1 = 0,15$$

$$R_k = 1,15 \text{ (K = 1619,8)}$$

$$I = 0,15 \cdot 1,15 = 0,17$$

$$E_s = \sum_{i=1}^n E_{si} \cdot h_i / \sum_{i=1}^n h_i \quad (4-64)$$

$$E_{s1} = 18,27 \text{ (h = 2,35m; } I_D = 1+)$$

$$E_{s2} = 13,8 \text{ (h = 1,5 m; } I_D = 0,7)$$

$$E_{s3} = 16,05 \text{ (h = 2,15 m; } I_D = 0,7)$$

$$E_s = (2,35 \cdot 18,27 + 1,5 \cdot 13,8 + 2,15 \cdot 16,05) / 6,0 = 16,36 \text{ MPa}$$

$$K = (E_b / E_s) = 26\,500 / 16,36 = 1619,8 \quad (4-65)$$

$$s_y = 0,17 \cdot 647,36 / (0,63 \cdot 16,36) = 10,67 \text{ mm}$$

$$R_{pu} = 0,150 \cdot 647,36 \cdot 25 / 10,67 = 227,52 \text{ kN}$$

Mezní únosnost piloty pro $s=25\text{mm}$: $R_{bu} = 550,26 + 227,52 = 777,78 \text{ kN}$

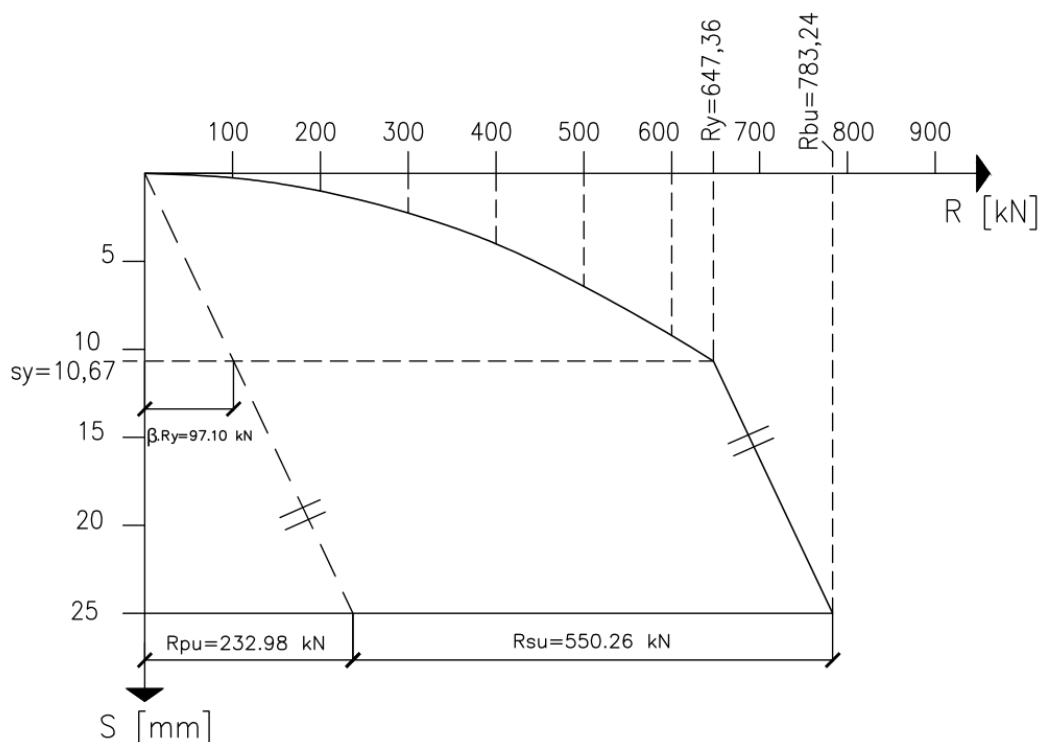
Mezní zatěžovací křivka:

Parabolická větev popsaná rovnicí $s = s_y \cdot (R / R_y)^2$ pro hodnoty $0 \leq R \leq R_y$.

Tab.4-11: Hodnoty sedání

R_j [kN]	100	200	300	400	500	600
s_i [mm]	0,26	1,02	2,29	4,07	6,37	9,17

Lineární větev s rovnicí $s = s_y + ((s_{25} - s_y)/(R_{bu} - R_y)) \cdot (R - R_y)$ pro hodnoty $R_y \leq R \leq R_{bu}$. $s = 10,67 + 0,10546 \cdot (R - 647,36)$



Obr. 4-4: Mezní zatěžovací křivka piloty [autor]

4.3.2.3 Technologický postup:

Pilota bude provedena spirálovým vrtákem s průměrem vrtného nářadí 570 mm. S postupem vrtání bude vrt zároveň zapažován pomocí spojovatelných ocelových pažnic o vnějším průměru 630 mm. K zavrtávání a následnému vytahování pažnic bude použito vrtné soupravy s dostatečným krouticím momentem. Před instalací armokoše a následnou betonáží je nutné zjistit, zda se ve vrtu nachází podzemní voda. Pokud se voda ve vrtu nevyskytuje, provádí se betonáž pomocí betonážní roury s násypkou, umístěné svisle ve středu vrtu. Při výskytu podzemní vody se betonáž provede pomocí metody Contractor. U této metody se betonáž provádí pomocí sypákové roury, která zabraňuje rozměšování a znečišťování betonu kapalinou.

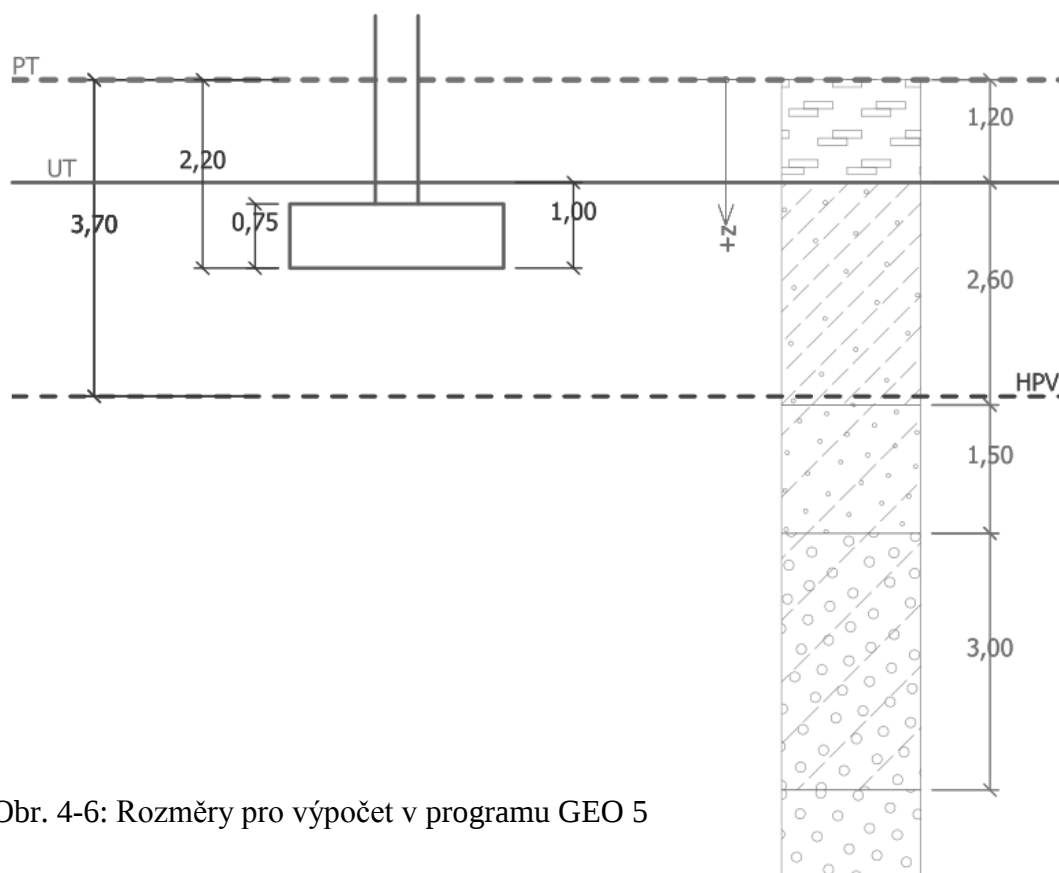
Pilota je navržena jako železobetonová o délce 6 m je vyztužena armokošem z 10 profilů R18 z oceli B500. Průřezová plocha výztuže A_s musí být větší jak 0,5% plochy průřezu (A_c). Plocha výztuže $A_s = 2545 \text{ mm}^2$, 0,5% $A_c = 1559 \text{ mm}^2$. Armokoše budou svařeny montážními kruhy profilu R16 přibližně 1,5 m od sebe. Příčnou výztuž bude

tvořit spirála průměru 8 mm se stoupáním po 200 mm. Minimální krytí výztuže je uvažováno 100 mm.

Betonáž piloty bude proveden transportbetonem C25/30 jehož složení odpovídá *ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Způsob betonáže závisí na výskytu pozemní vody. Hlava piloty je třeba přebetonovat, aby po následném odpažení nepoklesla pod navrženou úroveň.

4.4 Výpočet pomocí programu GEO 5

4.4.1 Výpočet patky pomocí programu GEO 5



Obr. 4-6: Rozměry pro výpočet v programu GEO 5

Základní parametry zemin

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	ν [-]
1	Navážka		10,00	1,00	18,00	0,30
2	Třída F3, konzistence tuhá		28,00	14,00	18,35	0,35
3	Třída S4		29,00	8,00	19,70	0,30
4	Třída G3, středně ulehlá		32,00	0,00	19,40	0,25
5	Třída G1, ulehlá		41,50	0,00	22,00	0,20

Obr. 4-5: Základní parametry zemin GEO 5

Posouzení svislé únosnosti

Tvar kontaktního napětí : obdélník

Nejnepříznivější zatěžovací stav číslo 1. (Zatížení č. 1)

Parametry smykové plochy pod základem:

Hloubka smykové plochy $z_{sp} = 3,89 \text{ m}$

Dosah smykové plochy $l_{sp} = 11,67 \text{ m}$

Výpočtová únosnost zákl. půdy $R_d = 540,19 \text{ kPa}$

Extrémní kontaktní napětí $\sigma = 203,82 \text{ kPa}$

Svislá únosnost VYHOVUJE

Posouzení vodorovné únosnosti

Nejnepříznivější zatěžovací stav číslo 1. (Zatížení č. 1)

Zemní odpor: klidový

Výpočtová velikost zemního odporu $S_{pd} = 11,41 \text{ kN}$

Úhel tření základ-základová spára $\psi = 28,00^\circ$

Soudržnost základ-základová spára $a = 14,00 \text{ kPa}$

Horizontální únosnost základu $R_{dh} = 464,35 \text{ kN}$

Extrémní horizontální síla $H = 90,00 \text{ kN}$

Vodorovná únosnost VYHOVUJE

Únosnost základu VYHOVUJE

Sednutí a natočení základu - výsledky

Tuhost základu:

Spočtený vážený průměrný modul přetvárnosti $E_{def} = 7,35 \text{ MPa}$

Základ je ve směru délky tuhý ($k=110,18$)

Základ je ve směru šířky tuhý ($k=110,18$)

Celkové sednutí a natočení základu:

Sednutí základu $= 6,3 \text{ mm}$

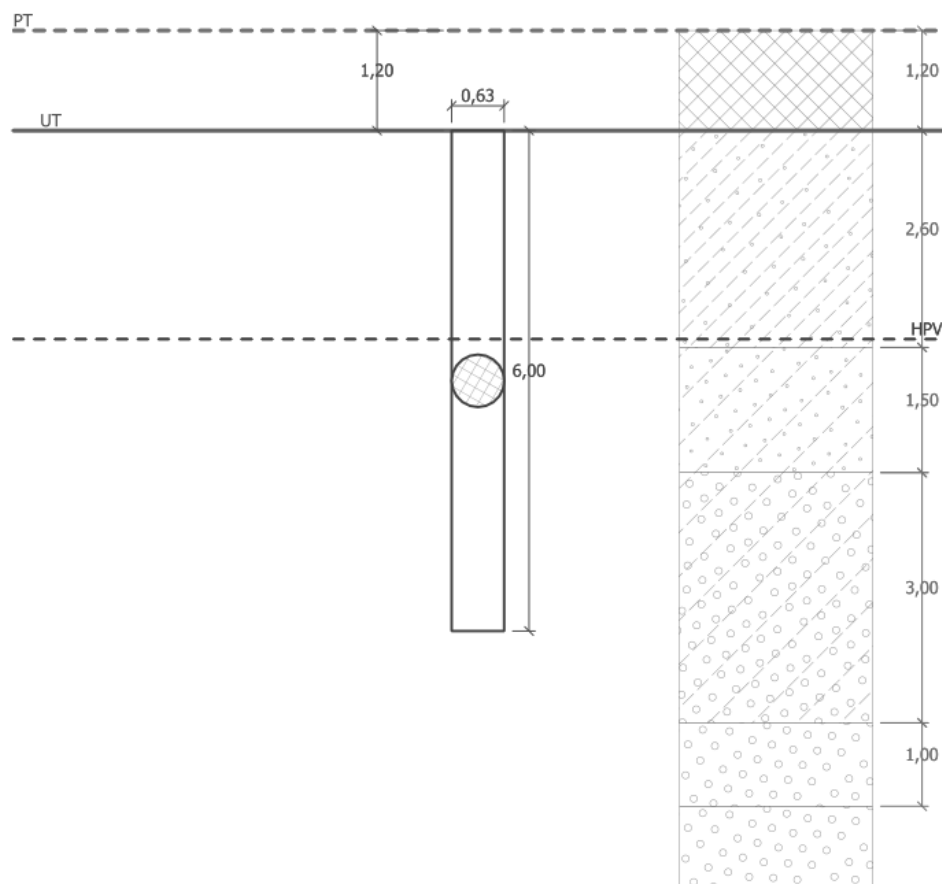
Hloubka deformační zóny $= 2,33 \text{ m}$

Natočení ve směru x $= 3,801 (\tan^*1000)$

Natočení ve směru y $= 0,000 (\tan^*1000)$

Obr. 4-7: Výsledky posouzení patky v programu GEO 5

4.4.2 Výpočet piloty pomocí programu GEO 5



Obr. 4-8: Rozměry pro výpočet v programu GEO 5

Posouzení svislé únosnosti piloty podle teorie MS - výsledky

Výpočet proveden s automatickým výběrem nejnepríznivějších zatěžovacích stavů.

Posouzení tlačené piloty:

Nejnepríznivější zatěžovací stav číslo 1. (Zatížení č. 1)

Únosnost piloty na plášti $R_s = 274,23 \text{ kN}$

Únosnost piloty v patě $R_b = 842,71 \text{ kN}$

Únosnost piloty $R_c = 1116,94 \text{ kN}$

Extrémní svislá síla $V_d = 795,00 \text{ kN}$

$$R_c = 1116,94 \text{ kN} > 795,00 \text{ kN} = V_d$$

Svislá únosnost piloty VYHOVUJE

Obr. 4-9: Posouzení svislé únosnosti piloty v programu GEO 5

Výpočet zatěžovací křivky piloty - výsledky

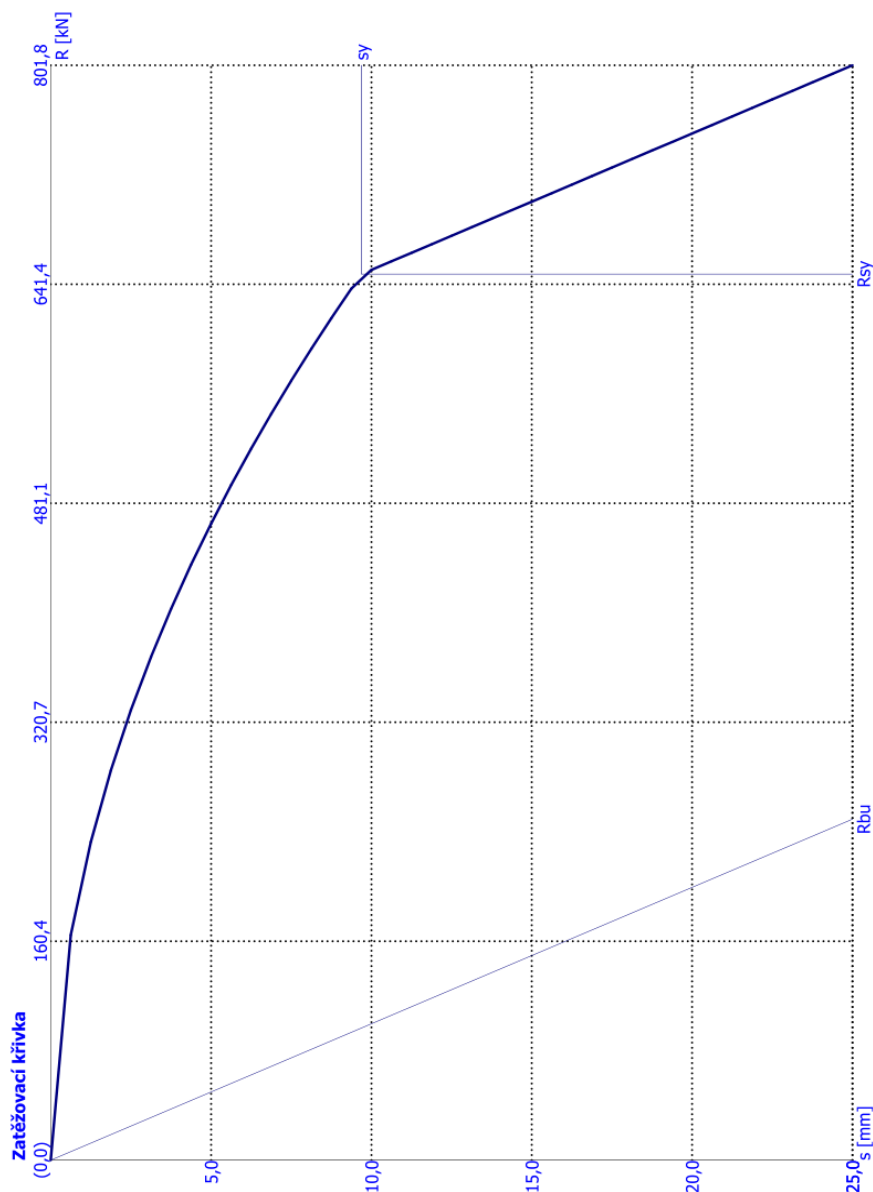
Zatížení na mezi mobilizace plášt'.tření $R_{yu} = 648,89 \text{ kN}$
Velikost sedání odpovídající síle R_{yu} $s_y = 9,7 \text{ mm}$

Únosnosti odpovídající sednutí 25,0 mm :

Únosnost paty $R_{bu} = 249,71 \text{ kN}$

Celková únosnost $R_c = 801,81 \text{ kN}$

Obr. 4-10: Výpočet zatěžovací křivky piloty v programu GEO 5



Obr. 4-11: Mezní křivka z programu GEO 5

4.5 Shrnutí výsledků

4.5.1 Patka

Patka o rozměrech 2,5 x 2,5 x 0,75 m, posouzení na mezní stav únosnosti a použitelnosti s porovnáním výsledků ručního výpočtu a výpočtů z programu GEO 5.

Tab. 4-12: Porovnání výsledků u patky

Patka	Ruční výpočet	Výpočet pomocí GEO 5	Jednotky
σ_d	214,21	208,7	kPa
R_d	586,67	573,08	kN
R_{dh}	569,14	464,35	kN
celkové sednutí	2,8	6,3	mm

4.5.2 Pilota

Pilota o průměru 630 mm, délky 6 m. Výsledky posouzení mezního stavu únosnosti a použitelnosti, porovnání ručního výpočtu s výpočtem pomocí programu GEO5.

Tab. 4-13: porovnání výsledků u piloty

Pilota		Ruční výpočet	Výpočet pomocí GEO 5	Jednotky
Mezní stav únosnosti	U_{fd}	310,85	274,23	kN
	U_{bd}	876,02	842,71	kN
	U_{pd}	1186,87	1116,94	kN
Mezní stav použitelnosti	R_{su}	550,26	552,10	kN
	R_y	647,36	648,89	kN
	s_y	10,67	9,70	mm
	R_{pu}	227,52	249,71	kN
	R_{bu}	777,78	801,81	kN

4.5.3 Ekonomické posouzení

V rámci této práce jsem také provedl menší ekonomické zhodnocení daných způsobů založení. Zaměřil jsem se pouze na přibližné ceny zemních prací a materiálů, které jsou potřebné pro vybudování těchto základů.

Pro patku jsem vycházel z výkopu o rozměrech 2,6 x 2,6 x 1,0 m, což vychází 6,76 m³ s cenou přibližně 300 Kč/m³ se dostaneme na 2028 Kč. Za 4,7 m³ betonu C25/30 při ceně 2300 Kč/m³ zaplatíme 10 810 Kč. Za 36ks profilů R14 betonářské oceli B500 o délce 2,4m s cenou 23Kč/m zaplatíme 1988Kč. Na bednění budeme potřebovat přibližně 11,5 m² s cenou 380Kč/m² zaplatíme 4370Kč. Dohromady 19196 Kč.

Pro pilotu jsem vycházel z ceny 1000Kč/m vrtání piloty. Pilota má průměr 0,63 m a délku 6,0 m, budeme tedy potřebovat přibližně 1,9 m³ betonu se stejnou cenou za m³, jako u patek, zaplatíme 4301 Kč. Za 10ks profilů R18 oceli B500 o délce 6,0m s cenou 38 Kč/m zaplatíme 2300Kč. Porovnání obou variant je uvedeno v následující tabulce:

Tab. 4-14: Porovnání cen obou variant založení

Porovnání ceny v Kč	Patka	Pilota
zemní práce	2028	6000
beton	10810	4301
ocel	1988	2300
bednění	4370	0
Celkem	19196	12601

5 ZÁVĚR

V teoretické části jsou popsány plošné i hlubinné způsoby zakládání staveb. Jsou zde popsány metody, které se dnes již mnoho nevyužívají, i způsoby novější.

Praktická část se zabývala výpočtem vybranými variantami založení tobogánu v areálu městského koupaliště v Jeseníku. Výpočet bez použití softwaru byl proveden podle mezních stavů dle ČSN EN 1997 při použití 2. návrhového přístupu. Pro porovnání výsledků byl proveden výpočet s pomocí programu GEO 5 od firmy Fine.

Základová patka byla navržena o rozměrech 2,5 x 2,5 x 0,75 m. Jako druhá varianta byla navržena pilota o průměru 0,63 m a délce 6,0 m. Obě posuzované varianty ze statického hlediska vyhoví. Vzhledem k blízkosti vodního toku a s přihlédnutím i k hledisku ekonomickému, bych z uvedených variant doporučil realizovat variantu druhou; tobogán bych tedy doporučil založit na výše uvedených pilotách.

Výpočty pomocí programu GEO 5 jsou zdokumentovány v přílohách č. 1 a 2.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Literatura:

- [1] MASOPUST, J. *Navrhování základových a pažících konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997. 1. vyd.* Praha: Informační centrum ČKIT, 2012. 220 s. ISBN 978-80.87438-31-2.
- [2] TURČEK, P. a kolektiv: *Zakládání staveb*. JAGA, Bratislava, 2005. 302 s. ISBN 80-8076-023-3
- [3] MASOPUST, J. GLISNÍKOVÁ, V. *Zakládání staveb, modul M01*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno: 2007, 182s
- [4] MASOPUST, J. *Vrtané piloty. 1. vyd.* [Praha]: Čeněk a Ježek, 1994. 263 s. ISBN 80-238-2755-3.
- [5] WEIGLOVÁ, K. *Mechanika zemin. 1. vyd.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 186 s. ISBN 978-80-7204-507-5.
- [6] ČSN EN 1997-1. ČSN: *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla*. 2006. Praha: ČNÍ

Ostatní:

- [7] GESKON S.R.O. *Základová deska* [online]. [cit. 2015-05-20] Dostupné z: <
<http://www.geskon.cz/reference/zakladova-deska.html>>
- [8] STAZEPO A.S. *Základové patky* [online]. [cit. 2015-05-20] Dostupné z: <
http://www.stazepo.cz/fotogalerie/29_1232010988.JPG>
- [9] BRUTOVSKÝ V. *Stoleté zkušenosti s pilotami FRANKI* [online]. [cit. 2015-05-20] Dostupné z: <
<http://www.asb-portal.cz/fotogalerie/inzenyrske-stavby/stolete-zkusenosti-spilotami-franki-fotoalbum/stolete-zkusenosti-spilotami-franki-1>>

- [10] ZAKLÁDÁNÍ STAVEB, A.S. *Technologický postup provádění piloty průběžným šnekem (CFA)* [online]. [cit. 2015-05-20] Dostupné z: <<http://www.zakladani.cz/cz/piloty>>
- [11] ZAKLÁDÁNÍ STAVEB, A.S. *Charakteristický řez mikropilotou* [online]. [cit. 2015-05-20] Dostupné z: <<http://www.zakladani.cz/cz/mikropiloty>>
- [12] SEZNAM MAPY.CZ. *mapy.cz* [online]. [cit. 2015-05-20] Dostupné z: <<http://www.mapy.cz/zakladni?x=17.1916294&y=50.2270023&z=15>>
- [13] BOKR.P, GEOLOGY.CZ. *Mapové aplikace* [online]. [cit. 2015-05-20] Dostupné z: <http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=544031&x=1051167&s=1>
- [14] GEOLOGY.CZ. *Vrtná prozkoumanost, mapové aplikace* [online]. [cit. 2015-05-20] Dostupné z: <<http://mapy.geology.cz/GISViewer/?mapProjectId=4>>
- [15] NEZNÁMÝ AUTOR, *Jeseník* [online]. [cit. 2015-05-20] Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Jeseník>>
- [16] Geomorfologické členění Česka. In. Wikipedia: The free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Geomorfologické_členění_Česka>

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

I_C	stupeň konzistence
I_D	relativní ulehlost
γ	objemová tíha zeminy
γ'	efektivní objemová tíha zeminy
φ'	efektivní úhel vnitřního tření
c'	efektivní soudržnost (koheze)
c_u	totální soudržnost
U_{vd}	svislá návrhová únosnost
U_{bd}	návrhová únosnost paty piloty
U_{fd}	návrhová únosnost na plášti piloty
k_1	součinitel, vyjadřující zvětšení únosnosti vlivem délky piloty
A_s	plocha paty piloty
R_d	výpočtová únosnost paty piloty v zeminách
γ_b	součinitel redukující únosnost paty piloty
d	průměr piloty
π	Ludolfovo číslo
N_c, N_b, N_d	součinitelé únosnosti
L	délka piloty
γ_1	průměrná efektivní objemová tíha zeminy podél dříku piloty
h_i	mocnost i-té vrstvy zeminy
γ_2	efektivní objemová tíha zeminy pod patou piloty
γ_s	součinitel redukující plášťovou únosnost piloty
f_{si}	tření na plášti piloty
σ_{xi}	kontaktní napětí v i-té vrstvě
γ_{r1}	součinitel vlivu technologie
γ_{r2}	součinitel vlivu působení základové půdy
k_2	součinitel bočního zemního tlaku na piloty
σ_{ori}	původní geostatické napětí
D_i	vzdálenost od hlavy piloty do poloviny i-té vrstvy
R_{bu}	mezní únosnost
R_{su}	mezní únosnost na plášti piloty
R_{pu}	mezní únosnost paty piloty
m_2	dílčí koeficient vyjadřující vliv plochy dříku
q_{si}	mezní plášťové tření v i-té vrstvě
a, b	regresní koeficienty
β	koeficient přenosu zatížení do paty piloty
R_y	zatížení v hlavě piloty na mezi mobilizace plášťového tření
s_y	velikost sedání odpovídající R_y
q_0	napětí na patě piloty při deformaci odpovídající plné mobilizaci plášťového tření
d_0	průměr piloty v patě
e, f	regresní koeficienty
I	příčinkový koeficient sedání piloty
I_1	základní příčinkový koeficient

R_k	korekční součinitel
K	tuhost
E_s	průměrná velikost sečnového modulu deformace zemin podél dříku piloty
E_{si}	sečnový modul deformace i-té vrstvy zeminy
s	sedání
s_{25}	sedání rovno 25 mm
R_d	únosnost piloty
V_d	extrémní návrhová síla

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1: Základová deska [7]	9
Obr. 2-2: Základový rošt [3]	10
Obr. 2-3: Základový pás [2]	10
Obr. 2-4: Základová patka pod sloupem [2]	11
Obr. 2-5: Základové patky [8].....	11
Obr. 3-1: (a) Schéma studně: 1- osazení studně, 2- spouštění studny podhrabáváním břitu, 3- hotový studňový základ; (b) schéma kesonu: 1- osazení kesonu na bárku, 2- spouštění kesonu pod hladinu vody na závěsech, 3- práce v kesonu, 4- hotový základ [3]	13
Obr. 3-2: Evropská klasifikace pilot [1].....	14
Obr. 3-3: Rozdělení pilot podle způsobu přenášení zatížení do základové půdy [autor]	15
Obr. 3-4: Provádění pilot Franki [10]	18
Obr. 3-5: Tvary dříků vrtaných pilot: a – konstantní průřez, b – teleskopický dřík, c – rozšířená pata, d – rozšířený dřík[3]	19
Obr. 3-6: Definice sklonu pilot [3].....	20
Obr. 3-7: Technologický postup provádění piloty průběžným šnekem (CFA): 5a) zahájení vrtání, 5b) dokončení vrtání v projektované hloubce, 5c) betonáž piloty za současného vytahování průběžného šneku, 5d) vkládání armokoše do čerstvě vybetonované piloty, 5e) dokončení piloty [10]	26
Obr. 3-8: Technologický postup provádění mikropilot: 2a) zhotovení vrtu rotační technologii, 2b) vytahování vrtného nářadí a vyplnění vrtu zálivkou, 2c) osazování výztužné silnostěnné ocelové trubky, 2d) injektáž kořenové části mikropiloty, 2e) hotová mikropilota. [11]	27

Obr. 3-9: Charakteristický řez mikropilotou [11]	29
Obr. 4-1: Poloha staveniště [12]	30
Obr. 4-2: Geologická mapa [13]	33
Obr. 4-3: Vrtný průzkum v lokalitě [14].....	35
Obr. 4-4: Mezní zatěžovací křivka piloty [autor].....	47
Obr. 4-5: Rozměry pro výpočet v programu GEO 5.....	49
Obr. 4-6: Základní parametry zemin GEO 5.....	49
Obr. 4-7: Výsledky posouzení patky v programu GEO 5.....	50
Obr. 4-8: Rozměry pro výpočet v programu GEO 5.....	51
Obr. 4-9: Posouzení svislé únosnosti piloty v programu GEO 5	51
Obr. 4-10: Výpočet zatěžovací křivky piloty v programu GEO 5	52
Obr. 4-11: Mezní křivka z programu GEO 5	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1: Průměry varných a spojovatelných pažnic spolu s vrtným nářadím (v mm) [1]	22
Tab. 3-2: Minimální vyztužení železobetonových vrтанých pilot a příčná výztuž [1] ...	23
Tab. 3-3: Složení čerstvého betonu [1]	24
Tab. 3-4 : Požadavky na zpracovatelnost čerstvého betonu při různých podmínkách betonáže [1].....	24
Tab. 4-1: Laboratorní rozbor podzemní vody	34
Tab. 4-2: Agresivita vody dle ČSN 038375 – ochrana kovových potrubí uložených v půdě ve vodě proti korozi.....	34
Tab. 4-3: Chemické působení podzemní vody dle ČSN EN 206 – 1 – Beton – část 1: Specifikace, vlastnost, výroba a shoda.....	35
Tab. 4-4: Vrtný průzkum [14].....	36
Tab. 4-5: Dílčí součinitelé zatížení [1].....	37
Tab. 4-6: Dílčí součinitelé zatížení [1].....	37
Tab. 4-7: Dílčí součinitelé únosnosti [1].....	38
Tab. 4-8: Parametry zemin.....	38
Tab. 4-9: Výpočet sedání základové patky	42
Tab. 4-10: Regresní koeficienty a mezní plášťové tření i-té vrstvy [1]	45
Tab.4-11: Hodnoty sedání.....	46
Tab. 4-12: Porovnání výsledků u patky	53
Tab. 4-13: porovnání výsledků u piloty	53

Tab. 4-14: Porovnání cen obou variant založení.....	54
---	----

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výpočet základové patky pomocí programu GEO 5

Příloha 2: Výpočet piloty pomocí programu GEO 5