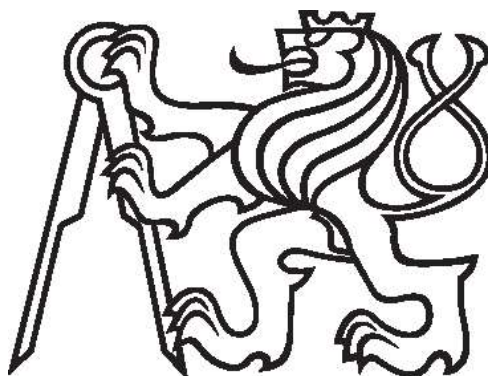


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra geotechniky



Využití BIM modelování v geotechnice

Implementation of BIM modelling in geotechnics

leden 2021

Diplomant: Bc. Anežka Brejchová

Vedoucí práce: Ing. Jan Ježek

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracovala sama s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používala jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 11.1. 2021

.....

podpis diplomanta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Brejchová Jméno: Anežka Osobní číslo: 458979
 Zadávající katedra: K 135 Katedra geotechniky
 Studijní program: Stavební inženýrství
 Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Využití BIM modelování v geotechnice

Název diplomové práce anglicky: Implementation of BIM modelling in geotechnics

Pokyny pro vypracování:

Studentka provede rešerši stávajících přístupů v BIM modelování ve vztahu k problematice založení pozemního objektu požární zbrojnice Hlavenec. Doplní stávající BIM model objektu ve formátu *.rvt o část založení objektu - piloty. Hlubinné základy budou navrženy a posouzeny statickým výpočtem, jejich následné dimenze budou obsaženy v BIM modelu.

Dále studentka popíše problematiku modelování BIM ve vztahu ke geotechnickým úlohám. Součástí DP bude i seznámení se s nejnovějšími trendy používané v rámci evropských zemí.

Seznam doporučené literatury:

Masopust J. Speciální zakládání staveb 1.-2. díl (akademické nakladatelství CERM, 2006)

Masopust J. Rizika prací speciálního zakládání staveb (IC ČKAIT, 2011)

Masopust J. Navrhování základových a pažicích konstrukcí příručka k ČSN EN 1997-1 (IC ČKAIT, 2019)

Kummerer, C./Zöhrer, A./Böhle, B. BIM-Erfahrungen als Spezialtiefbauunternehmung bei Infrastrukturprojekten in Großbritannien und Kontinentaleuropa

Steinkrauß, T. Building Information Modeling im Erdbau – Eine Potentialanalyse im Spezialtiefbau; Bachelorarbeit

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jan Ježek

Datum zadání diplomové práce: 1.10.2020 Termín odevzdání diplomové práce: 3.1.2021
 Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


 Podpis vedoucího práce


 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

5.10.2020

Datum převzetí zadání


 Podpis studenta(ky)

Anotace:

Diplomová práce se zabývá implementací BIM metody do praktické geotechnické úlohy, a to konkrétně do návrhu hlubinného založení požární stanice Hlavenec.

Specifikum geotechnického oboru je interakce stavby s geologickým prostředím. Práce se zabývá obecným přehledem užití BIM metody a její standardizace s ohledem na geotechnické úlohy a na „Koncepti zavádění metody BIM v ČR [MPO ČR]“ od roku 2022. Popisuje současný stav užití této metody v rámci projektování jak v ČR, tak i v zahraničí. V závěru teoretické části je práce zaměřena na tvorbu 3D geologického prostředí a následně jeho vložení do modelu celku.

V praktické části DP je věnována pozornost aplikace vytvořeného 3D modelu geologického podloží v SW Stratigrafie do BIM objektu svrchní stavby zpracovaného v SW Revit. Práce popisuje proces sloučení těchto modelů a následně využití výsledného celku v rámci důležitých doplňujících informací jako jsou např. výkazy výměr prvků hlubinného založení, geomechanické vlastnosti zemin apod., které úzce souvisí s geologickým podložím. Součástí práce je i vlastní geotechnický návrh založení.

Cílem práce je představit zvláštnosti užití BIM metody v rámci geotechnického oboru stavebnictví. Dále je cílem DP popsat způsob implementace podloží do modelu svrchní stavby. V závěru je provedeno zhodnocení výsledků práce a v rámci diskuse navržení řešení a vylepšení dané problematiky pro budoucí využití.

Klíčová slova:

Metoda BIM; Revit; stratigrafie; hlubinné založení; geologický model; hasičská zbrojnice Hlavenec

Abstract:

This thesis evaluates the implementation of BIM method into a practical geotechnical project – specifically, into the design of deep foundations of the Hlavenec fire station.

The basis of the geotechnical field is the interaction of a structure with geological environment. The thesis includes the general overview of the use of BIM method and its standardisation with respect to geotechnical projects and the “Concept of implementation of the BIM method in the Czech Republic [MPO CR]” from the year 2022 onwards. It describes the current stage of use of this method both in the Czech Republic and abroad. At the end of the theoretical part, the thesis is focused on creating the 3D model of the geological environment and its input into the overall model.

The practical part of the thesis is focused on the use of 3D model of geological subsoil created in the Stratigraphy software and the input of this model into BIM to combine it with the superstructure created in the Revit software. The thesis describes the process of combining these models and further use of the final output in terms of important complementary information such as properties and dimensions of the individual elements and their quantities as well as the geomechanical properties of soils that are closely related to geological subsoils. Part of the thesis is an individual design of geotechnical foundations.

The aim of the thesis is to present the emerging technology of using BIM method in terms of geotechnical field of civil engineering. Further aim of the thesis is to describe the process of implementing the subsoil model into the overall model, which contains the superstructure. The analysis of the results is carried out at the end of the thesis, followed by the discussion of recommended solutions and the potential of improvement of the overall method for future utilization.

Key words:

BIM Method; Revit; Stratigraphy; Deep foundations; Geological model; Hlavenec fire station

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Janu Ježkovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat firmám Keller, speciální zakládání spol. s r.o., Obermeyer Helika a.s., Geotechnika a.s. za poskytnuté podklady.

V Praze dne 11. 1. 2021

.....

podpis diplomanta

Obsah

1	Úvod.....	9
2	BIM.....	10
2.1	Využití BIM.....	12
2.2	Software pro navrhování staveb v BIM.....	12
2.2.1	Revit.....	13
2.3	Koncepce BIM 2022.....	13
2.4	Nevýhody BIM.....	14
3	BIM a geotechnika.....	15
3.1	Využití BIM v geotechnice.....	15
3.2	Specifikace BIM v geotechnických úlohách.....	16
3.3	Problematika zavedení geologického prostředí do 3D BIM modelu.....	17
3.4	Knihovny prvků.....	19
3.5	Zahraníční zkušenosti s BIM.....	21
3.5.1	Victoria Station v Londýně.....	22
3.5.2	Marble Arch Place.....	24
3.5.3	Thames Tideway Blackfriars drop shaft.....	24
3.6	CzBIM a vzdělávání BIM na ČVUT.....	25
4	Požární zbrojnice, Hlavenec.....	28
4.1	Popis stavby.....	28
4.2	Inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry v zájmovém území.....	28
4.2.1	Morfologické a geologické poměry.....	28
4.2.2	Hydrogeologické poměry.....	30
4.2.3	Geotechnické vlastnosti zemin a hornin.....	31
4.3	Tvorba geologického modelu.....	31
4.3.1	Geologický model.....	31
4.3.2	Převod dat z geologického modelu.....	33
4.4	Návrh pilotového založení.....	36
4.4.1	Základní popis konstrukce hlubinných základů.....	36
4.4.2	Popis metodiky statického výpočtu pilot.....	37
4.5	Model založení v Revitu.....	52
5	Závěr.....	55
	Seznam obrázků.....	57
	Seznam tabulek.....	59
	Seznam příloh.....	60

Reference.....	61
----------------	----

1 Úvod

V rámci zavedení použití BIM metody v projektování od roku 2022 v ČR se zaměřuji ve své diplomové práci na dílčí problematiku této metody v oboru geotechnika.

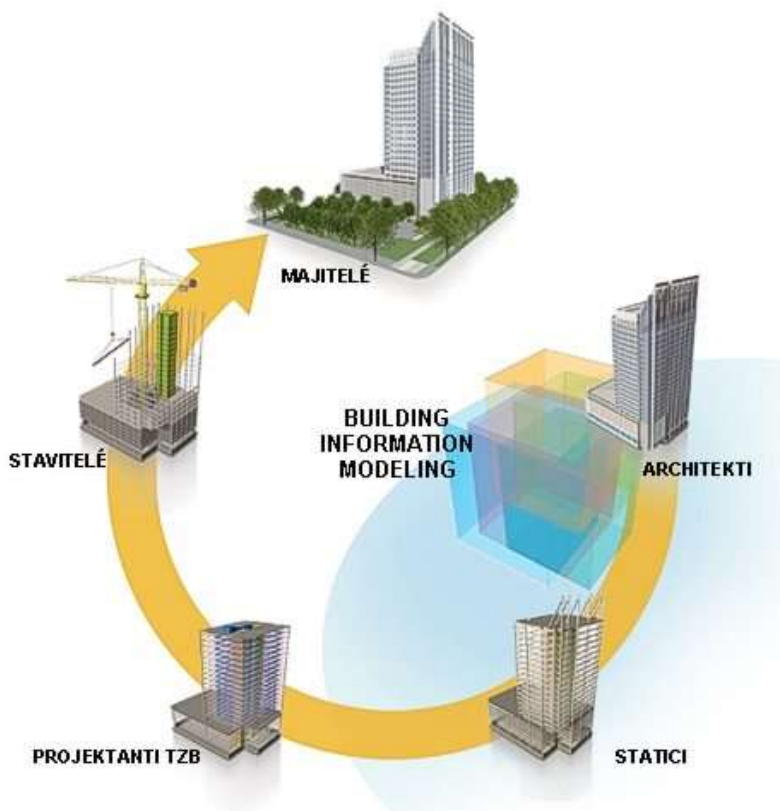
V první teoretické části diplomové práce představuji současný stav užití BIM metody v západních zemích a dostupnost normových ukotvení a metodik i s ohledem na zvláštnosti v geotechnickém inženýrství. Tato část práce obsahuje obecný popis tohoto přístupu projektování, jeho praktické využití, a především specifikuje možnosti a trendy, kam se tato koncepce ubírá. Dále popisují současný stav obecného využívání těchto postupů v České republice. Snažím se shrnout výhody a nevýhody tohoto přístupu návrhu konstrukcí. Hlavním úskalím vytváření BIM ve standardních komerčních softwarech spatřuji v jejich mnohokrát nedostatečnosti jednoduchého užití pro geotechnické úlohy. V závěru této části DP se snažím obecně popsat vytvoření modelu reálného geotechnického prostředí a jeho nezbytnost pro účel užití BIM metodiky v procesu návrhu interakce mezi svrchní stavbou a jejím podložím. V neposlední řadě představuji 3 zahraniční geotechnické úlohy vypracované komplexně metodou BIM. Na těchto představených zahraničních projektech se snažím o nástin porovnání situace v zahraničí a v ČR.

V druhé praktické části diplomové práce představuji proces vytváření modelu v rámci hlubinného založení požární stanice Hlavenec. Tento objekt má dvě podlaží a jedná se železobetonovou monolitickou konstrukci, jehož svrchní stavba byla vypracována v BIM softwaru Autodesk Revit. Tento podklad jsem využila pro praktický návrh hlubinného založení, tj. vyprojektování délky, průměru a vyztužení jednotlivých typů pilot standardní analytickou metodou dle doc. Masopusta. Pro provedení tohoto návrhu jsem vytvořila 3D geologický model podloží v softwaru Geo 5 - Stratigrafie na základě skutečně provedeného inženýrsko-geologického průzkumu prostředí. Ve své práci prezentuji proces vytváření takového modelu, jeho následné zpracování a popisují postup, jak tento model implementovat do prostředí softwaru Revit. Výsledkem tohoto postupu prezentuji nadále ve vlastním statickém návrhu pilot.

V závěru diplomové práce prezentuji výsledek práce, navrhuji možnosti dalšího vývoje a nastiňuji možné směry či vylepšení pro lehčí aplikaci BIM softwaru v projekci geotechnických úloh. Zároveň je součástí výsledků prezentace vlastního geotechnického návrhu hlubinných základů požární zbrojnice a nedělitelnou součástí jsou také nezbytné výstupy z BIM softwaru – situace pilotového pole, návrh výztuže pilot a statický posudek.

2 BIM

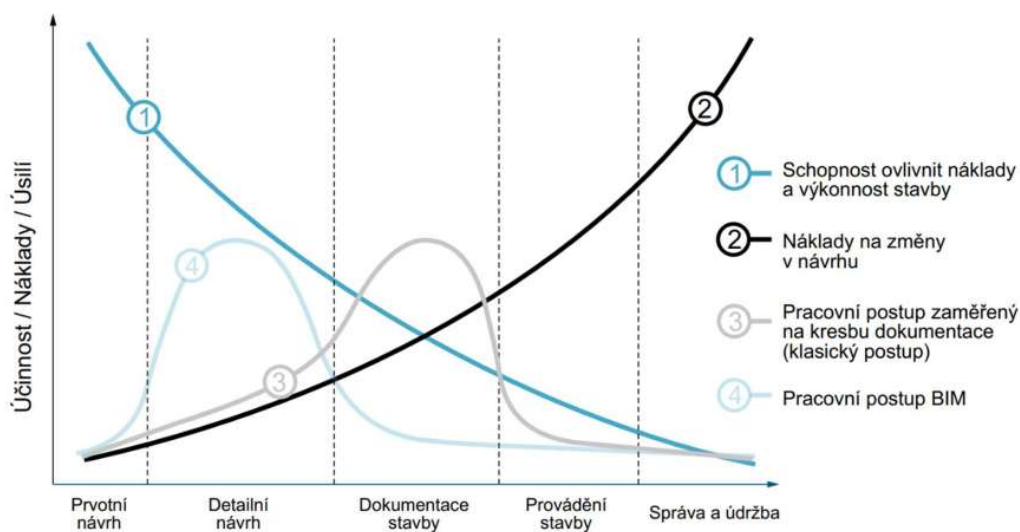
Od prvotního návrhu až k finální realizaci stavby projde projekt dílčí úpravou ze strany různých profesí. Také projde mnohými změnami, které se musí koordinovat, a které se mnohdy dostávají vzájemně do kolize. Není to tedy projekt jednoho člověka, ale skupiny lidí, kteří předávají a aplikují svoje odborné znalosti tak, aby výsledné dílo bylo možno zrealizovat a následně mohlo plnit záměr pro který bylo postaveno. Kvůli záměru usnadnění spolupráce jednotlivých účastníků stavebního procesu byla vytvořena metodika BIM (Building Information Model). Lze taktéž k nastávajícímu trendu projektování konstatovat, že stavebnictví prochází velkou změnou. Je to dostupný proces digitalizace stavebnictví.



Obrázek 2.1 Životní cyklus stavby [1]

Snahou BIM je zefektivnit práci tak, aby se proces výstavby, co nejvíce urychlil. S tím jsou spojené i výrobní náklady na proces výstavby, u níž je snahou o jejich co nejefektivnější minimalizaci. Neposlední řadě se dbá i na životní prostředí, které je ovlivňováno výstavbou. Snahou je eliminovat maximálně negativní dopad na něj. Aby bylo možné tohoto stavu docílit, musí být BIM správně pochopen. Je nutné si uvědomit si, že se nejedná jen o 3D model, ale že každý prvek, z kterého se model skládá, nese svoji informativní hodnotu. Cílem je vytvořit prvek, který bude mít dostatek informací pro každou profesi. [2]

Na obr. 2.2 je vidět, že náklady při detailním návrhu jsou nejvyšší. Důvodem je, že čas strávený návrhem v BIM je delší než při standardním projektování. Za to se eliminují kolize, možná vzniklá rizika při realizaci stavby a tvorba dokumentace stavby se urychlí. Výsledkem je, že na začátku projektování je nutno vynaložit vyšší náklady, ale v celkových sumách výdajů po dokončení stavby jsou náklady nižší.



Obrázek 2.2 MacLeamyho křivka [3]

BIM se dá rozdělit podle jednotlivých úrovní podle množství informací, které obsahují:

- 3D BIM – model přidaný o grafické a negrafické informace.
- 4D BIM – do modelu přidána hodnota času. S jednotlivými účastníky stavebního procesu je stavba analyzována a hledají se kritické body výstavby: logistické dodávky. Snahou je co nejvíce snížit rizika kolizí v časových souslednostech.
- 5D BIM – model je doplněn o cenu. Pomocí vytvoření kalkulací a výkazů v modelu je snahou o úsporu nákladů a trvalou udržitelnost budovy.
- 6D BIM – další věcí, o kterou může být BIM rozšířen je částí týkající se životního cyklu stavby z pohledu správy od dokončení výstavby, přes užívání objektu až po jeho demolici.
- 7D BIM – „Někdy bývá jako "6D" označován pohled spotřeby energie a jako "7D" pak pohled Facility management.“ [4]



Obrázek 2.3 BIM dimenze [5]

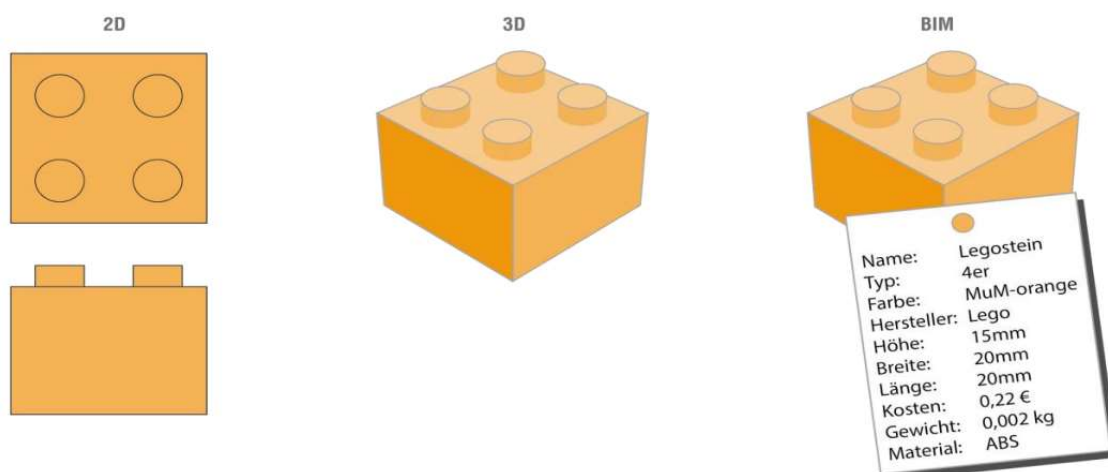
2.1 Využití BIM

BIM je hlavně o spolupráci jednotlivých účastníků stavebního procesu, díky níž se jednotlivé části dokumentace prováží a dosáhne se požadovaného zefektivnění. Jedním ze základních využití je sdružit jednotlivé účastníky a dojít k společné spolupráci a důvěře. Pro ukázkou využití se může vyjmenovat, že:

- BIM umožňuje vytvořit prostředí, ve kterém budou všechny potřebné informace na jednom místě. Díky němu můžeme snadněji kontrolovat jednotlivé fáze projektu a nákladů s tím spojené.
- V průběhu stavebního procesu je stavba mnohokrát připomínkována a zde se vytváří prostor pro snadnější úpravu a zaznamenání jednotlivých změn, na které se lze poté zpětně podívat.
- Je zde možnost snadnější komunikace mezi statikem a projektantem.
- Těž při vytváření analytického modelu, jak z hlediska statiky nebo energetiky, může dojít k rychlejšímu vytvoření a následně lepšímu zpracování.
- Dále se můžeme bavit o využití např. při vytváření rozpočtů, kdy se mohou snadněji vytvářet cenové varianty, díky snadnější klasifikaci prvků. [6]

2.2 Software pro navrhování staveb v BIM

Softwarů, které se využívají ve stavebnictví pro BIM, je nespočet. Asi prvně by se měl uvést rozdíl mezi tradičními CAD aplikacemi, které jsou založené na 2D kreslení nebo případné vytváření 3D objektů. Na rozdíl od tradičních CAD softwarů, BIM software vytváří tzv. inteligentní prvky informačního modelování. Jednotlivé prvky o sobě nesou informace. Rozdíl BIM od tradičního způsobu projektování je vidět na obrázku 2.4. Veškeré úpravy, které se v modelu provedou, se prokreslí do dalších souvisejících částech modelu. Tento aspekt napomáhá pak k lepší koordinaci s projektem, přesnějším popisům jednotlivých konstrukcí, anebo třeba usnadnění vysvětlení problematiky pro investora stavby, nebo jednotlivým členům projekčního týmu. [1]



Obrázek 2.4 Ukázka rozdílu BIM od tradičního způsobu projektování [7]

Programy by se daly rozdělit podle účelu stavby, jestli se např. jedná o dopravní stavbu nebo administrativní budovu. Pro pozemní stavby se používá programy, jakou jsou Revit od Autodesku,

Archicad od Graphisoft dále pak Tecla nebo Allplan. Pro dopravní stavby je využíván program např. Civil 3D od Autodesku.

Rozdílné používané programy budou i podle časové fáze, v které se stavba nachází a o jak propracovaný model se jedná z hlediska úrovní dimenzí. V prvních fázích návrhu bude zapotřebí udělat 3D BIM model a posléze jsou zapotřebí programy, kdy se model rozšíří o prostor 4D BIM a dále o další prostory. Mezi programy, které umožňují vložit do modelu čas, je např. Navisworks od Autodesku.

Programy se tedy liší v prostředí, v kterém se projekt vytváří a tím, jak jsou vhodné pro jednotlivé profese. Dále se liší podporou pro převod projektu do jiného programu, pořizovací cenou, snadností naučení se v programu a dalšími faktory, které jsou rozhodující pro danou projekční, statickou nebo realizační firmu, aby si daný software zakoupila. Záleží už na jednotlivých stavebních firmách, aby si stanovily, který produkt je pro ně nejvýhodnější. [8]

Mnou zvolený software je Revit, který je ve stručnosti níže popsáný.

2.2.1 Revit

Člen skupiny Autodesk, který nabízí možnost kromě 3D modelu vytváření i BIM modelu. Jeho velkou výhodou je podpora převádění projektů do jednotlivých programů, ať se již jedná o programy přímo od Autodesku anebo např. výpočetní programy jako je Scia Engineer nebo Dlubal. Jeho využití je vhodné v celém rozpětí od konceptu až po realizaci stavby, a to díky mnoha funkcím, které Revit nabízí. Pro lepší spolupráci mezi jednotlivými členy týmu při vytváření projektu je přidružená služba BIM 360 Design (cloudová služba), díky níž projektanti, statici a další mají možnost se lépe zorientovat v projektu. [9, 10]

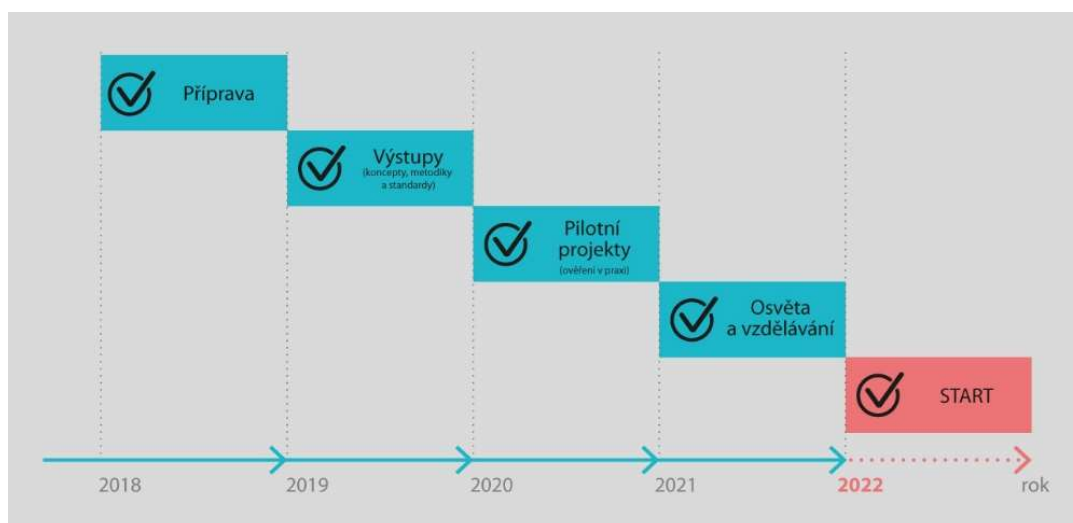
Stavební prvky (stěny, okna, dveře, základy apod.) ze kterých se skládá objekt, se zde nazývají jako tzv. „rodiny“. V šabloně softwaru (prostředí pro projektování, které si uživatel může nastavit podle sebe) nabízené od Revitu není obsaženo mnoho stavebních prvků. Může se to zdát jako nevýhoda, ale při lepší znalosti programu si uživatel vytvoří svoje rodiny dle své potřeby. Je zde i možnost použít předem vytvořené rodiny od výrobců nebo najít rodiny na stránkách zabývajících se BIM. Z hlediska geotechniky nejsou ale rodiny prozatím dostupné od výrobců ani na webových stránkách se neobjevují. Je nutno si je tedy vytvořit. O tvorbě rodiny pro projektování geotechnických konstrukcí bude popsáno více v kapitole 3.4.

2.3 Koncepce BIM 2022

„Tato Koncepce byla zpracována na základě usnesení vlády č. 958, o významu metody BIM (Building Information Modelling) pro stavební praxi v České republice a návrh dalšího postupu pro její zavedení, ze dne 2. listopadu 2016. Vláda v něm vyjádřila podporu zavádění metody BIM v ČR v souvislosti s jejím vlivem na růst ekonomiky a konkurenceschopnosti ČR a uložila Ministerstvu průmyslu a obchodu (MPO), za podpory ostatních ministerstev, zpracovat Koncepci zavádění metody BIM v České republice.“ [11]

„Na vlastním zpracování Koncepce se kromě MPO podílelo zejména Ministerstvo dopravy (MD), resp. Státní fond dopravní infrastruktury (SFDI) a dále experti Odborné rady pro BIM z.s. (CzBIM). Koncepce byla konzultována se širokou skupinou zainteresovaných stran zastoupených v Meziúčetní expertní skupině pro BIM (MES BIM), která byla ustavena při MPO.“ [11]

Koncepce byla rozdělena do pěti období, kdy snahou je připravit stavebnictví na nástup BIM modelování v sektoru veřejných zakázek ve výše zmíněné časové etapizaci. Není předpokladem, že v roce 2022 dojde k razantním změnám, ale postupným procesem se bude vytvářet právní rámec a zavádět BIM. [11]



Obrázek 2.5 Stěžejní témata pro jednotlivé kroky [11]

2.4 Nevýhody BIM

BIM poskytuje mnoho výhod jako už zmíněné úspory nákladů a času, usnadnění komunikace mezi jednotlivými účastníky, snadnější koordinace a podobně. Ale za těmito několika zmíněnými výhodami jsou i nevýhody, které BIM bohužel má.

Jedna z hlavních nevýhod, s kterými se současný trh stavebnictví potýká je nedostatek odborníků v oblasti BIM. Nedostatkem trpí jak praxe, tak i akademická půda, která by budoucí odborníky na BIM měla připravovat. Chybí odborníci, kteří by zvládali koordinovat projekt mezi jednotlivými profesemi. [12]

V důsledku tlaku na nejnižší cenu projekčních prací a v kombinaci s tím, že první fáze návrhu BIM modelu je časově náročnější oproti tradičnímu navrhování 2D dokumentace, se pak může ve výsledku projevit na snížení kvalitě návrhu. Bohužel díky tomu se nemůže hned od začátku najít nejlepší optimální varianta, která by snížila celkové náklady na provedení takového návrhu. [12]

Dalším problémem může být samotná neochota projektantů nebo samotných stavebních firem vypořádat se se skutečností, že časová náročnost naučení se v programech zabývajících se BIM a s tím spojené zvýšené náklady na provoz firmy determinují zpomalení procesu přechodu na BIM metodiku projektování. Dalším negativním faktorem může být pořizovací cena programů, která pro některé malé firmy je příliš vysoká. [12]

V neposlední řadě také chybí stavebním firmám právní rámec, o který by se při navrhování mohly opřít. Nejsou vytvořené normy, dostatečné standardy a národní knihovny. Otázkou je, kdo vlastně bude zodpovídat za celkový model a jeho správnost? Kdo je vlastníkem veškerých informací vložených do modelu? [12]

Zavádění BIM je složitý proces, kterým stavebnictví prochází, ale postupným vzděláváním v této oblasti, zlepšením povědomí o této metodě a vytvořením potřebných norem, může velká část nevýhod vymizet.

3 BIM a geotechnika

V současné době je na stavebnictví kladený velký tlak z hlediska nákladů, a proto se hledají nové možnosti, jak optimalizovat a docílit tak snížení nákladů. Jedna z možností optimalizace je BIM, a právě tímto spojením „BIM a geotechnika“ se tato kapitola zabývá.

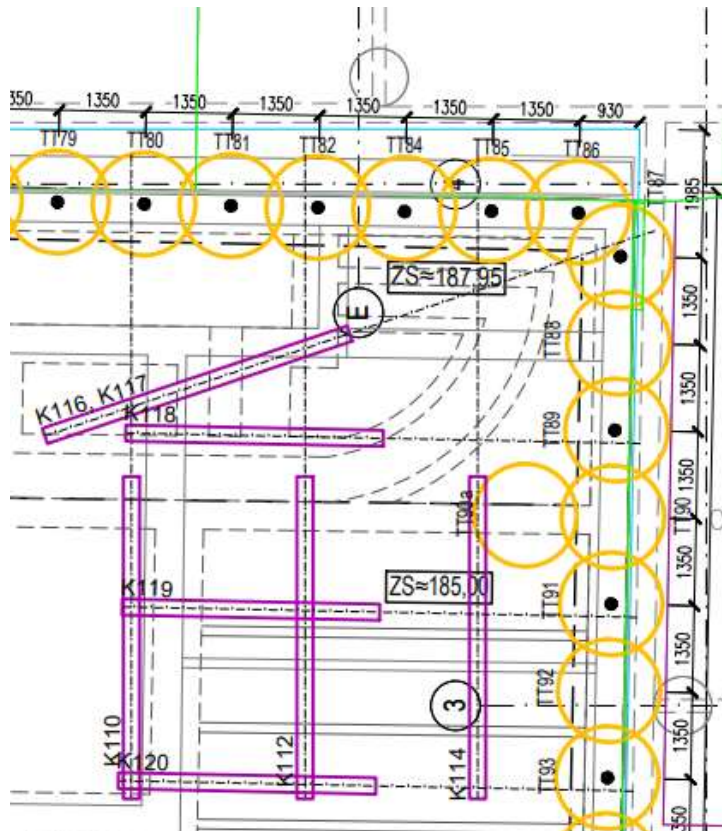
3.1 Využití BIM v geotechnice

Aby geotechnická úloha byla úspěšně implementována, je za potřebí, aby bylo dosaženo spolupráce mezi všemi zúčastněnými stranami. Bez včasného dodání veškerých potřebných informací není možno dosáhnout kvalitního BIM projektu. Je nutno, aby investorem byly stanoveny rámcové podmínky. Toto se týká obecně jakýkoliv konstrukcí, ale níže je popsáno čeho se dá dosáhnout u geotechnických konstrukcí při dodržení stanovených podmínek. [13]

Některá využití jsou obecně použitelné na jakoukoliv konstrukci, ale vybrané následující příklady jsou určeny čistě pro geotechnické konstrukce.

Kontrola kolizí

- U dočasných i stálých konstrukcí je nutno kontrolovat, zda se nedostávají mezi sebou do kolize. Častým případem je např. kolize u kotev, kdy je nutno ohlídat jejich úhly. Dalším problémovým místem může být styk se stávající konstrukcí a nově navrženou. Další faktor, který se v rámci kontroly kolize musí ohlídat, je výrobní tolerance a zda se nově navržená konstrukce nestýká se stávajícími objekty. [13]



Obrázek 3.1 Astrid Centre I. etapa – místo, kde bylo nutné zkontrolovat kolizi mezi kotvami.

Geomechanické vlastnosti hornin a zemin ve výpočtu

- Cílem je vytvořit geologický model, který by obsahoval potřebné parametry pro statický výpočet geotechnických konstrukcí. Model by měl tvořit geometrické rozhraní jednotlivých vrstev hornin a zemin a dále obsahovat jejich geologické, hydrogeologické a geomechanické vlastnosti potřebné pro kontrolu správnosti návrhu. [13]

Tvorba výkazů výměr a tabulek prvků

- Tvorbou modelu se usnadní vytváření výkazů výměr, díky níž se snadněji určí množství jednotlivých prvků. Dále jednotlivé prvky mohou být doplněny souřadnicemi, materiálem a délkou vrtů, jak celkovou, tak i tzv. hluchou délkou apod. Dle typu dokumentace (DSP, DPS atd.) se množství informací stupňuje. [13]

Kontrola skutečného provedení

- Při provádění geotechnických konstrukcí musí být kladen velký důraz na technologickou kázeň. Do toho v jednotlivých fázích výstavby musí být konstrukce monitorovány a kontrolovány např. jejich posuny, zdali se nacházejí v předem stanovené odchylce. BIM model umožňuje snadněji tyto hodnoty porovnávat s navrženým modelem. [13]
- Dalším významným využitím je kontrola těsnění geotechnické konstrukce proti průniku vody (např. těsnění stavební jámy pomocí tryskové injektáže)

Tvorba harmonogramu výstavby

- Tvorbou harmonogramu výstavby se zkontroluje, zda daný návrh stavby je proveditelný. Proces výstavby se dá snadněji optimalizovat, ušetřit na čase, předejít rizikovým místům a zhodnotit, jaká varianta návrhu je nejekonomičtější. [13]
- Podrobnost harmonogramu může být na celé konstrukce (např. záporová stěna) nebo rozdělena na jednotlivé prvky (tzv. délka trvání provedení jedné zápor). [13]

3.2 Specifikace BIM v geotechnických úlohách

Podloží je heterogenní materiál, který je těžko předvídatelný a vysoce variabilní. Situaci komplikuje i lidská činnost, kdy se podloží mění časem v důsledku lidské činnosti (např. navážkami nebo sítěmi v zemině, které v husté zástavbě mohou značně omezovat výstavbu). [14]

V současné době obvykle BIM model neobsahuje nebo jen velmi omezeně informace o podloží a v rámci plánování a realizace stavby data ohledně geotechniky v BIM modelu chybí. Je to ale velký kontrast oproti podstatě geotechnických konstrukcí. Ty totiž nesou velké riziko a jsou nejčastějším důvodem zpoždění stavby. Případné opravy geotechnických konstrukcí jsou velmi nákladné a často špatně proveditelné. Mělo by být v zájmu jak investora, tak i firem zabývajících se geotechnikou, aby data jako např. geologické a hydrogeologické vlastnosti a informace o samotných geotechnických konstrukcích byly zahrnuty do BIM modelu a byly tak jeho nedílnou součástí. [14]

Vytvořením kvalitního BIM modelu se geotechnické konstrukce mohou optimalizovat a předem odhalit kritická místa. Dále kladení velkého důrazu na technologické zásady a koordinace výstavby s vytvořeným harmonogramem v BIM (tzv. 4D model) může docílit požadovaného snížení času výstavby a i celkových nákladů.

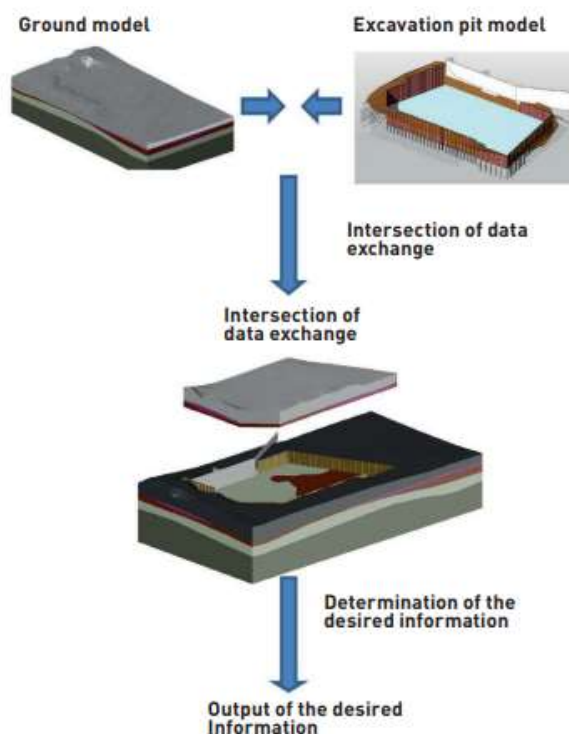
Jak už bylo zmíněno, u geotechnických konstrukcích má být kladen velký důraz na technologické zásady. Konstrukce je nutno monitorovat. Technologický pokrok strojů používaných při provádění geotechnických konstrukcí umožňuje sbírání velkého množství geotechnických dat. Při velkém množství dat je komplikované jejich zpracování. Při ručním zadávání těchto dat do BIM modelu může být značně zdlouhavé a tím pádem kontraproduktivní. Snahou by proto mělo být tento proces zautomatizovat. [14]

Pro zaznamenání geotechnických dat je nutno mít na stavbě stroje, které jsou vybaveny palubními počítači. Snahou je následně data automaticky zasílat do BIM modelu vytvořeného v Revitu. [14]

Pro tento proces zavádění práce s daty už je nutná velká znalost IT a vybavenost firmy moderními přístroji. Je to ukázka toho, jakou mají v BIM výhodu velké nadnárodní firmy, protože mohou vynaložit nemalé prostředky pro vývoj firmy v oblasti BIM.

3.3 Problematika zavedení geologického prostředí do 3D BIM modelu

Geologický model by měl obsahovat data o povrchu z hlediska nadmořské výšky, která budou vycházet z pevně stanovených bodů terénu. Ty byly přesně geodeticky zaměřeny a následně vloženy do BIM modelu. Dále by měl model charakterizovat lokalitu z hlediska inženýrskogeologických vlastností. [13]



Obrázek 3.2 Ilustrace spojení geologického modelu s navrženou geotechnickou konstrukcí [13]

Pro zaměření terénu je možno použít laserové skenování. Velké množství bodů, které laser naměří, je nutno zjednodušit tak, aby se s ním dalo snadněji pracovat (ideální max. rozteč je 1 metr). Při laserovém skenování terénu je výhoda, že při následném dalším skenování stavby se dá postupně monitorovat správnost provedení konstrukcí. [13]

Z hlediska inženýrskogeologických vlastností by model měl obsahovat získané vrty provedené na místě staveniště. Dle provedených vrtů by měly být definovány a vymodelovány jednotlivé zjištěné vrstvy zemin a hornin. Do modelu by měly být zahrnuty i veškeré zjištěné zlomy, čocky a jiné diskontinuity. Dále by model měl obsahovat hladinu podzemní vody. Jednotlivé vrstvy by měly být klasifikovány, zatříděny a měly by charakterizovat jejich geomechanické vlastnosti, jako je úhel vnitřního tření, soudržnost, objemová tíha a další vlastnosti, které byly získány pomocí laboratorních zkoušek. Model by měl napomoci, aby se dalo snadněji charakterizovat jakékoliv místo na staveništi z hlediska geotechnických podmínek [13].

V rámci tvorby geologického modelu je snahou, aby geotechnická konstrukce byla optimalizována. Geotechnický model by se zároveň v průběhu návrhu i výstavby měl dát aktualizovat a následně podle toho sledovat zdali je konstrukce navržena optimálně. Taková ukázka propojení geologického modelu s geotechnikou konstrukcí je uvedena na obr. 3.3. Vlevo jsou vidět jednotlivé provedené vrty a na obrázku vpravo jsou kotvy, u kterých je znázorněno, jakými vrstvami zeminy kotva prochází. [13]



Obrázek 3.3 Vlevo – jednotlivé geologické vrty, vpravo – zemní kotvy, které prochází jednotlivými vrstvami zeminy [13]

Problematika zavádění BIM do geotechniky spočívá v tom, že chybí prostředky, jak vymodelovat geologické prostředí u programů, které se používají u pozemních staveb (např. Revit). Nabízí se, ale několik možností, jak toho docílit.

Pro tvorbu geologického modelu se dá využít Civil 3D od Autodesku, který nabízí nástavbu „Geologický model“. Civil 3D slouží převážně pro tvorbu dopravních liniových staveb. Při vytvoření geologického modelu je umožněno jeho importování do Revitu, který je naopak vhodný pro pozemní stavby.

Další možností je použít GEO5. Výpočetní programy z balíčku GEO5 od FINE spol. s r.o. nabízí možnost převedení geologického modelu do Revitu přes IFC soubory. Tento program byl nakonec použit i pro požární zbrojnicí Hlavenec. Bližší popis je v kapitole 4.3.

3.4 Knihovny prvků

Tvorba knihovnic prvků není jednoduchou záležitostí, ať se jedná o samotnou tvorbu v programu, ale i v rámci vytvoření jednotného standardu v rámci firmy. Další daleko složitější věcí je zavedení jednotného standardu u geotechnických konstrukcí v rámci celé České republiky. Výhodou pro nás už je, že se můžeme inspirovat v zemích, kde povinnost tvorby v BIM u veřejných zakázek již byla zavedena.

Vytvořením standardu knihovnic prvků se můžeme například inspirovat v Německu. Pomocí Německé federace stavebního průmyslu (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.) a se zapojením Německé vlády byla vytvořena šablona, jak by jednotlivé stavební prvky speciálního zakládání měly vypadat. Pro stanovení úrovně podrobnosti bylo použito LOG (Level of Geometry) a LOI (Level of Information). LOG udává, jak už název napovídá, co daný prvek má v určité fázi dokumentace minimálně obsahovat z hlediska grafických informací, zatímco LOI udává negrafické informace. Popis LOG i LOI je založen na LOD (Level of Development). [13]

Původní zkratka LOD vznikla z názvu Level of Detail. Tuto zkratku vymyslela firma zabývající se vývojem programu VicoSoftware, který slouží k vytváření stavebních rozpočtů. Při vytváření programů narazili na problém, jak oceňovat prvky, které nejsou v informačním modelu přesně definovány, protože fáze návrhu zatím nevyžadovala daný prvek přesně definovat (např. při určité fázi oceňování projektu stačí vědět přibližně celkovou délku všech pilot a není zapotřebí vědět, jak každá pilota bude přesně dlouhá). LOD bylo rozděleno do několika úrovní od LOD 100 až LOD 500, kdy je se zvyšujícím se číslem model více podrobný. Jelikož se toto rozdělení osvědčilo, začaly ho posléze používat jiné firmy. Pro lepší pochopení významu LOD se osvědčilo postupem času slovní spojení Level of Development, jelikož spojení Level of Detail mohlo zavádět, že úroveň detailu je pouze grafická a netýká se množství negrafických informací, které se do modelu zavádí. [15]

Pro ukázkou jak může vypadat doporučení tvorby piloty dle LOG:

- LOG 100 je pro prvotní návrh, při kterém by mělo být pilota modelována jednoduchou formou ve formě např. bodu, os, mřížky.
- LOG 200 má pilotu už definovanou s přibližnou polohou, délkou a průměrem.



Obrázek 3.4 Ukázka LOG 200 u piloty [13]

- Při LOG 300 je pilota více konkretizována. Měly by být už stanoveny přesné rozměry, umístění, sklon piloty. Výztuž piloty může být modelována pouze v jednoduché formě.



Obrázek 3.5 Ukázka LOG 300 piloty [13]

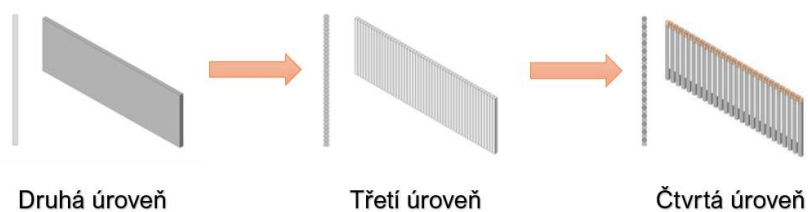
- Podle LOG 400 se prvek má být pilota už připravená k provádění. Má nést veškeré informace z třetí úrovně, ale k tomu u piloty má být přesně definovaná výztuž (tj. armokoš).



Obrázek 3.6 Ukázka LOG 400 piloty [13]

- Poslední úroveň LOG 500 už je fází skutečného provedení, kdy u piloty už je definována skutečná poloha, délka, sklon a stanoveny případné odchylky.

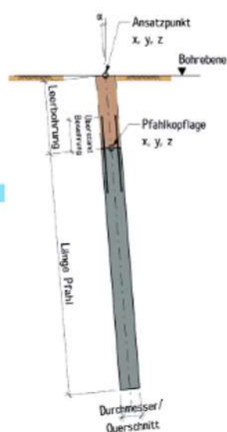
Obdobně se může například postupovat s pilotovou stěnou. V první úrovni geometrie (LOG 100) se stanoví pouze osy a mřížky. Druhá úroveň (LOG 200) bude pilotová stěna zobrazena jako deskový prvek s přibližnou polohou, tloušťkou a výškou. Třetí úroveň (LOG 300) se už pilotová stěna modeluje jako jednotlivé piloty s informacemi obdobně jako u samostatné piloty ve třetí úrovni. Ve čtvrté úrovni (LOG 400) už by stěna měla mít definované vrтанé a převrtávané piloty s obdobnými informacemi jako u samostatné piloty ve čtvrté úrovni. Poslední pátá úroveň (LOG 500) je znázorněna ve skutečném stavu, v jakém byla provedena, tedy se zaměřenou skutečnou polohou, délkou a případnými odchylkami. [13]



Obrázek 3.7 Ukázka druhé až čtvrté úrovně geometrie pilotové stěny [13]

Jakou úroveň LOG a LOI použijeme, je závislé na tom, v jakém fázi stavebního řízení se stavba nachází, a podle toho by měly být určeny minimální požadavky na informační model budovy. V dokumentu [13] je jednoduchá tabulka kde jsou tyto minimální požadavky stanoveny (viz. obrázek 3.8). Zde byly minimální požadavky rozděleny do čtyř kategorií: AS1 až AS4. Lze zjednodušeně konstatovat, že AS1 slouží pro výběrové řízení, AS2 slouží pro projektovou dokumentaci, AS3 slouží pro projektovou dokumentaci pro provádění stavby a AS4 slouží pro dokumentaci skutečného provedení stavby.

NR	COMPONENT	ECHANGE SCENARIOS				COMMENT / REFERENCE
		AS1	AS2	AS3	AS4	
4.1	Pile construction					
4.1.1	Drilling template					For collision control; e.g. underground pipelines, crane foundations
	Top level			x		
	Height			x		
	Width			x		
	lable length (measured in pile wall axis)	x	x	x		
	Opening diameter	x	x	x		
	Material quality (quote separately for all materials)			x		e.g. C20/25, BSt 500
	Material specification			x		e.g. Exposure classes
	Reinforcement content kg/m ³			x		
4.1.2	Pile					
	Type	x	x	x	x	e.g. bored pile, prefabricated pile, ductile pile
	Diameter/cross-section of pile	x	x	x	x	
	Pile number		x	x	x	
	Working platform	x	x	x		z-coordinates Drilling point
	Position of pile head	x	x	x	x	structural element, x, y, z
	Length of pile	x	x	x	x	
	Vertical inclination	x	x	x	x	
	Direction of inclination		x	x	x	With unique reference [e.g. structural axis of building, Building axis, North azimuth]
	Material quality (specified separately for all materials)	x	x	x	x	e.g. C30/37, S235
	Material specification	x	x	x	x	e.g. XC2
	Projection length of reinforcement		x	x	x	
	Reinforcement content	x				Incl. Protrusion
	Type of reinforcement		x	x	x	Drawing number / type number (reference) / cage weight
	Tolerance element	x	x	x		



16

Obrázek 3.8 Ukázka detailu informací modelu piloty a pilotové stěny dle procesu stavebního řízení [13]

3.5 Zahraniční zkušenosti s BIM

V zemích Evropské unie v současné době sektor stavebnictví prochází významnou změnou. Snahou jednotlivých států je tento sektor modernizovat a vytvořit efektivnější pracovní podmínky pro jeho digitalizaci. Vytváří se plány pro povinnost zavedení BIM při navrhování veřejných zakázek. Některé země jako například Velká Británie tuto povinnost již zavedly. Ve Velké Británii už vznikly pilotní projekty, které byly úspěšně provedeny. [16]



Obrázek 3.9 Přehled přijetí BIM v Evropě [17]

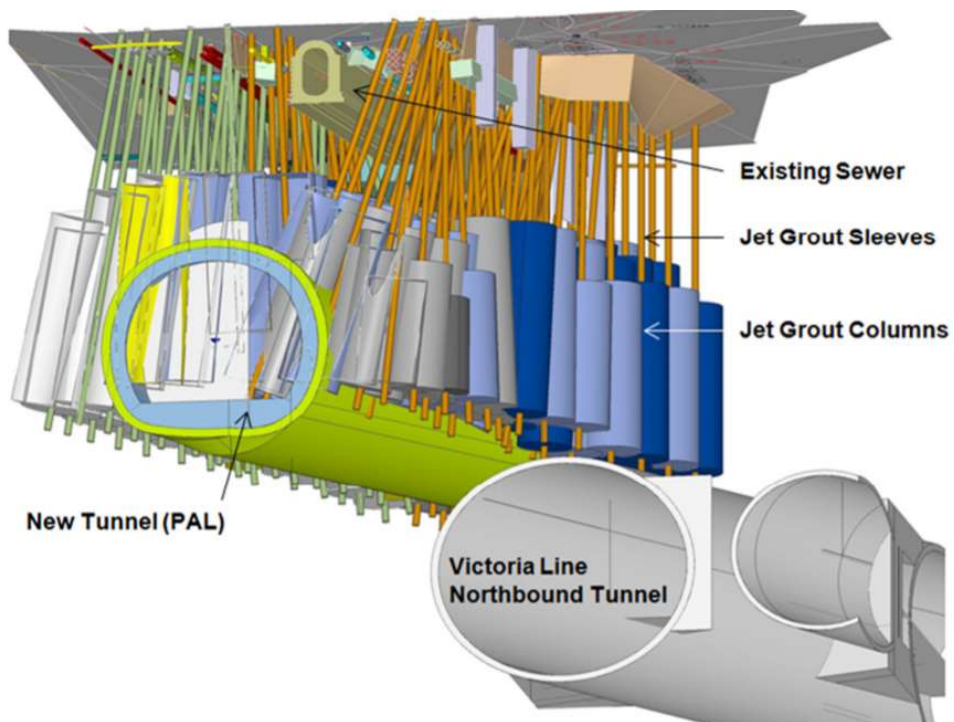
3.5.1 Victoria Station v Londýně

V rámci modernizace Victoria Station, která se nachází ve středu Londýna, byla budována nová hala, modernizována část stávající haly a budován nový 400 m dlouhý podzemní koridor v hloubce 7 m pod terénem s osmi bezbariérovými přístupy z úrovně ulice na nástupiště. Stavební práce probíhaly v hustě zastavěné oblasti, kdy bylo značně komplikované vizualizovat a mapovat překážky, které se vyskytovaly v podzemí. S tímto ohledem bylo přistoupeno k projektování s využitím BIM. [16, 18]

Pro stabilizaci zeminy bylo navrženo 2 500 sloupů tryskové injektáže, které měly těsnící funkci a zároveň funkci stabilizační. Vzhledem ke složitosti stávající infrastruktury a množství provedených sloupů tryskové injektáže bylo rozhodnuto na místě použít BIM, kdy se každý sloup identifikoval svojí polohou a dimenzemi. Díky tomu se zabránilo vzniku kolizí se stávajícím tunelem a sítěmi. V rámci následných provádění stavebních prací byla zaznamenána skutečná data do modelu o provedení sloupů, které se porovnály s návrhem. Následně byla objevena místa, která nebyla dostatečně utěsněna ještě před prováděním nového tunelu. Mezi další výhody patřilo také usnadnění komunikace s investorem, který díky BIM modelu snadněji pochopil složité geometrické problémy a porozuměl snadněji pracovním plánům a mohl být tedy projekt z jeho strany rychleji schvalován. Výsledkem bylo, že prováděné práce byly dvakrát rychlejší než u obdobných stanic Tottenham Court Road a King's Cross, které byly navrženy bez BIM technologie. [16, 18, 19]



Obrázek 3.10 Pohled na stavenišťe Victoria Station [16]



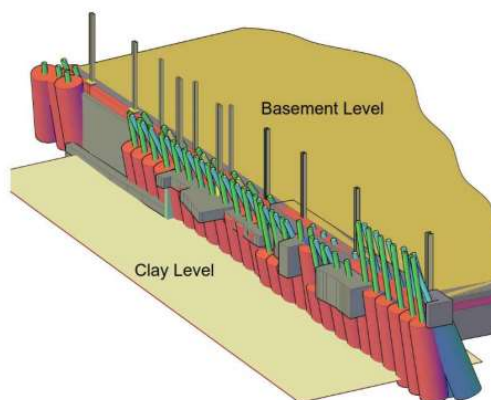
Obrázek 3.11 Umístění sloupů TI [16]

3.5.2 Marble Arch Place

Marble Arch Place je víceúčelový objekt, který se nachází v Londýně. Objekt je obklopený stávající zástavbou a z tohoto důvodu, bylo nutno řešit několik technických a logistických problémů. Nově navržený objekt Marble Arch Place má hlubší základy než sousední stávající sedmipodlažní administrativní budova Great Cumberland Place. Bylo tedy nutno stávající objekt zajistit. [19, 20]



Obrázek 3.12 Pohled na staveniště Marble Arch Place [21]



Obrázek 3.13 3D model sloupů tryskové injektáže, podchycující základy stávajícího objektu [21]

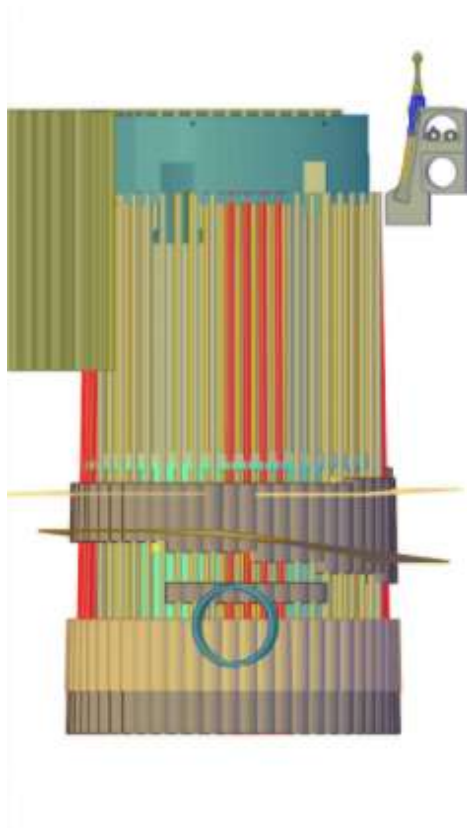
Pro zajištění objektu byla zvolena těsnící stěna vytvořená ze sloupů tryskové injektáže. Délka stěny, kterou bylo zapotřebí zajistit, byla 30 m. Pro vytvoření těsnící stěny, která by zároveň podchycovala stávající objekt a zabránila průniku vody do stavební jámy, bylo nutné provést 71 sloupů tryskové injektáže. [19, 20]

Pro návrh konstrukce bylo přikloněno k 3D BIM modelu, kde se prověřovala poloha každého sloupu, zdali se nedostává do kolize se sousedním objektem a zdali zároveň stávající základ sousedního objektu dostatečně podchycuje. Během vrtných prací byl každý sloup monitorován a byl sledován pohyb sousedního objektu v reálném čase. Díky tomu bylo docíleno dokončení stavby o jeden týden dříve. [19, 20]

3.5.3 Thames Tideway Blackfriars drop shaft

Jedná se o projekt odpadní šachty, která je hluboká 55 m s průměrem 22 m, a která se nachází v těsné blízkosti řeky Temže v Londýně. Šachta byla zhotovena za účelem modernizace kanalizace v Londýně a byla zhotovena pomocí technologie sloupů tryskové injektáže. Šachta o takové hloubce provedená pomocí této technologie nemá ve Velké Británii obdoby. [19, 22]

Využití BIM přineslo několik výhod, mezi nimiž byla kontrola polohy a průměru sloupů tryskové injektáže tak, aby se zajistila těsnost konstrukce vůči vodě za pomoci přesného geologického modelu. [19, 22]



Obrázek 3.14 3D BIM pohled na šachtu [22]

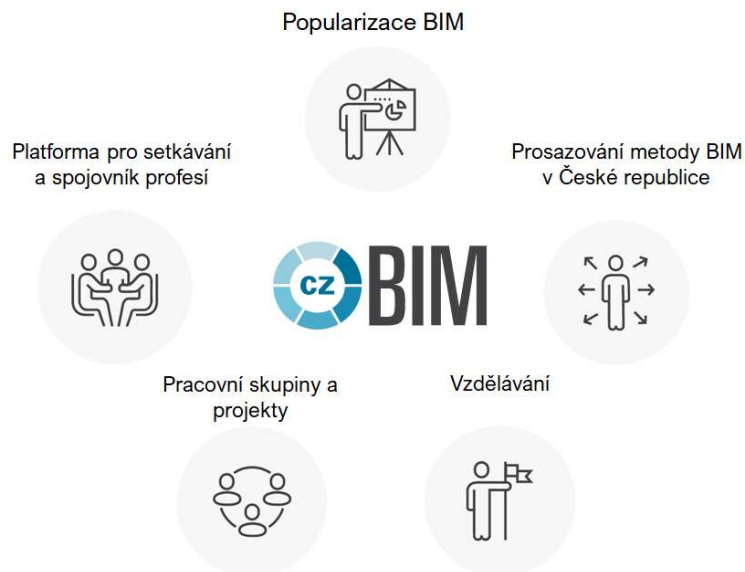


Obrázek 3.15 Letecký pohled na stavenišť v Blackfriars, Londýn [22]

3.6 CzBIM a vzdělávání BIM na ČVUT

CzBIM je odborná rada pro BIM, která se zabývá vzděláváním v České republice v oblasti BIM. Činnost si CzBIM stanovil do 5 základních pilířů:

- **Popularizace BIM** – zde je snahou dostat se k co nejširšímu okruhu lidí, ať se jedná o odborníky v oblasti stavebnictví nebo laickou veřejnost a šířit tak osvětu v oblasti BIM modelování.
- **Prosazování metody BIM v České republice** – jak z hlediska vytváření BIM standardu, ale CzBIM se staví i do role oponenta při tvorbě legislativy ohledně BIM.
- **Platforma pro setkávání a spojovník profesí** – snahou je propojit spolu odborníky, školy, spolky a instituce a usnadnit jim komunikace mezi jednotlivými skupinami.
- **Vzdělání** – CzBIM vytváří různé semináře, workshopy a konference v oblasti BIM a umožňuje tak firmám a jednotlivcům se v této tématice zlepšovat.
- **Pracovní skupiny a projekty** – jednotliví odborníci z řad praxe či akademické sféry se rozdělují do jednotlivých pracovních skupin podle své odbornosti, kde vytváří projekty o předem určité tématice. [23]



Obrázek 3.16 5 Základní pilíře činnosti Odborné rady pro BIM [23]

Odvětví, do kterých Czbim zasahuje jmenovitě je např. architektura, projektování, facility management až po realizaci staveb. Jsou zároveň ukázkou toho, jak BIM prostupuje celou pestrou škálou stavebnictví.

V rámci zapojení škol se připojila i Fakulta stavební ČVUT. Za spolupráce Czbim byla vytvořena zpráva o stavu výuky BIM na českých veřejných vysokých školách stavebního zaměření. Zde bylo poukázáno na problémy, které jsou i v běžné praxi mimo akademickou půdu. Jedním z nich je, že odborníci o oblasti BIM na ČVUT chybí. K výuce chybí dostatečné množství pedagogů, kteří by zajistili výuku. Jádrem odborníků je hlavně tvořeno třemi katedrami, kterými jsou: katedra konstrukce pozemních staveb, katedra řízení ve stavebnictví a katedra ekonomie, bohužel ostatní katedry zaostávají. Mezi zaostávající katedry patří bohužel i katedra geotechniky. Přitom akademická půda je ideálním místem pro budoucí výzkum a rozvoj BIM a katedra geotechniky se do něj může zapojit. [24]

Ve zprávě bylo popsáno, že vzdělání studentů z hlediska BIM by mělo být rozděleno do tří úrovní. První úroveň by se týkala získání základních znalostí v oblasti BIM a dostalo by se takového vzdělání už v prvním ročníku bakalářského studia. Další úroveň by se měla týkat už oboru na který se student zaměřuje. Při poslední třetí úrovni by měl student prohloubit ještě více své znalosti v programech týkajících se jeho oboru, ale k tomu se i dále rozvíjet v programech mimo jeho oborové zaměření. [24]

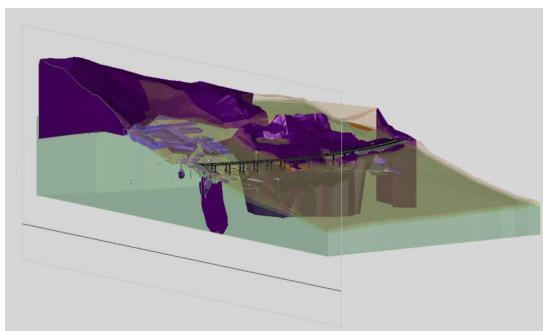
Tuto třístupňovou úroveň vzdělání hodnotím kladně. Momentálně je snaha studenty už od prvního ročníku seznámit s BIM problematikou. To je jisté zlepšení oproti tomu, kdy jsem nastupovala do prvního ročníku v roce 2015 (bakalářský obor Stavební inženýrství), kde BIM nebyl součástí povinných předmětů. Až ve čtvrtém ročníku byl v rámci mého studijního plánu prostor zapsat si povinně volitelný předmět týkající se BIM, který v současné době mají studenti oboru Stavební inženýrství už v prvním ročníku. Přijde mi, že zapsání takového předmětu ve čtvrtém ročníku je pozdě a během pak následujícího magisterského studia není velký prostor dosáhnout kvalitní druhé úrovně vzdělání BIM, natož pak třetí. Konstatuji, že je dobře, že povědomí o BIM je u studentů již vstěpováno od začátku studia, protože čím dříve se studenti budou vzdělávat v oblasti BIM, tím více mohou prohlubovat svoje vzdělání v jednotlivých specializacích, kterou by mohla být i geotechnika. Katedra geotechniky je vlastně z mého pohledu odkázána na to, aby studenti už prošli

základními kurzy v oblasti BIM v prvním a druhém ročníku. V momentě, kdy toto je již podchyceno, katedra geotechniky může rozšířit svoji působnost o vzdělávání studentů ohledně využití BIM v geotechnice. Ale stále je to mimo jiné závislé i na tom, aby na katedře geotechniky byli odborníci vzdělaní v této tématice, kteří by své zkušenosti mohli předávat studentům.

Z hlediska geotechniky byla zpráva [24] připomínkována Ing. Janem Ježkem, kde upozorňoval, že „Z hlediska navrhování liniových staveb je zásadním problémem pro vytváření BIM modelu získání relevantních vstupních dat, především geodetických, případně geologických/geotechnických. Je nutné naučit studenty oboru KD pracovat i s otevřenou verzí formátu STL tak, aby byli schopni implementovat do BIM modelu i terén a případně i geologická rozhraní v místech, kam konstrukci umísťují. Obecně řečeno, studenti tohoto zaměření musí v rámci druhého, ale hlavně třetího stupně výuky BIM mít základní vědomosti se zpracováním geodetických a geologických dat, většinou vytvářenými jinými nástroji, než je např. Autodesk Revit, který je však schopen data ve formátu STL importovat.“ [24]

V oblasti geotechniky se zapojila SG Geotechnika, která je v CzBIM ve skupině GeoBIM. Tato skupina má velkou škálu působnosti, do které zapadá i geotechnika, ale v rámci pracovní skupiny zde patří i např. geodézie a geomatika. Zde SG Geotechnika pracuje hlavně na projektu Digitální technická mapa¹. Další činností SG Geotechniky je vývoj v samotné oblasti BIM modelování v geotechnice. Zde můžeme konkrétně mluvit o monitoring staveb pomocí 3D skeneru, práce s daty získaných z geologických průzkumů a jejich efektivní zavádění do BIM modelu. Snaží se o prosazení u vlády České republiky, aby byly vytvořeny standardy oblasti geotechniky, které by byly podpořeny legislativou. [25]

Ukázkou stavby, kdy SG Geotechnika využila BIM, je při geotechnickém monitoringu okolí dálnice D8 na území Dobkovičky – Prackovice nad Labem. Rozsah modelu je přibližně 1,5 x 0,7 km. Model byl vytvořený v softwaru AutoCAD Civil 3D mezi lety 2018 až 2019 a stále v něm dochází k aktualizaci. Obsahem modelu jsou vrty, geologické vrstvy, konstrukční vrstva dálnice D8, tektonické zlomy, smykové plochy a inklinometrické měření vrtů. [26]



Obrázek 3.17 Řez 3D modelem dálnice D8 [26]

Kromě dlouhodobého monitoringu SG Geotechnika používá geologický model jako podklad pro navrhování vhodného místa či vhodného založení liniové či pozemní stavby, ale také k nacházení kritických míst, které je nutno stabilizovat a sanovat. [26]

¹ Digitální technická mapa slouží jako mapa zaznamenávající síť technické infrastruktury, která má sloužit pro projekční a analytickou činnost, kartografické výstupy i tvorbu informačních systémů o území. [40]

4 Požární zbrojnice, Hlavenec

Cílem je navrhnout hlubinné založení objektu za využití BIM.

4.1 Popis stavby

Budova požární zbrojnice je určena pro ubytování a výcvik personálu stanice a garážování mobilní zásahové hasičské techniky. Budova sestává z 2. nadzemních podlaží o půdorysném rozměru 46,0 x 21,8m a výšce 7,95m (horní hrana nosné konstrukce atiky). Půdorysný tvar navrhovaného objektu je obrazec připomínající písmeno „L“, rozšíření je situováno v osách 6-9. Jedná se o objekt bez dilatačního dělení. Budova nemá podzemní podlaží.

Z pohledu konstrukce se jedná o monolitickou železobetonovou konstrukci. Provázáním jednotlivých prvků (sloupů, trámů, desek) vyztuží kladenou do bednění je uvažováno s tuhými spoji ve styčnicích.

Ze statického pohledu je uvažováno s následujícím systémem. Vnější svislé zatížení je vnášeno na stropní desky, které tak tvoří vícepólový nosník uložený na průvlacích, které účinky zatížení přenáší dále do sloupů a základových konstrukcí.

Stabilita ve vodorovné rovině je zajištěna tuhými železobetonovými stropními deskami. Stabilitu ve svislých rovinách v příčném směru budou zajišťovat tuhé železobetonové štítové a schodištvé stěny. V podélném směru budou stabilitu zajišťovat obvodové pilířové stěny tuze propojené se stěnovým nadpražím. Pro zvýšení tuhosti je v ose C/5-6 doplněna železobetonová stěna přes obě nadzemní podlaží.

Objekt je založen pomocí základových pasů a hlavic pod sloupy, které jsou podporovány vrtanými pilotami.

4.2 Inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry v zájmovém území

Bylo zpracováno jako výtah z dokumentu Inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum (dále již jako IGHGP) [27].

4.2.1 Morfologické a geologické poměry

V rámci inženýrskogeologického průzkumu byly provedeny 4 sondy – sonda Z 4 byla provedena jako zarážená do hloubky 5 m pod povrch terénu a následně byla v její těsné blízkosti provedena sonda dynamické penetrace DP 4 do hloubky 5 m pod povrch terénu, kvůli určení ulehlosti místního písku. Další sonda dynamické penetrace DP 5 byla provedena rovněž do hloubky 5 m a jedna kopaná sonda K 6 pro nálevovou zkoušku do hloubky 1 m. Technologie sondování byla zvolena s ohledem na potřeby průzkumu a předpokládané jednoduché geologické poměry lokality.

Pro určení geologického profilu ve větších hloubkách pod povrchem terénu jsme využili archivní dokumentaci z průzkumu Král J. (1977): Zpráva číslo 9/77 o inženýrskogeologickém průzkumu akce 310 (VPÚ Praha). Z tohoto průzkumu jsme využili dokumentaci vrtu č. V 11/V 11A

zasahujícího do hloubky 21 m pod povrch terénu. Vrt se nachází cca 65 m jihovýchodně od řešené stavby.

Dle regionálního geomorfologického členění ČR patří širší zájmové území k okrsku VIB-3C-b Staroboleslavská kotlina, podcelku VIB-3C Mělnická kotlina, celku VIB-3 Středolabská tabule, oblast VIB Středočeská tabule, subprovincie VI Česká tabule a provincie Česká vysočina. Obecně se jedná o rovinu akumulárního rázu, kvartérních struktur v oblasti nižších fluviálních teras a údolních niv. Reliéf zájmového území a jeho širokého okolí byl modelován erozní a akumulární činností Labe a jeho přítoků.

Vlastní zájmové území se nachází cca 2,7 km severovýchodně od vlastního toku řeky. Je to rovina střední pleistocénní terasy vytvořená akumulací labské říční sítě. Generelní sklon povrchu terénu je velmi mírný od severovýchodu k jihozápadu. Ve vlastním zájmovém území je povrch terénu téměř rovinný, podle předaného výškového zaměření lokality se nadmořská výška pohybuje od 182,30 m n.m. v severní části lokality po 183,10 m n.m. v její jižní části.

Předkvartérní podklad

Předkvartérní podklad zájmového území je tvořen sedimentárními horninami mezozoika – svrchní křídly. Zastoupeny zde jsou slínovce jizerského souvrství středního turonu. Horniny předkvartérního podkladu byly archivním vrtem V 11A zastiženy v hloubce 15,60 m pod povrchem terénu, na kótě 168,00 m n.m. Svrchní zóna křídlových hornin je tvořena tmavě šedými zcela zvětralými slínovci charakteru jílu pevné konzistence s velmi měkkými úlomky slínovce o velikosti 1-3 cm – geotechnický typ GT5. Mocnost svrchní zvětralinové zóny zcela zvětralého slínovce je 0,80 m.

V hloubce 16,40 m pod terénem, na kótě 167,20 m n.m. vrstevní sled pokračuje mírně zvětralými slínovci – geotechnický typ GT6, které jsou rovněž tmavě šedé, úlomkovitě rozpadavé, úlomky jsou již pevné. Výplň mezi úlomky tvoří jíl pevné konzistence. Mocnost polohy mírně zvětralého slínovce nelze stanovit, protože přesahuje délku archivního vrtu. Lze konstatovat, že je větší než 4,60 m.

Pokryvné útvary

Pokryvné útvary jsou zastoupeny fluviálními terasovými sedimenty, které tvoří přímé nadloží předkvartérního podkladu na celé ploše zájmového území. Obecně jsou v bazálních částech fluviální sedimenty tvořeny štěrky, směrem do nadloží se jejich zrnitost zjemňuje a přecházejí do písků, jemnozrnných až středně zrnitých, s proměnlivou příměsí prachové frakce a směrem k povrchu terénu s klesajícím podílem příměsí drobných štěrkových valounků. Tyto písky náležejí střednímu pleistocénu. Podle dokumentace provedených sond se v zájmovém území objevují od hloubkové úrovně 0,20 m pod terénem a jejich báze zasahuje do hloubek 15,60 m pod povrch terénu. Na základě průběhu sond dynamické penetrace a zarážené sondy s využitím dokumentace archivního vrtu V 11 je možné místní fluviální sedimenty rozdělit do čtyř geotechnických typů.

Bazální zóna fluviálních sedimentů je tvořena hlinitopísčnými štěrky – geotechnický typ GT4. Štěrky jsou tvořeny valouny o velikosti 2-14 cm, v objemu cca 50 %, směrem k bázi polohy (ke kontaktu s podložními slínovci) se zvyšuje jílovitá příměs. Povrch polohy štěrků GT4 se nachází v hloubce 13,40 m pod terénem, na kótě 170,20 m n.m., dosahují mocnosti 2,20 m ma úroveň jejich báze odpovídá výše uvedené úrovni povrchu předkvartérního podkladu 15,60 m pod povrchem terénu, kóta 168,00 m n.m.

Směrem k povrchu terénu následuje nejrozšířenější typ kvartérních zemin, který představují středně zrnité, slabě zahliněné písky, s příměsí drobných štěrkových valounků o velikosti 2-4 cm, o objemu cca 15-20 % – geotechnický typ GT3. Písky označujeme jako ulehlé, v sondách dynamické

penetrace je tato zóna charakterizována počtem úderů potřebných k zaražení penetračního součtyčí o 10 cm $N_{10} = 17-28$. Povrch polohy písků GT3 se nachází v hloubce 2,80-3,10 m pod terénem, na kótě 179,50-179,60 m n.m., dosahují mocnosti více než 9 m a úroveň jejich báze se nachází v hloubce 13,40 m pod povrchem terénu, kóta 170,20 m n.m.

V jejich nadloží vrstevní sled pokračuje polohou středně zrnitých a středně ulehých zahliněných písků – geotechnický typ GT2. V sondách dynamické penetrace je tato zóna charakterizována počtem úderů $N_{10} = 8-17$. Středně uhlé zahliněné písky GT2 dosahují celkové mocnosti 1,70-1,90 m, jejich povrch se nachází v hloubce 1,10-1,20 m pod terénem, na kótě 181,20-181,50 m n.m. a úroveň jejich báze se nachází v hloubce 2,80-3,10 m pod terénem, na kótě 179,50-179,60 m n.m.

Nejmladší polohu fluviálních sedimentů tvoří kypré zahliněné písky – geotechnický typ GT1. Jedná se o středně zrnité písky s ojedinělými valouny o velikosti 1-2 cm o objemu do 10 %, které jsou jen málo uhlé, v sondách dynamické penetrace je tato zóna charakterizována počtem úderů $N_{10} = 2-5$. Povrch polohy se nachází v hloubce 0,20 m pod terénem a její báze v hloubce 1,10-1,20 m pod terénem, na kótě 181,20-181,50 m n.m. Mocnost polohy kyprých písků GT1 je tedy 0,90-1,00 m.

Svrchní vrstva kvartérních uloženin je v místech nedotčených stavební činností (jižní a východní část lokality) tvořena humózní písčitou hlínou o mocnosti 0,20 m. V severním a západním sousedství stávajícího objektu se nacházejí poměrně kvalitně provedené asfaltové komunikace s konstrukčními vrstvami, které nebylo možné použítou technologií penetračních sond projít. Předpokládáme mocnost zpevněných ploch a jejich konstrukčních vrstev minimálně 0,50 m.

4.2.2 Hydrogeologické poměry

Území zkoumané lokality spadá do povodí Labe. Číslo hydrologického pořadí je 1-05-04-018 Labe od Jizery po Vltavu a hydrogeologický rajón je 1172 Kvartér Labe po Vltavu. Z hydrogeologického hlediska území náleží do oblasti terasy Labe a jeho pravobřežních přítoků.

Z hlediska geologické stavby je pro hydrogeologický režim podstatným rysem existence dvou ostře ohraničených, propustnostně zcela odlišných prostředí. Svrchní kvartérní patro (terasové písky a šterky) je vysoce průlinově propustné i poměrně velmi homogenní. Vysoká průlinová propustnost umožňuje jejich souvislé zvodnění a vytvoření rozsáhlého kolektoru podzemních vod s volnou hladinou související s hladinou vody v povrchových tocích. Spodní patro křídového horninového masívu ve vývoji jemnozrnných sedimentů – slínovců, představuje hydrogeologický izolátor s velmi omezenou puklinovou propustností. Na kontaktu kvartéru s křídovým podložím je možnost prostupu vod kvartérní zvodně do masívu ještě omezena prakticky zcela nepropustnou svrchní zvětralinovou zónou, kde jsou pukliny zpravidla zcela zajílovány.

V zájmovém území se podzemní voda nachází na kótě cca 171,50 m n.m., což odpovídá hloubce 12 m pod terénem. Pohyb podzemní vody je směrem k Labi, tzn. zhruba od severovýchodu k jihozápadu.

Podzemní voda nebyla žádnou z nově provedených sond zastižena, takže nebylo možné odebrat její vzorek. Z archivních chemických rozborů vzorků ze širšího okolí vyplývá, že podzemní voda zde obecně není agresivní na betonové konstrukce podle ČSN EN 206+a1 veškeré sledované ukazatele odpovídají stupni agresivity XA1. Koncentrace síranů SO_4^{2-} obvykle nepřesahuje 500 mg.l⁻¹ a koncentrace CO_2 agresivního na vápno 0 mg.l⁻¹.

V kvartérních píscích, které vyplňují prostor v úrovni možného vsakování prakticky v celém rozsahu pozemku, byl stanoven koeficient vsaku $kv = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Jedná se tak o velmi vhodné prostředí pro vsakování srážkových vod s velmi dobrou propustností.

4.2.3 Geotechnické vlastnosti zemin a hornin

V následující tabulce jsou uvedeny vybrané normové a místní charakteristiky zemin zastižených v zájmovém území.

Tabulka 4.1: Doporučené parametry dané IGHGP [27]

geneze / stratigrafie	kvartér fluviální sedimenty				mezozoikum – křída bělohorské souvrství	
	zahliněný písek kyprý	zahliněný písek středně ulehlý	zahliněný písek ulehlý	hlinitopísčité šterk	zcela zvětralý slínovec	mírně zvětralý slínovec
geotechnický typ	GT1	GT2	GT3	GT4	GT5	GT6
ČSN P 73 1005 „Inženýrsko-geologický průzkum“	S2, S3	S2, S3	S2, S3	G3	R6	R4
tabulková výpočtová únosnost $R_{df} / \text{kPa} / *$	100-125	175	275	450	250	400
ulehlost	kyprý	středně ulehlý	ulehlý	ulehlý	-	-
objemová hmotnost v přirozeném uložení $/ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} /$	1700	1700	1800	1900	2000	2200
modul deformace $E_{def} / \text{MPa} /$	2-5	10-15	17-25	80-90	20-30	80-120
Poissonova konstanta $\nu / 1 /$	0,30	0,30	0,30	0,25	0,35	0,25
soudržnost efektivní (zdánlivá) $c_{ef} / \text{kPa} /$	0	0	0	0	25-30	30-50
úhel vnitřního tření efektivní (úhel pevnosti) $\phi_{ef} / ^\circ /$	26-28	28-30	30-33	33-35	21-23	23-25
ČSN 73 6133 vhodnost do násypů	vhodná až podmínečně vhodná	vhodná až podmínečně vhodná	vhodná až podmínečně vhodná	vhodná	nevhodná	podmínečně vhodná
ČSN 73 6133 třída těžitelnosti	I	I	I	I	I	II

4.3 Tvorba geologického modelu

Tvorbu modelu bych rozdělila do dvou fází:

- 1) vytváření geologického modelu
- 2) převod geologického modelu do Revitu.

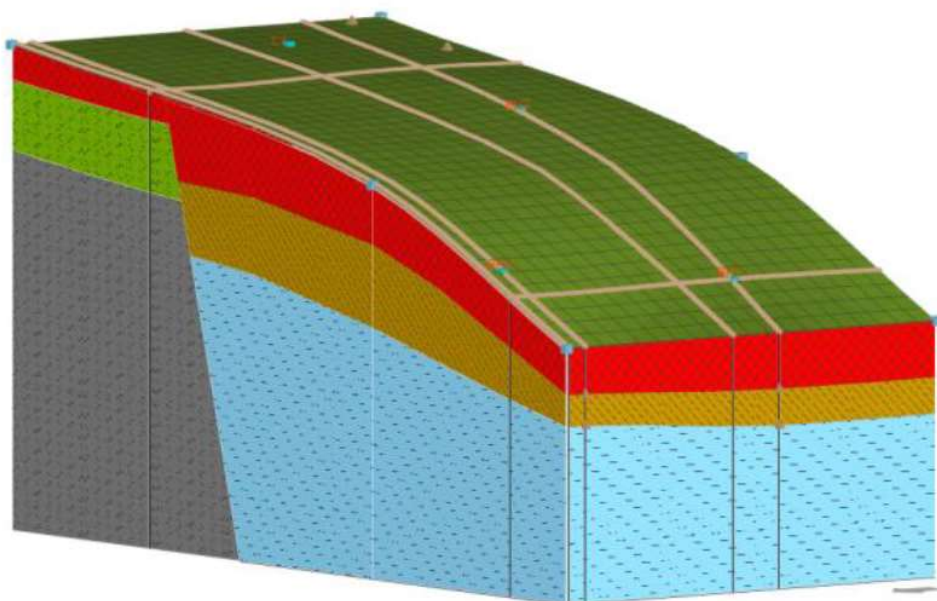
4.3.1 Geologický model

Pro tvorbu modelu byl použit program Stratigrafie od firmy Fine. Program slouží ke zpracování dat z inženýrsko-geologického průzkumu. Má několik důležitých funkcí, které se dají využít pro BIM modelování. Co by BIM model geologie měl obsahovat bylo popsáno v kapitole 3.3.

Program umožňuje následující funkce:

- **Body terénu**, kterými se vytváří model terénu pomocí bodů umístěných v souřadnicovém systému JTS-K. Jednotlivé body se dají zadávat jednotlivě, ale pro rychlejší vkládání dat se dá využít import z textového dokumentu a tabulek ve formátu XLSX a ODS a případně ještě formáty LandXML a DXF, které používá Autodesk jako podporu pro výměnu dat mezi programy.

- **Zkoušky** se používají pro import dat ohledně provedených geologických sond. Program umožňuje zkoušky rozdělit do několika typů (např. vrt, statická penetrační zkouška, dynamická penetrační zkouška apod.). Do jednotlivých zkoušek je umožněno zadat několik parametrů, zasluží zmínit např. umístění sondy na staveništi, název zkoušky, mocnost jednotlivých vrstev zeminy.
- **Zeminy**, zde se zadávají geomechanické vlastnosti zemin, jako je úhel vnitřního třetí, soudržnost zeminy, objemová tíha a další.
- **Zemní profil** slouží pro přiřazení geomechanických vlastností zemin do provedených zkoušek. Po přiřazení vlastností zemin se dá vytvořit **Model podloží**.
- Do **modelu podloží** se dá dále zadat a upravovat zjištěné zlomy, čocky a jiné diskontinuity, hladina podzemní vody apod. Po zadání veškerých parametrů a provedení nutných uprav se dá model vygenerovat a následně exportovat.



Obrázek 4.1 Ukázka hotového geologického modelu vytvořeného ve Stratigrafii od FINE [28]

Model se dá exportovat do Revitu jako IFC soubor. Výhodou je, že data se dají kopírovat do ostatních programů GEO5 a následně s nimi dále pracovat. Další výhodou je, že program často používají i firmy zabývající se inženýrsko-geologickými průzkumy, které program Stratigrafie používá pro tvorbu zpráv z IGHGP. Pokud by firma byla ochotná sdílet živé výstupy z programu, nemusel by se model vytvářet dvakrát (jednou firma geologická a podruhé geotechnická firma), ale pouze jednou a geotechnik by volně navázal na tvorbu geologického modelu za účelem zjištění geomechanických vlastností, které následně by posloužily pro statický výpočet geotechnických konstrukcí.

Zodpovědnost za správný návrh geotechnických konstrukcí nese geotechnik, a to jaké geomechanické vlastnosti hornin a zemin použije pro výpočet je jeho zodpovědnost. Z tohoto hlediska by se tak mělo přistupovat i k vytvořenému geologickému modelu od geologa.

Pro samotnou tvorbu geologického modelu pro požární stanici bylo postupováno následovně:

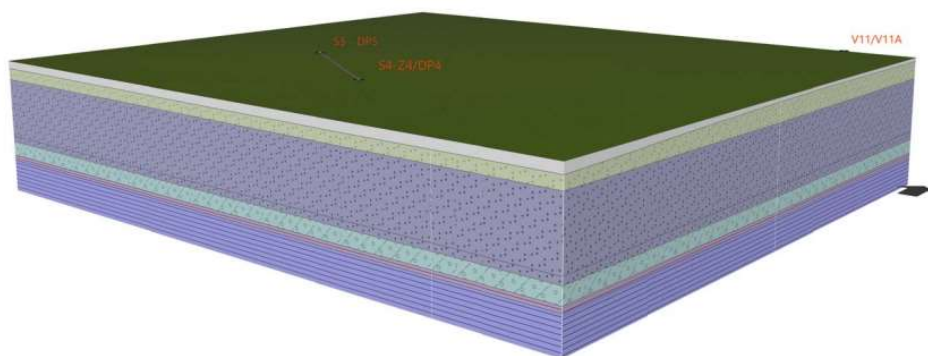
Pro tvorbu terénu bylo vloženo pouze několik bodů, jelikož povrch terénu v místě staveniště je převážně rovinný. Jako zkoušky byly použity tři geologické sondy. Sondy S4 a S5 bylo možno definovat v přesných souřadnicích získaných z výkresu „Situace geologických sond“ [27]. Sonda V11/V11A nemá přesně definovanou souřadnici, ale dle IGP byla popsána, že je jihovýchodně 65 m

od místa staveniště a podle toho byla přibližně tak umístěna do modelu. Sonda V11/V11A pro model byla použita jako referenční z toho důvodu, aby bylo v modelu zachyceno skalní podloží, které v sondách S4 a S5 nebylo zjištěno. Dle IGHGP bylo popsáno, že křídové útvary mají tabulovitý ráz a dle toho byly modelovány. Do modelu byly přidány geomechanické vlastnosti hornin a zemin dle tabulky 4.2, které byly získány a následně upraveny z IGHGP.

Tabulka 4.2 Geomechanické vlastnosti hornin a zemin ve výpočtu

Materiál	γ_{sat} (kN.m ⁻³)	c_{ef} (kPa)	φ_{ef} (°)	ν (-)	E_{def} (MPa)	n_h (MN.m ⁻³)
S2/SP Zahliněný písek kyprý (GT 1)	17,0	0	27	0,30	3	7
S2/SP Zahliněný písek stř. ulehlý (GT 2)	17,0	0	29	0,30	12	7
S3/S-F Zahliněný písek ulehlý (GT 3)	18,0	0	31	0,35	20	17
G3/G-F Hlinitopísčité štěrky (GT 4).	19,0	0	34	0,25	80	-
R6 Slínovec zvětralý (GT 5)	20,0	25	21	0,35	25	-
R4 Slínovec navětralý (GT 6)	22,0	30	23	0,25	80	-

Po zadání parametrů z tabulky 4.2 a přiřazení hodnot do vrstev dle jejich geotypu, mohl být model generován. Výsledný model je vidět na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2 Geologický model vytvoření ve Stratigrafii pro požární stanici Hlavenec

4.3.2 Převod dat z geologického modelu

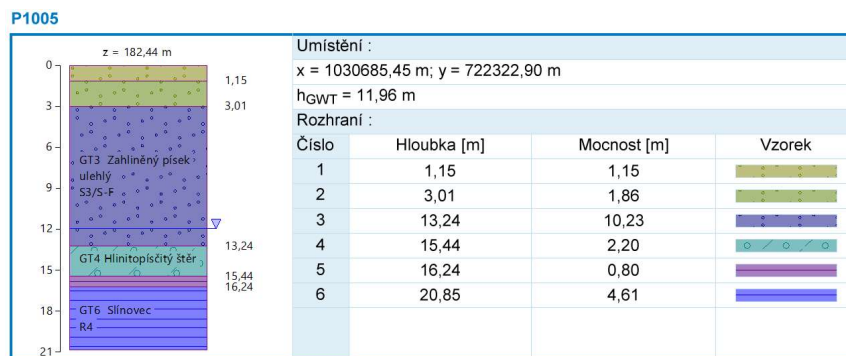
Vytvořený model následovně sloužil pro převod dat do výpočetního programu Pilota od GEO5 a převod do Revitu jako IFC soubor.

Po vygenerování modelu v programu Stratigrafie je umožněno zjistit zemní profil na jakémkoliv místě staveniště. To se dá využít pro zjištění zemního profilu v místě navržené geotechnické konstrukce.

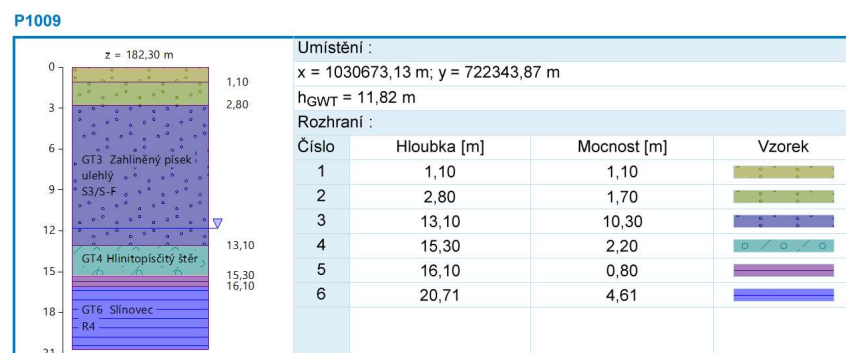
Výsledné profily mají několik informací, které lze použít do statického posouzení, mezi nimiž jsou:

- umístění profilu v souřadnicovém systému,
- předpokládaná výšková poloha terénu,
- předpokládaná hloubka jednotlivých vrstev zemin,
- jednotlivým vrstvám přiřazené geomechanické vlastnosti hornin a zemin,
- hladina podzemní vody.

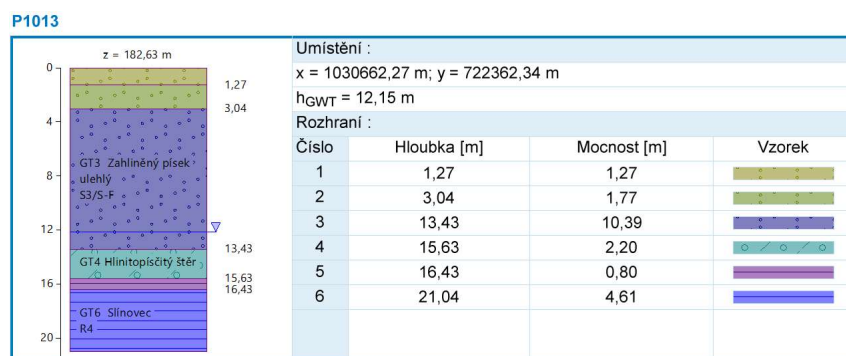
Toho bylo využito v geologickém modelu vytvořeného pro požární zbrojnici Hlavenec. Jelikož model byl vymodelován v souřadnicovém systému, nebyl problém zjistit zemní profil v místech, kde jsou umístěny piloty. Zemní profil nebyl zkoumaný na všech pilotách, ale na 5 vybraných, jmenovitě piloty s čísly P1005, P1009, P1013, P1025, P1033. Jejich zemní profily jsou vidět na obrázcích 4.3 až 4.7.



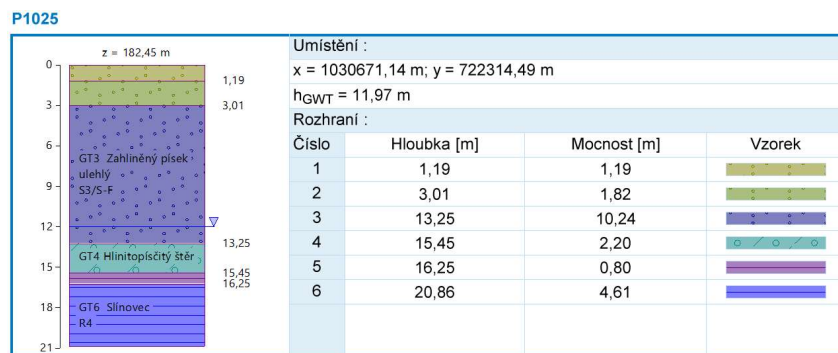
Obrázek 4.3 Výsledný zemní profil ze Stratigrafie pro pilotu s číslem P1005



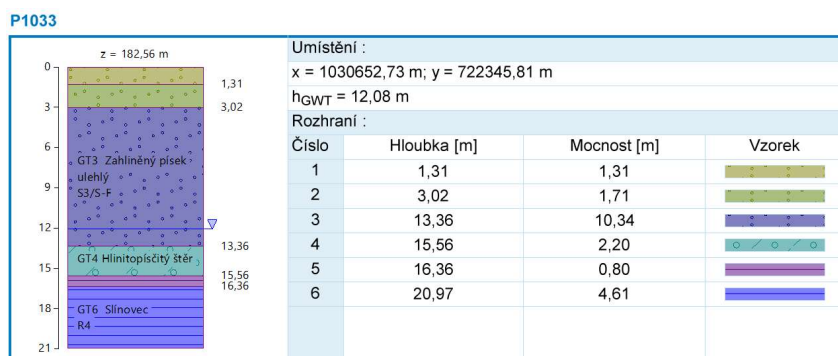
Obrázek 4.4 Výsledný zemní profil ze Stratigrafie pro pilotu s číslem P1009



Obrázek 4.5 Výsledný zemní profil ze Stratigrafie pro pilotu s číslem P1013

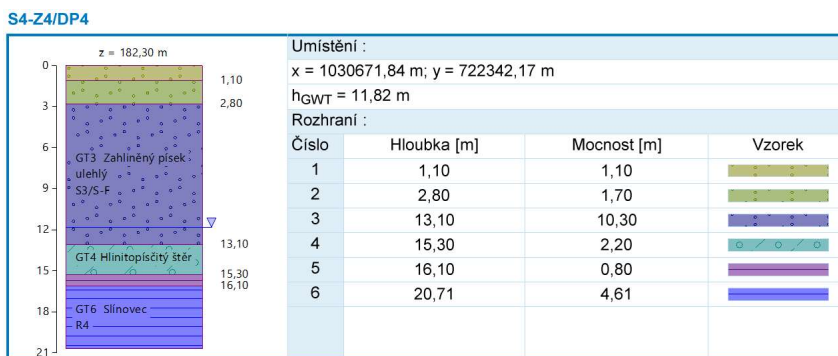


Obrázek 4.6 Výsledný zemní profil ze Stratigrafie pro pilotu s číslem P1025



Obrázek 4.7 Výsledný zemní profil ze Stratigrafie pro pilotu s číslem P1033

Jak je patrné na obrázcích, rozhraní mezi vrstvami má v podstatě konstantní průběh. Vzhledem k této skutečnosti by bylo zbytečné vytvářet pro každou pilotu zvlášť zemní profil, protože nepatrné rozdíly ve výškové poloze terénu a mocnostem jednotlivých vrstev by ve statickém výpočtu pro posouzení piloty nehrály tak velkou roli. Pro statický výpočet byl nakonec zvolen výsledný profil v místě prováděné sondy S4.



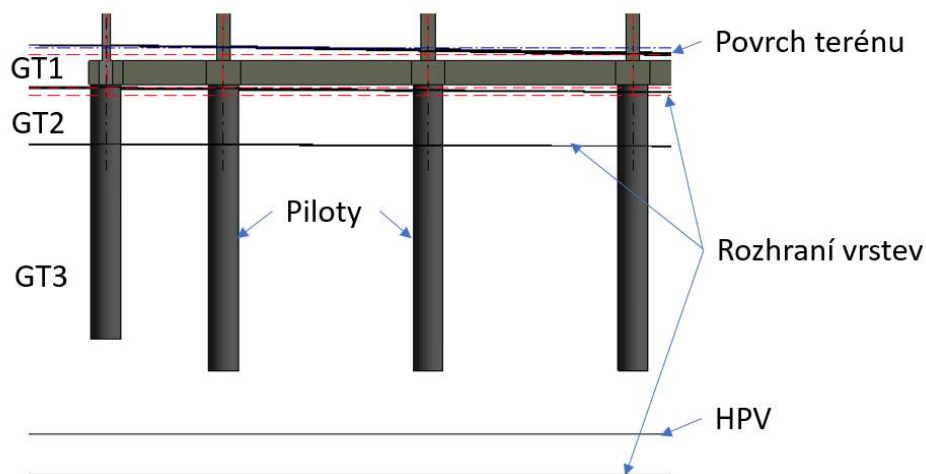
Obrázek 4.8 Výsledný profil ze Stratigrafie v místě sondy s číslem S4

Vytvořený geologický model pro hasičskou zbrojnicu byl ze Stratigrafie exportován ve formátu IFC a následně importován do Revitu. Geologický model byl importován do Revitu za účelem zjištění polohy geologických sond, výškové úrovně povrchu terénu a jednotlivých vrstev zeminy vůči objektu požární zbrojnice.

Přes několik komplikací s umístěním IFC souboru do modelu hasičské zbrojnice se model podařilo do Revitu importovat. Komplikace hlavně způsoboval opačný souřadnicový systém Revitu oproti SJTS-K a to způsobovalo, že soubor byl umístěn mimo modelový prostor a v Revitu se nezobrazoval. Vytvořil se tedy druhý model ve Stratigrafii, kde měl souřadnici X nižší o hodnotu

1030600 m, Y o hodnotu 722200 m a Z o hodnotu 180 m n.m. Tento model už se zobrazoval v modelovém prostoru Revitu a mohl se následně už správně umístit do souřadnicového systému tak, aby odpovídal SJTS-K.

Ve výsledném modelu jsou vidět jednotlivé vrstvy zeminy s jejich mocnostmi a na obrázku 4.9 je vidět, že předpokládaná délka pilot sahá pouze až do geotypu GT3 a geotypy GT4, GT5 a GT6 nemají pro statický výpočet vliv. U hladiny podzemní je tomu tak rovněž. Je zde i opět vidět, že rozhraní vrstev má konstantní průběh.



Obrázek 4.9 Řez budovou se zobrazením jednotlivých rozhraní vrstev zemin

Jak bylo zmíněno v kapitole 3.3, převod informací o geologickém modelu do BIM software používaných běžně pro návrh pozemních staveb je komplikovaný. Při převodu geologického modelu do Revitu se importovaly informace o rozhraních jednotlivých vrstev, umístění sond, typu provedené zkoušky, povrchu terénu, úrovni hladiny podzemní vody. Bohužel při převodu nebylo možno přenést informace o geomechanických vlastnostech, které jsou pro statický návrh geotechnických konstrukcí rozhodující.

Vytvořený geologický model by se neměl brát tak, že přesně kopíruje podloží v místě staveniště, ale mělo by se k němu stavět tak jako k podkladu, který přibližně definuje podloží. Uvádím to tedy i zde, že geologický model pro požární zbrojnice Hlavenec byl vytvořen jako předpoklad z IGHGP. Při provádění pilot má být popsán profil vrtu odborným geologem a má být prověřeno, že zemní profil, který byl použit pro statický výpočet pilot odpovídá zjištěným skutečnostem.

4.4 Návrh pilotového založení

4.4.1 Základní popis konstrukce hlubinných základů

Jako řešení založení objektu hasičské zbrojnice Hlavenec bylo zvoleno hlubinné založení, konkrétně založení na vrtaných pilotách. Bylo k tomu přistoupeno podle zjištěných geologických podmínek v místě staveniště a také charakteru stavby, tak aby založení bylo dostatečně zjednodušené.

Piloty budou prováděny do vrtů o průměru 880/780 mm (pažený/nepažený průměr) a 1180/1060 mm (pažený/nepažený průměr). Budou zhotoveny vrtnou soupravou s předem připravené

pracovní úrovně -0,40=182,20 která bude upravena do roviny a bude dostatečně únosná pro pojezd vrtné soupravy. V nesoudržných zeminách je nutno vrt pažit.

Podklady použité pro statický výpočet hlubinného základu jsou:

- Inženýrsko-geologický a hydrogeologický průzkum (dále IGHP) vypracovaný od K+K průzkum s.r.o.,
- Situace geologických sond vypracovaný od K+K průzkum s.r.o.,
- Model objektu v Revitu vypracovaný od Obermeyer Helika a.s.
- Reakce od konstrukce sil do podloží od zpracovatele vrchní stavby

Výpočet piloty je uvažován jako pro osaměle zatížené piloty, jelikož vzájemná vzdálenost mezi pilota je větší jak $2,5 \cdot D$ piloty a nejsou tedy piloty navzájem mezi sebou ovlivňovány. Pro piloty bylo zapotřebí určit jejich rozměry a potřebou výztuž.

Materiál pro piloty je:

- BETON C30/37 XA1, XC4
- OCEL B500B

Minimální krytí výztuže je 70 mm a krytí výztuže bude zajištěno pomocí distančníků.

Půdorysné umístění pilot bylo navrženo dle působícího zatížení a výška horní hrany piloty byla navržena dle základové spáry základových pasů a hlavic. Piloty jsou zatíženy svislou tlakovou silou a popřípadě vodorovnými silami. Armokoše jsou propojeny se základovými pasy a hlavicemi. Délky pilot pro průměr 1180/1060 mm jsou 7 m a pro průměr 880/780 mm jsou 7 m, 8 m a 9 m.

Piloty budou v horní úrovni přebetonovány (před betonáží pasů) a následně bude znehodnocený beton odšramován na projektovanou kótu. Výšku přebetonování určí zhotovitel v technologickém předpisu s ohledem na předpoklad uvedený v projektové dokumentaci.

Piloty budou realizovány z předem upravené dostatečně únosné pracovní úrovně v souladu s normovými předpisy – ČSN EN 1536 [29]. Vrtky pro piloty budou prováděny rotační technologií. Přes nesoudržné a nestabilní vrstvy budou vrty paženy ocelovou pažnicí. Průměr vrtů bude buď pažený 880, 1180 mm, nebo nepažený 780, 1060 mm v závislosti na profilu piloty. Při provádění pilot je třeba dbát na přesnost půdorysného umístění a při vrtání pak na začištění dna vrtů. Po dokončení vrtů piloty bude osazen výztužný armokoš piloty a pilota bude plynule vyplněna betonem požadované kvality až do úrovně projektované hlavy piloty. V případě, že vrt bude suchý, betonáž bude prováděna pomocí usměrňovací sypákové roury, tak aby nedošlo k rozřídění jednotlivých frakcí betonové směsi. V případě přítoků podzemní vody bude betonáž prováděna odspodu pod hladinou podzemní vody pomocí betonovacích rour. Betonovací roura musí před zahájením betonáže dosahovat až na dno vrtu a během betonáže musí být neustále dostatečně ponořena v betonu. Betonová směs znehodnocená stykem s podzemní vodou bude vytlačena nad projektovanou úroveň a následně odstraněna.

Na začátku provádění pilot bude min. u 4 pilot v různých částech staveniště odborným geologem popsán profil vrtu. V případě zjištění odlišných geologických poměrů od předpokládaných, nebo jakýchkoli pochybností, bude přivolán projektant a upravena délka pilot. Vetknutí piloty je v tomto případě zmatečný údaj, neboť se bude jednat (podle Informací IGHGP) o piloty plovoucí.

4.4.2 Popis metodiky statického výpočtu pilot

Pro výpočet piloty bylo přistoupeno na základě doporučení dle nyní platných norem pro geotechnické konstrukce a pro betonové konstrukce.

Pro ověření únosnosti pilot byly použity následující mezní stavy:

1. GEO pro posouzení svislé únosnosti hlubinného základu dle teorie 1. MS a sedání piloty dle teorie 2. MS,
2. STR pro posouzení průřezové a vzpěrné únosnosti pilot dle 1.MS.

Ve výpočtu není uvažován vliv podzemní vody z důvodu, že zjištěna HPV se nachází níže než pata pilot.

Výpočet je řešen jako rovinná 1D úloha, kde předpokladem je, že svislé a horizontální zatížení působí na osamělou pilotu. Takto provedený posudek je na straně bezpečnosti.

Hlavní závazné normy, které jsou respektovány pro statický výpočet jsou ČSN EN 1991 [30], ČSN EN 1992-1-1 [31] a ČSN EN 1997-1 [32]. Zároveň jsou respektovány normy ČSN 73 6133 [33] a ČSN 73 0037 [34]. Pro posouzení mezní stavu použitelnosti, konkrétně sedání piloty byla použita ČSN 73 1002 [35].

Piloty pro statický výpočet jsou uvažovány jako plovoucí (opřené o stlačitelné podloží).

4.4.2.1 Přehled dílčích koeficientu bezpečnosti

Tabulka 4.3 Použité koeficienty bezpečnosti výpočtu

koeficient	hodnota	vysvětlení
γ_G	1,35	Součinitel stálého zatížení – nepříznivé zatížení
γ_G	1,00	Součinitel stálého zatížení – příznivé zatížení
$\gamma_{s,b}$	1,10	Součinitel únosnosti piloty (plášť a pata)
K_1	1,00	Součinitel délky piloty (volen na straně bezpečnosti)
K_2	1,00	Součinitel bočního tlaku (pilota hl. ≤ 10 m)
γ_{R1}	1,25	Součinitel vlivu technologie (betonáž do vrtu s ocel. pažnicí)
γ_{R2}	1,00	Součinitel působení zákl. půdy
m_1	0,70	Dílčí koeficient vlivu zatížení (provozní zatížení)
m_2	1,00	Koeficient vlivu dřívku piloty

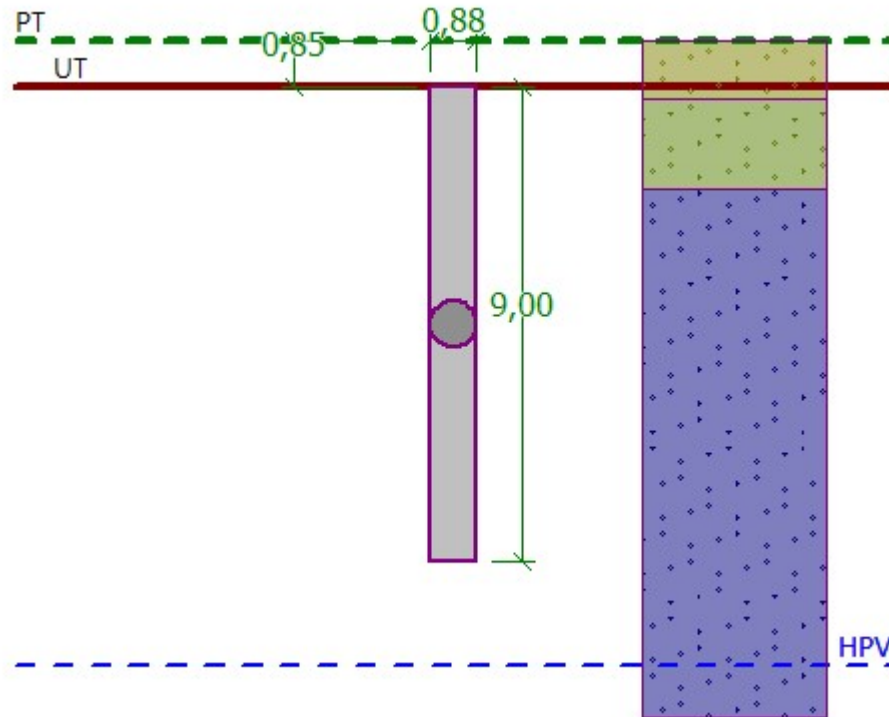
4.4.2.2 Posouzení piloty dle GEO

4.4.2.2.1 Vstupní geotechnické parametry prostředí

Vstupní parametry byli převedeny z modelu Stratigrafie. Hodnoty geomechanických vlastností jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Jelikož je model vytvořený v souřadnicovém systému, tak bylo možno k jednotlivým pilotám zkopírovat zemní profil v místě piloty. Vzhledem k tomu, že na místě staveniště bylo zjištěno, že rozhraní mezi vrstvami má konstantní průběh a křídové útvary mají tabulovitý ráz, bylo uvažováno s jedním geologickým profilem deklarovaným ve zprávě IGHGP. Zemní profil byl zvolený v místě sondy S4.

Vzhledem k tomu, že geotyp GT3 má velkou mocnost a další geotypy nacházející pod GT3 jsou hluboko pod navrhovanou patou pilot, byly geotypy GT4, GT5 a GT6 uvedeny pro-forma, jejich výpočet nikterak nezasahuje do výpočtu únosnosti pilot.



Obrázek 4.10 Geologický profil navrhovaného hlubinného založení

4.4.2.2.2 Návrhový přístup 2 dle ČSN EN 1997-1

Podle ČSN EN 1997-1 je použit Návrhový přístup 2.

Kombinace pro 2. NP je: **A1 + M1 + R2.**

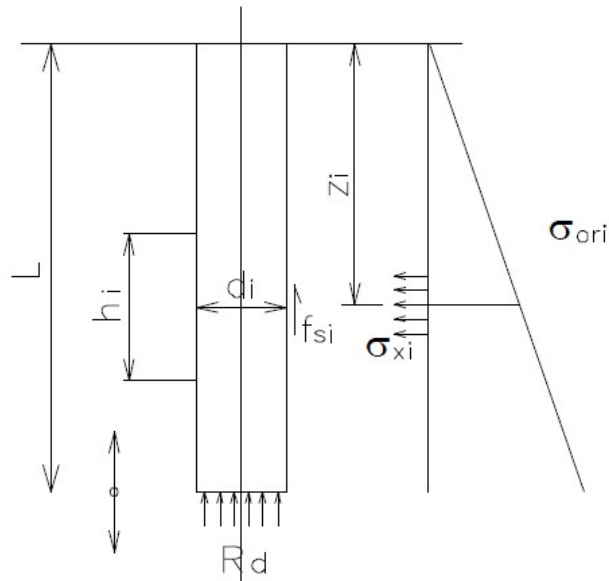
Pro A1 jsou dílčí součinitele zatížení $\gamma_G = 1,35$ a $\gamma_Q = 1,50$. Pro M1 jsou dílčí součinitelé parametrů základových půd rovny 1. Dílčí součinitele pro R2 pro vrtané piloty jsou $\gamma_s = 1,10$ pro součinitel redukce odporu na plášti a $\gamma_b = 1,10$ pro součinitel odporu na patě.

4.4.2.2.3 Popis metodiky statického výpočtu pilot

Popis je převzatý z mé bakalářské práce Most Postřelmov, SO 240, zakládání mostu [36] a upravený pro potřeby diplomové práce.

4.4.2.2.3.1 Únosnost piloty – 1. MS (GEO)

První mezní stav se používá pro maximální možnou návrhovou únosnost piloty. Rozhodující, ale pro únosnost piloty je 2. MS, kde se počítá průběh sedání. [37]



Obrázek 4.11 Statické schéma osamělé piloty pro výpočet únosnosti podle 1. MS [37]

Únosnost piloty je dána:

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd} \geq V_d \quad 4.1$$

kde je:

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 působícího v hlavě piloty – návrhová.

Únosnost paty je:

$$U_{bd} = k_1 \cdot A_s \cdot R_d \quad 4.2$$

kde je:

k_1 součinitel, vyjadřující zvětšení únosnosti vlivem délky piloty L ,

A_s plocha paty piloty,

R_d návrhová únosnost paty piloty stanovená v zeminách podle vztahu:

$$R_d = 1,2 \cdot c \cdot N_c + (1 + \sin \varphi) \cdot \gamma_1 \cdot L \cdot N_d + 0,7 \cdot \gamma_2 \cdot \frac{d}{2} \cdot N_b \quad 4.3$$

kde je:

$$N_c = (N_d - 1) \cdot \cotg \varphi \quad 4.4$$

$$N_d = e^{\pi \cdot \tg \varphi} \cdot \tg^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \quad 4.5$$

$$N_b = 1,5 \cdot (N_d - 1) \cdot \tg \varphi \quad 4.6$$

$$\gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot \gamma_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad 4.7$$

γ_2 γ_{sat} v místě paty piloty.

Únosnost pláště se stanoví:

$$U_{fd} = \sum_{i=1}^{i=n} u_i \cdot h_i \cdot f_{si} \quad 4.8$$

kde je:

u_i obvod piloty,

h_i mocnost jednotlivých vrstev,

f_{si} tření na plášti piloty dle:

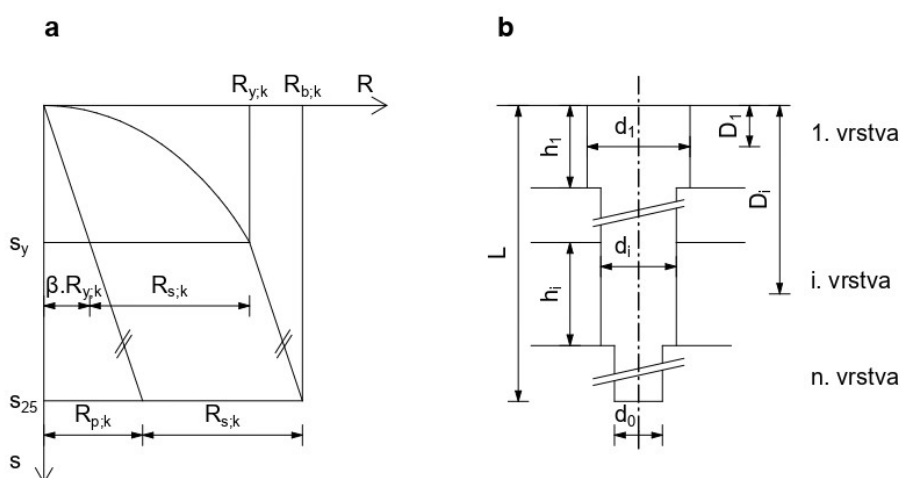
$$f_{si} = \sigma_{xi} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\varphi_{di}}{\gamma_{r1}} \right) + \frac{c_{dt}}{\gamma_{r2}} \quad 4.9$$

$$\sigma_{xi} = k_2 \cdot \sigma_{ori} \quad 4.10$$

kde σ_{ori} je geostatické napětí od původního terénu v hloubce poloviny i -té vrstvy.

4.4.2.2.3.2 Svislá únosnost piloty – 2.MS

Pro posouzení únosnosti ve svislém směru byla použita teorie dle Masopusta (nelineární teorie sedání). Svislá únosnost vrtaných pilot ve stlačitelném podloží se stanovuje 2. mezním stavem. Pro její stanovení se využívá mezní zatěžovací křivka (obr. 4.12). Křivka se rozděluje na dvě části parabolickou a lineární. Postupné sedání piloty prvně působí na plášť a až do mobilizace plášťového tření je křivka parabolická, poté už je křivka lineární, kde se zvyšuje únosnost paty. [37]



Obrázek 4.12 a – mezní zatěžovací křivka vrtané piloty, b – schéma piloty uložené ve vrstevnaté zemině [37]

Parabolický průběh sedání při zatížení R působící v hlavě piloty do mobilizace plášťového tření se určí podle vztahu:

$$s = s_y \cdot \left(\frac{R}{R_y} \right)^2 \quad 4.11$$

kde je:

R_y zatížení v hlavě piloty na mezi mobilizace plášťového tření,

s_y sedání na mezi mobilizace plášťového tření,

R zatížení působící v hlavě piloty.

Vztahy R_y a s_y jsou:

$$R_y = \frac{R_{su}}{1 - \beta} \quad 4.12$$

$$s_y = \frac{I \cdot R_y}{d \cdot E_s} \quad 4.13$$

kde je:

R_{su} mezní únosnost na plášti,

β koeficient přenosu zatížení do paty,

I příčinkový koeficient sedání,

d průměr piloty a

E_s sečnový modul deformace.

Mezní únosnost na pláště je dána:

$$R_{su} = m_1 \cdot m_2 \cdot \pi \cdot \sum d_i \cdot h_i \cdot q_{si} \quad 4.14$$

kde je:

m_1 dílčí koeficient dle druhu zatížení, pro zatížení provozní je rovno 0,7 a pro zatížení extrémní je rovno 1,0,

m_2 dílčí koeficient, který určuje vliv povrchu dřívku podle tabulky 4.4,

d_i průměr piloty v jednotlivých vrstvách základové zeminy,

h_i mocnost jednotlivých vrstev základové zeminy,

q_{si} je mezní plášťové tření v i-té vrstvě piloty.

Tabulka 4.4 Dílčí koeficient m_2 vyjadřující vliv dřívku [37]

koeficient m_2	
fólie PVC, PE tl. Přes 0,7 mm	0,7
fólie a pletiva B-systému	0,5
ponechaná ocel. výpažnice	0,15
betonáž do suchého vrtu a pod vodou	1

Mezní plášťové tření q_{si} se určuje po vrstev zeminy/horniny a k jeho stanovení se používají tzv. regresivní koeficienty **a** a **b** (jejich hodnoty jsou v tabulce 4.5). K těmto hodnotám se došlo pomocí statistických analýz.

$$q_{si} = a - \frac{b}{d_i} \quad 4.15$$

Tabulka 4.5 Velikosti regresivních koeficientů [37]

Zemina		Regresní koeficienty (kPa)			
Hornina		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	$I_D = 0,5$	62,46	16,06	268,11	174,89
	$I_D = 0,7$	91,22	48,44	490,34	445,42
	$I_D = 1$	154,03	115,88	1596,7	1399,88
Soudržné	$I_c = 0,5$	46,39	20,81	197,74	150,22
	$I_c \geq 1,0; R_6$	97,31	108,59	987,6	1084,26

Pro zatížení v hlavě piloty na mezi mobilizace pláště R_y , jak vyplývá z rovnice 4.12, je zapotřebí zjistit koeficient přenosu zatížení do paty piloty β . β je dán rovnicí

$$\beta = \frac{q_0}{q_0 + 4 \cdot q_s \cdot \frac{L}{d_0}} \quad 4.16$$

kde je:

q_0 velikost napětí na patě piloty při deformaci odpovídající plné mobilizaci plášťového tření,

q_s průměrná velikost plášťového tření podél dřívku,

L délka piloty,

d_0 průměr piloty v patě.

Velikost napětí na patě piloty q_0 je dáno regresivními koeficienty e a f , délkou pilotou L a průměrem piloty v patě d_0 . Vztah q_0 je

$$q_0 = e - \frac{f}{\frac{L}{d_0}} \quad 4.17$$

Průměrná velikost plášťového tření q_s je podle vztahu

$$q_s = \frac{\sum d_i \cdot h_i \cdot q_{si}}{\sum d_i \cdot h_i} \quad 4.18$$

Pro odpovídající velikost sedání s_y je zapotřebí zjistit příčinkový koeficient sedání piloty I , který se zjistí rovnicí 4.19, kde je I rovno součinu základního příčinkového koeficientu I_1 a korekčnímu součiniteli R_k . I_1 je stanovený podle obrázku 4.13, kde je vodorovná osa podíl délky piloty L ku průměru piloty d a svislá osa je I_1 . R_k je stanoveno dle obrázku 4.14, kde vodorovná osa je tuhost piloty K , která je dána vztahem 4.20, svislá osa R_k a nelineární křivky jsou podíly délky piloty L ku průměru piloty d .

$$I = I_1 \cdot R_k \quad 4.19$$

$$K = \frac{E_b}{E_s} \quad 4.20$$

Ze vztahu tuhosti piloty K je vidět, že tuhost závisí na poměru modulu deformace betonu E_b a sečnového modulu deformace E_s . Sečnový modul deformace E_s se zjistí váženým průměrem dle rovnice

$$E_s = \frac{\sum E_{si} \cdot h_i}{\sum h_i} \quad 4.21$$

kde E_{si} je sečnový modul deformace pro jednotlivé vrstvy, které jsou dány pro horniny poloskalní, nesoudržné zeminy a soudržné zeminy.

Tabulka 4.6 Sečnové moduly deformace E_s (MPa) pro horniny poloskalní [37]

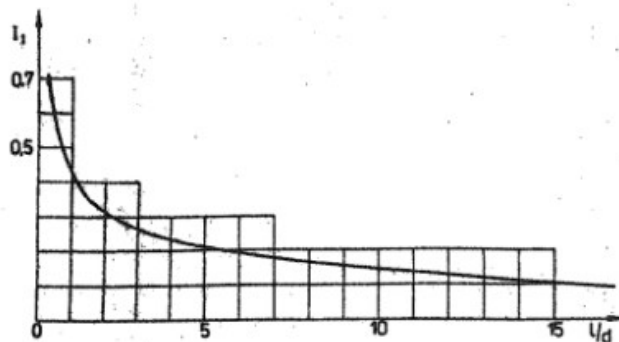
h (m)	d (m)								
	0,6			1			1,5		
	R 3	R 4	R 5	R 3	R 4	R 5	R 3	R 4	R 5
1,5	50,3	28,2	20,2	72,3	35	24,7	85,5	33,5	22,3
3	64,5	43,1	30,8	105,5	57,3	41	138,3	58,8	41,2
5	-	58,2	41,3	-	15,3	54,8	-	87,9	63,7
10	-	87,5	61,6	-	114,5	83,2	-	133	97

Tabulka 4.7 Sečnové moduly deformace E_s (MPa) pro zeminy nesoudržné [37]

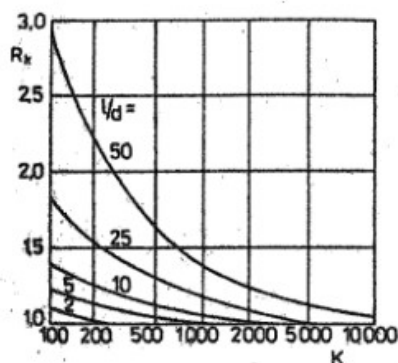
h (m)	d (m)								
	0,6			1			1,5		
	I_D								
	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
1,5	11	13,7	28,3	12,8	15,8	30,6	13	15,3	29
3	15,5	20,2	44,5	18,4	25	47,8	19,4	24,5	52,5
5	18,8	26,6	56,1	22,8	32,5	69,1	24,5	36	78,2
10	23,8	36,6	72,1	29,8	47,8	93,4	32,6	54	107,3

Tabulka 4.8 Sečnový modul deformace E_s (MPa) pro zeminy soudržné [37]

h (m)	d (m)					
	0,6		1		1,5	
	I_C					
	0,5	≥ 1	0,5	≥ 1	0,5	≥ 1
1,5	6,9	13,2	7,9	13,4	8,6	12,3
3	10	22	12,5	23,9	13,7	23
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



Obrázek 4.13 Příčinkový koeficient sedání I_1 [38]



Obrázek 4.14 Korekční součinitel R_k [38]

Druhá větev je lineární a nastává po bodu $[R_y; s_y]$ a probíhá až do bodu $[R_{bu}; s_{25}]$. Druhá větev je rovnoběžná se zatížením na patě. Koncový bod druhé větve R_{bu} je dán vztahem

$$R_{bu} = R_{su} + R_{pu} \quad 4.22$$

kde je:

R_{pu} mezní zatížení na patě při sedání 25 mm, jehož vztah je

$$R_{pu} = \beta \cdot R_y \cdot \frac{s_{25}}{s_y} \quad 4.23$$

Průběh sedání pro druhou větev je

$$s = s_y + (s_{25} - s_y) \cdot \frac{R - R_y}{R_{bu} - R_y} \quad 4.24$$

4.4.2.2.3.3 Vodorovná únosnost piloty

Pilota se modeluje jako nosník vetknutý do pružného prostředí. Model vychází z Winklerovy hypotézy, která je dána vztahem

$$\sigma_z = k_{h,z} \cdot u_z \quad 4.25$$

kde je:

$k_{h,z}$ modul vodorovné reakce podloží v hloubce z

u_z příslušná vodorovná deformace piloty

Modul $k_{h,z}$ v soudržných zeminách a poloskalních horninách se předpokládá, že má konstantní velikost v celé hloubce a je dán vztahem

$$k_h = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_{def}}{d} \quad 4.26$$

kde za d se dosazuje průměr piloty, pokud průměr piloty nepřesahuje hodnotu jedna, jinak se za d dosazuje hodnota 1.

Tuhost lineární pružiny v soudržných zeminách a poloskalních horninách $c_{h,lin}$ je podle rovnice

$$c_{h,lin} = k_h \cdot d \quad 4.27$$

V nesoudržných zeminách se předpokládá, že modul $k_{h,z}$ roste lineárně s přibývajícím hloubkou. Rovnice modulu v nesoudržných zeminách je

$$k_h = n_h \cdot \frac{z}{d} \quad 4.28$$

kde je:

n_h konstanta dle tabulky 4.9,

z hloubka od upraveného terénu,

d průměr piloty.

Tabulka 4.9 konstanta n_h (MN/m³) pro nesoudržné zeminy [37]

Zemina	n_h (MN.m ⁻³)		
Relativní ulehlost I_D	0,33	0,5	0,9
Suchý písek a štěrk	1,5	7	18
Vlhký písek a štěrk	2,5	4,5	11

Tuhost pružiny c_h jako bodová pružná podpora v nesoudržných zeminách se určí dle vzorce

$$c_h = k_h \cdot d \cdot \Delta z \quad 4.29$$

kde je:

Δz délka piloty L či jedné nebo více vrstev h_i nesoudržné zeminy podělené počtem dílků n , na kterou L nebo h_i rozděluje. Vztah pro Δz je dán rovnicí

$$\Delta z = \frac{L}{n} \text{ nebo } \Delta z = \frac{h_i}{n} \quad 4.30$$

4.4.2.2.4 Materiál piloty

Dle IGHP zjištěného agresivního prostředí byly zvoleny stupně vlivu a třída pevnosti betonu C30/37 – XA1, XC4. Betonářská ocel byla zvolena B500B.

Tabulka 4.10 Charakteristické vlastnosti betonu

Materiál	γ (kNm ⁻³)	E_{cm} (MPa)	G (MPa)	f_{ck} (MPa)	f_{ctm} (MPa)	v (-)
C 30/37	25	33 000	13 750	30,0	2,90	0,15

Tabulka 4.11 Charakteristické vlastnosti betonářské výztuže

Materiál	γ (kNm ⁻³)	F_{yk} (MPa)
B 500 B	78,5	500,0

4.4.2.2.5 Zatížení

Zatížení působící v hlavě piloty bylo převzato od statika vrchní stavby. Zatížení bylo obdrženo v návrhových hodnotách. Pro získání provozního zatížení bylo návrhové zatížení poděleno γ_G .

Moment působící v hlavě piloty byl dopočítán z uvažované excentricity 100 mm v obou směrech, které mohou vzniknout z nepřesnosti osazení piloty.

Tabulka 4.12 Zatěžovací stavy v návrhových hodnotách pro pilotu o \varnothing 1180 mm a dl. 7 m

Číslo piloty	Svislá síla Ned	Ohyb. Moment M_x a M_y	Vodorovná síla H_x	Vodorovná síla H_y
(-)	(kN)	(kN.m)	(kN)	(kN)
1009	1633,00	163,30	338,00	70,00
1010	1732,00	173,20	196,00	287,00
1018	1761,00	176,10	10,00	384,00
1024	1198,00	119,80	14,00	442,00
1029	1695,00	169,50	62,00	715,00

Tabulka 4.13 Zatěžovací stavy v návrhových hodnotách pro pilotu o \varnothing 880 mm a dl. 9 m

Číslo piloty	Svislá síla Ned	Ohyb. Moment M_x a M_y	Vodorovná síla H_x	Vodorovná síla H_y
(-)	(kN)	(kN.m)	(kN)	(kN)
1011	1589,00	158,90	2,00	16,00
1019	1652,00	165,20	7,00	4,00
1020	2009,00	200,90	10,00	12,00
1021	1501,00	150,10	20,00	9,00

Tabulka 4.14 Zatěžovací stavy v návrhových hodnotách pro pilotu o Ø 880 mm a dl. 8 m

Číslo piloty	Svislá síla Ned	Ohyb. Moment M_x a M_y	Vodorovná síla H_x	Vodorovná síla H_x
(-)	(kN)	(kN.m)	(kN)	(kN)
1002	1029,00	102,90	6,00	9,00
1008	1168,00	116,80	36,00	21,00
1012	1194,00	119,40	10,00	12,00
1017	1381,00	138,10	21,00	6,00
1022	1236,00	123,60	20,00	23,00
1028	1078,00	107,80	71,00	18,00
1030	1181,00	118,10	12,00	23,00
1031	1399,00	139,90	4,00	29,00
1032	1064,00	106,40	14,00	24,00

Tabulka 4.15 Zatěžovací stavy v návrhových hodnotách v rozmezí svislé síly 500 kN až 1000 kN pro pilotu o Ø 880 mm a dl. 7 m

Číslo piloty	Svislá síla Ned	Ohyb. Moment M_x a M_y	Vodorovná síla H_x	Vodorovná síla H_x
(-)	(kN)	(kN.m)	(kN)	(kN)
1003	771,00	77,10	10,00	8,00
1005	597,00	59,70	-47,00	140,00
1006	927,00	92,70	32,00	27,00
1007	878,00	87,80	2,00	17,00
1013	965,00	96,50	-13,00	29,00
1014	553,00	55,30	-19,00	-44,00
1015	983,00	98,30	6,00	3,00
1016	888,00	88,80	4,00	4,00
1023	610,00	61,00	-18,00	-52,00
1025	606,00	60,60	-28,00	-205,00
1026	794,00	79,40	35,00	-26,00
1027	736,00	73,60	-5,00	-18,00
1033	729,00	72,90	16,00	-304,00

Tabulka 4.16 Zatěžovací stavy v návrhových hodnotách v rozmezí svislé síly 0 kN až 500 kN pro pilotu o \varnothing 880 mm a dl. 7 m

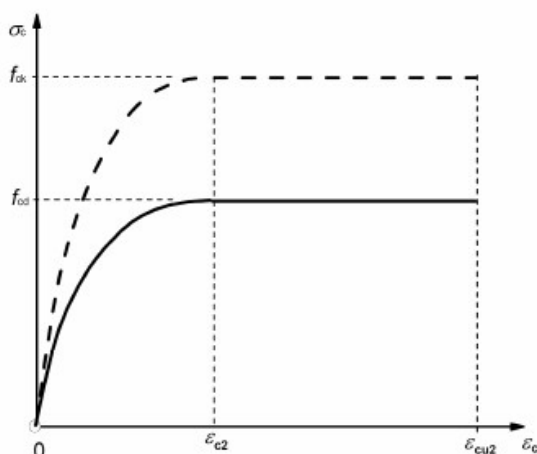
Číslo piloty	Svislá síla Ned	Ohyb. Moment M_x a M_y	Vodorovná síla H_x	Vodorovná síla H_x
(-)	(kN)	(kN.m)	(kN)	(kN)
1001	431,00	43,10	-7,00	210,00
1004	313,00	31,30	-7,00	93,00
1034	262,00	26,20	-43,00	280,00
1035	262,00	26,20	43,00	280,00
1036	376,00	37,60	4,00	-345,00
1037	376,00	37,60	4,00	-345,00
1038	38,00	3,80	-15,00	-42,00
1039	38,00	3,80	15,00	-42,00

4.4.2.3 Posudek průřezů pilot STR

4.4.2.3.1 Metodika výpočtu

4.4.2.3.1.1 Metoda mezního přetvoření

U železobetonových průřezů je pilota posuzována metodou mezního přetvoření. U přetvoření se uvažuje v tlaku 0,002 až 0,0035. Z důvodu, že piloty bývají nejčastěji kruhové je u nich snížena pevnost betonu o 10 %. [31]



Obrázek 4.15: parabolicko-rektangulární pracovní diagram pro beton namáhaný tlakem [31]

Pracovní diagram se může zjednodušit na bilineární pracovní diagram. U tohoto diagramu je předpoklad, že napětí je rozděleno do obdélníku a součinitel λ určuje výšku tlačené oblasti a součinitel η definuje účinnou pevnost. [31]

Součinitel λ se určuje následovně:

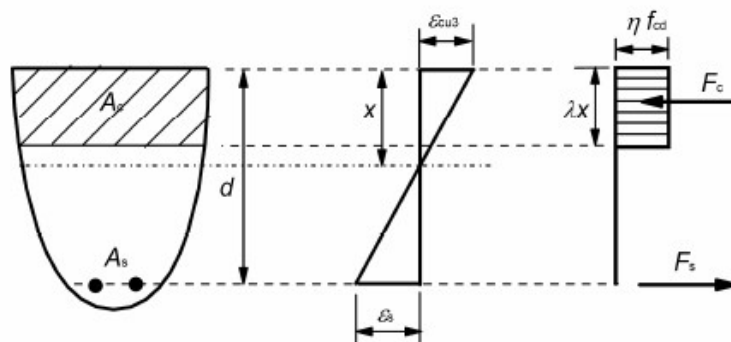
$$\lambda = 0,8 \quad \text{pro } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad 4.31$$

$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400 \quad \text{pro } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad 4.32$$

a součinitel η se určuje:

$$\eta = 1,0 \quad \text{pro } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad 4.33$$

$$\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50)/200 \quad \text{pro } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad 4.34$$



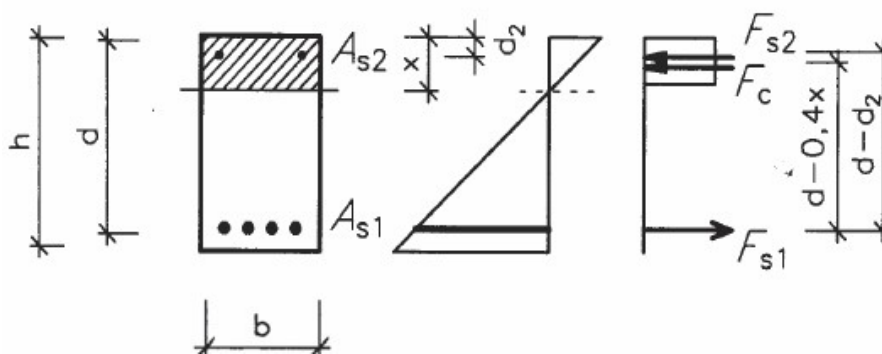
Obrázek 4.16: obdélníkové rozdělení napětí v průřezu [31]

4.4.2.3.1.2 Metoda mezních stavů (interakční diagram)

Tlak a ohyb

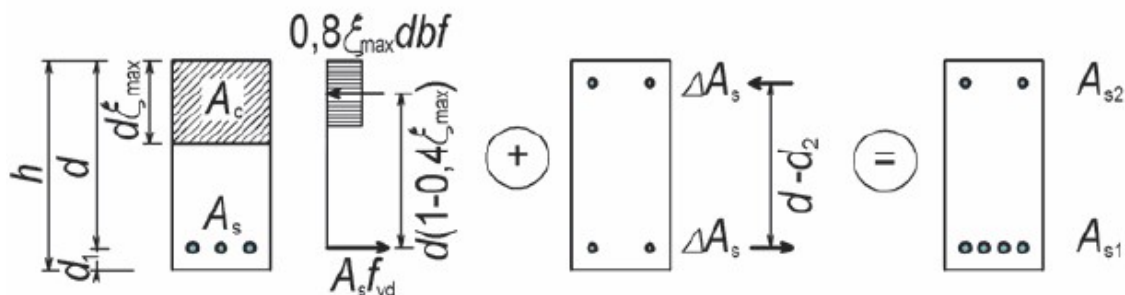
Výztuž pro piloty posouzena na působení normálových sil a ohybových momentů a byl k tomu využit interakční diagram. Výpočet MSÚ byl proveden dle ČSN EN 1992-1-1. Při posuzování je zanedbávána tahová pevnost betonu. Výztuž v tlačené části průřezu je uvažována, že spolupůsobí s betonem.

Posouzení na ohyb vychází z posouzení oboustranně vyztuženého průřezu. Oboustranně vyztužený průřez má podélnou výztuž tlakovou A_{s1} a tahovou A_{s2} (viz. obrázek 4.17). Při uvažování spolupůsobení tlakové výztuže se zvětšuje moment únosnosti



Obrázek 4.17: Oboustranně vyztužený průřez [39]

Při posuzování se vychází z jednostranně vyztuženého průřezu, kde se spočítá maximální únosnost $M_{Rd,max}$, musí být při tom zajištěny normové požadavky na výšku tlačené oblasti (platí $\xi = \xi_{bal,1}$ nebo $\xi = x_u/d$). Při výpočtu se nemění výška tlačené oblasti u stejné plochy přidané tahové i tlakové výztuže ΔA_s , ale pouze se zvětšuje moment únosnosti.



Obrázek 4.18: Návrh výztuže oboustranně vyztuženého průřezu [39]

Pro stanovení potřebné tahové výztuže A_s při $\xi = \xi_{max}$ a pro určení odpovídající maximální únosnosti $M_{Rd,max}$ jsou následující vztahy:

$$A_s = \lambda \cdot \xi_{max} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} / f_{yd} \quad 4.35$$

$$A_s = \lambda \cdot \xi_{max} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot \xi_{max} \cdot d) \quad 4.36$$

Stanovení nutné plochy přidavné výztuže ΔA_s :

$$\Delta A_s = \frac{M_{Ed} - M_{Rd,max}}{f_{yd} \cdot (d - d_\xi)} \quad \begin{matrix} A_{s1} \geq A_s + \Delta A_s \\ A_{s2} \geq \Delta A_s \end{matrix} \quad 4.37$$

Určení výšky tláčené oblasti v MSÚ vychází z rovnováhy sil v tláčeném betonu, takové a tahové výztuži, kde je předpoklad využití veškeré výztuže v MSÚ ($\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}$):

$$x = \frac{(A_{s1} - A_{s2}) \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} \quad 4.38$$

Výpočet momentu únosnosti:

$$M_{Rd} = b \cdot \lambda \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x) + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot (d - d_2) \quad 4.39$$

Smyk

Únosnost ve smyku je stanovena dle ČSN EN 1992-1-1, kapitola 6.2.2.

Prostý betonový průřez má smykovou únosnost:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad 4.40$$

kde je:

- ρ_l Stupeň vyztužení tahovou výztuží,
- f_{ck} charakteristická válcovaná pevnost betonu v tlaku v $t = 28$ dní,
- b_w nejmenší šířka průřezu v tažené oblasti,
- d účinná výška průřezu.

Vyztužený betonový průřez má smykovou únosnost svislé výztuže:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cos \Theta \quad 4.41$$

kde je:

- A_{sw} plocha smykové výztuže,
- s osová vzdálenost smykové výztuže,
- f_{yd} návrhová mez kluzu smykové výztuže,

- z rameno vnitřních sil,
 θ sklon tlačných diagonál.

Pokud je smyková výztuž skloněna pod úhlem α , pak je únosnost výztuže dána:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{yd} \cdot (\cos \theta + \cos \alpha) \cdot \sin \alpha \quad 4.42$$

Únosnost tlačných diagonál se určí ze vztahu:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cos \theta + \tan \theta} \quad 4.43$$

kde je:

- α součinitel stavu napětí v tlačném pásu v betonu rovno 1,0,
 b_w nejmenší šířka průřezu mezi tlačným a taženým pásem,
 v_1 redukční součinitel betonu při porušení smykem,
 f_{cd} návrhová válcová pevnost betonu,
 θ sklon tlačných diagonál.

Únosnost tlačných diagonál při skloněné smykové výztuži pod úhlem α :

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta} \quad 4.44$$

Celková únosnost průřezu ve smyku je dána jako menší z hodnot $V_{Rd,s}$ a $V_{Rd,max}$.

Vzpěr:

Vzhledem ke skutečnosti panuje předpoklad, že piloty díky svému velkému průměru není nutno posuzovat na vybočení. K tomuto aspektu ještě nahrává to, že je předpoklad toho, že okolní zemina brání též vybočení. Abychom byli na straně bezpečnosti ve výpočtu byl posouzen i vzpěr.

4.4.2.4 Výsledky návrhu pilot

Piloty o průměru 1180 mm byly navrženy s délkou 7,0 m a piloty o průměru 880 mm byly navrženy s délkou 9,0 m, 8,0 m a 7,0 m. Jednotlivé piloty jsou popsány v Tabulce prvků v Příloze 3.

Jednotlivé statické posudky viz. Příloha 1.

Armokoše pro piloty jsou popsány v Návrhu výztuže pilot, viz. Příloha 2.

4.5 Model založení v Revitu

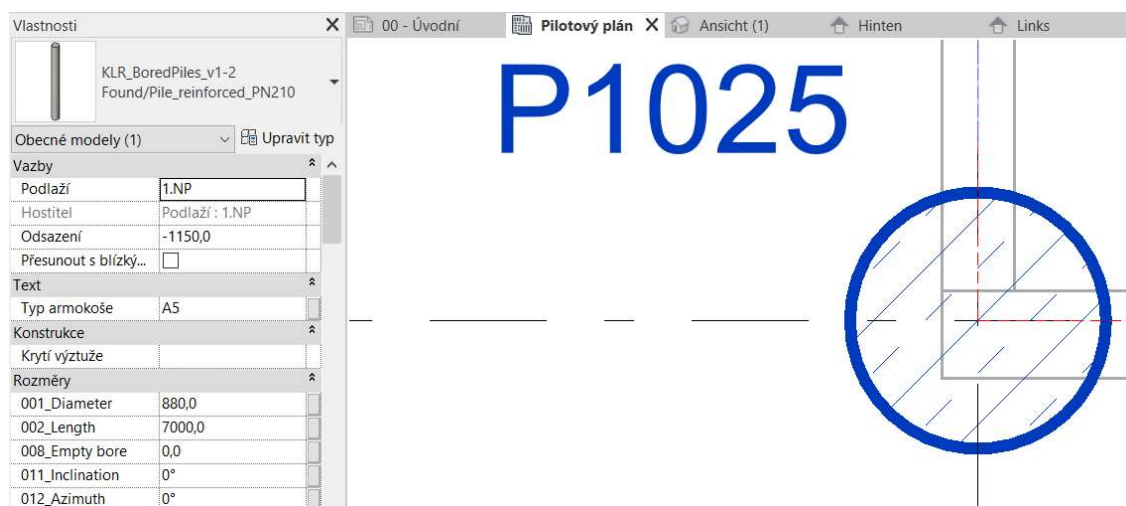
Model vrchní stavby byl převzat od firmy Obermeyer Helika a.s.

Pro model hlubinného založení byla použita rodina od firmy KELLER – speciální zakládání spol. s r.o. Konkrétně byla použita rodina s názvem KLR_BoredPiles_v1-2, která slouží pro modelování pilot a pilotových stěn. Tato rodina byla použita z důvodu, že slouží jako dobrá ukázka, jak by měla rodina pro geotechnické konstrukce vypadat. Využití se najde u ní od prvotních návrhů až po zaznamenání dat o jejich skutečném stavu provedení.

Rodina je rozdělena do čtyř typů: na piloty vyztužené (Found/Pile_reinforced_PN210), nevyztužené (Found/Pile_unreinforced_PN210) a piloty pro pilotové stěny, kde piloty jsou

rozděleny na sekundární (RetWall/Pile_reinforced_SecPile_PN210) a primární (RetWall/Pile_unreinforced_PriPile_PN210). Číslo na konci PN210 udává, jakou technologii bude pilota prováděna, v tomto případě se jedná o klasicky vrtanou pilotu (v případě pilot CFA firma Keller používá číslo PN220). Je to ukázka toho, že už i pojmenování jednotlivých knihovních prvků mělo mít systém, který si firma zavede a mělo by být jasné, o jaký druh konstrukce a technologii provádění se jedná.

Piloty navržené pro požární zbrojnici Hlavenec byly navrženy jako vrtané a vyztužené, byl tedy použit typ (Found/Pile_reinforced_PN210).



Obrázek 4.19 Zobrazení piloty v půdoryse s jejími vlastnostmi

Piloty byly modelovány do Revitu dle návrhu uvažovaného ve statickém výpočtu. Každá jednotlivá pilota má informace o svislé tlakové síle, která byla uvažována jako zatížení působící v hlavě piloty. Mezi základními geometrickými informacemi je průměr piloty pažené, délka piloty, horní úroveň hlavy piloty. Jelikož je pilota vyztužená, je u piloty zadán i typ armokoše, který byl navržen dle statického výpočtu. Tyto základní informace jsou vykážány v Tabulce prvků (viz. Příloha 3). Na rozdíl od tradičního způsobu, kdy je tvořena obvykle tabulka prvků zvlášť např. v Excelu a výkres pro hlubinné založení rýsován obvykle v AutoCADu, je zde již tabulka součástí modelu vytvořeného v Revitu. Jakákoliv úprava např. v půdoryse ve vlastnostech prvků je ihned zaznamenána a změněna v tabulce prvků (stejně to funguje i naopak, změni se např. průměr piloty a následně se automaticky změni v celém modelu). Každá pilota je označena číslem (na obrázku 4.19 je vidět pilota s číslem P1025), tak aby se dala snadno identifikovat. Mezi další důležité informace, které jsou zahrnuty do vlastností piloty a jsou důležité vědět při provádění pilot, je délka hluchého vrtání odvozeného od připravené pracovní úrovně a dále od toho pak následně odvozená, je celková délka vrtu. Ukázka vytvořené tabulky prvků je na obrázku 4.20.

Číslo piloty	Svislá síla tlaková		Průměr piloty pažené (mm)	Délka piloty (m)	Hluchá délka vrtu (m)	Celková délka vrtu (m)	H.U. hlavy piloty		Pracovní úroveň		Typ armokoše
	char. (kN)	návrh. (kN)					(m)	(m n.m.)	(m)	(m n.m.)	
P1001	319.00	430.65	880	7.00	0.75	7.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A5
P1002	762.00	1028.7	880	8.00	0.75	8.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A4
P1003	571.00	770.85	880	7.00	0.75	7.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A6
P1004	232.00	313.2	880	7.00	0.75	7.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A6
P1005	442.00	596.7	880	7.00	0.75	7.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A5
P1006	687.00	927.45	880	7.00	0.75	7.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A6
P1007	650.00	877.5	880	7.00	0.75	7.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A6
P1008	865.00	1167.75	880	8.00	0.75	8.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A4
P1009	1210.00	1633.5	1180	7.00	0.75	7.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A1
P1010	1283.00	1732.05	1180	7.00	0.75	7.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A1
P1011	1177.00	1588.95	880	9.00	0.75	9.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A2
P1012	884.00	1193.4	880	8.00	0.75	8.75	-1.15	181.45	-0.40	182.20	A4

Obrázek 4.20 Část tabulky pilot v Revitu pro hasičskou zbrojnici Hlavenec

Kdyby piloty byly ukloněny, tak sklon pilot jde zadat do vlastností. Dále pak lze vykázat objem piloty. V případě hasičské zbrojnice byla výztuž popsána pouze podle toho, jaký typ armokoše bude do ní osazen. Rodina umožňuje zadat přímo vlastnosti, jako je celkový objem výztuže a popsat podélnou výztuž (délku, počet a průměr prutů). Mezi další vlastnosti, co lze zadat do každé piloty zvlášť, je navržená pevnost betonu nebo popsat typ betonářské oceli.

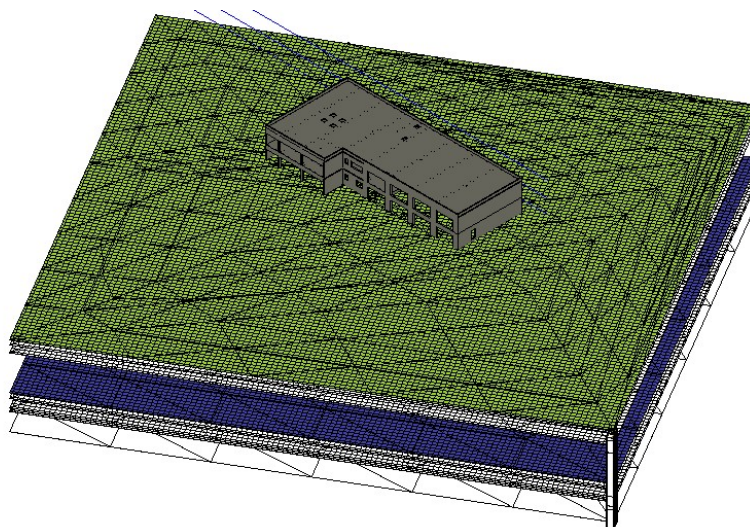
Dalším důležitým údajem, co by měl být ve vlastnostech piloty udán, jsou jeho přesné souřadnice, podle kterých se piloty realizují přímo na stavbě. V programu Revit sice můžeme zjistit, kde se pilota nachází vůči projektovému severu, ale je komplikované tento údaj dostat přímo do vlastností jednotlivých pilot tak, aby se psal automaticky a nemusel se zadávat pokaždé ručně. Tato komplikace byla vyřešena nainstalováním nástavby od firmy CCTools, která umožňuje zadat do vlastností souřadnice dle projektového severu, který je v Revitu nastaven. Díky tomu se mohly snadno vykázat souřadnice os pilot dle SJTS-K (viz. obrázek 4.21, sloupce X a Y) a jejich nadmořská výška (viz. obrázek 4.20, sloupec H.Ú. hlavy Pilot).

A	B	C
Číslo piloty	X (m)	Y (m)
P1001	1030674,23	722351,47
P1002	1030671,19	722356,65
P1003	1030668,15	722361,82
P1004	1030666,41	722364,77
P1005	1030685,45	722322,90
P1006	1030682,24	722328,35

Obrázek 4.21 Část tabulky souřadnic os pilot v Revitu pro hasičskou zbrojnici Hlavenec

Výše popsané vlastnosti slouží hlavně proto, aby mohla být zhotovena realizační dokumentace. Rodina od Kelleru počítá i s tím, aby mohla být zhotovená dokumentace skutečného provedení stavby. Mezi vlastnostmi rodiny se najdou údaje, které lze zadat jako jsou začátek a konec provedení piloty, přidat odkaz na dokumentaci o provedených zkouškách na pilotách, skutečná pozice pilot, skutečné použité množství betonu pro zhotovení piloty a v neposlední řadě lze zaznamenat zjištěné mocnosti vrstev zeminy.

Vytvořený model v Revitu obsahuje model hlubinného založení pomocí vrtaných pilot a geologický model ve formátu IFC, který byl popsán v kapitole 4.3.2. V Revitu byl vytvořen výkres s půdorysem hlubinného založení, který obsahuje tabulky pilot a tabulky souřadnic os pilot. Takto vytvořený model se dá popsat jako 3D BIM.



Obrázek 4.22 3D geologický model v Revitu pro hasičskou zbrojnici Hlavenec

5 Závěr

Specifikum geotechnického oboru je interakce stavby s geologickým prostředím. Ve své diplomové práci jsem se snažila popsat současný stav BIM projektování s ohledem na geotechnické úlohy. Dílčí úkol práce jsem se snažila splnit v kapitole 3 „BIM a geotechnika“, kde bylo blíže specifikováno v jednotlivých podkapitolách, využití této metody a popsána problematika spojená se zaváděním geotechnického prostředí do BIM modelu svrchní stavby. Z hlediska základního popisu bylo využito podkladů ze zahraničí hlavně z Německa a Velké Británie. Pro ukázkou, kde byla metoda BIM využita, byly vybrány a v práci představeny 3 stavby z Velké Británie. U staveb byl zdůrazněn společný prvek, a to zefektivnění návrhu geotechnické konstrukce, kterého bylo docíleno za pomoci metody BIM.

Především jsem se zaměřila na představení praktické aplikace BIM metody v projektování geotechnických úloh na příkladu návrhu hlubinného založení požární zbrojnice Hlavenec. Tento stanovený úkol byl splněn s tím, že jsem popsala řešení poměrně komplikovaného kroku vytváření modelu podloží a jeho následnou implementaci do standardního modelu vytvořeného metodou BIM.

Z hlediska uživatelského/praktického využití pro stavebního inženýra je poměrně problémem nejen vlastní pochopení vytváření standardních modelů v rámci BIM, ale i především zahrnutí vlivu modelování podloží v celkovém projektu.

Výsledkem je zpracovaný geologický model v softwaru Stratigrafie, který sloužil pro import dat sloužící nejen pro statické posouzení, ale i pro zahrnutí dalších informací jako jsou například geomechanické vlastnosti zemin a hornin, výšková úroveň povrchu terénu, jednotlivých rozhraní vrstev a hladiny podzemní vody. Všechny výše zmíněné informace vycházely z provedených geologických sond popsaných v IGHGP. V neposlední řadě importovaná data sloužila k umístění objektu v rámci geologického modelu. Data byla importována do softwarů Pilota a Revit, kde byly zhodnoceny geologické podmínky tak, aby bylo navrženo pokud možno co nejoptimálnější řešení hlubinného založení pro požární zbrojnici Hlavenec.

Součástí diplomové práce je doplněný model o výsledný návrh hlubinného založení, vytvořený v BIM softwaru Revit. Do modelu jsou zaneseny vlastnosti o jednotlivých pilotách, které slouží pro jejich realizaci. Mezi těmito informacemi je délka, průměr, výšková úroveň piloty, navržená výztuž pro piloty a délka hluchého vrtu a vyplývající celková délka vrtu. Výstupem z modelu je Situace pilotového pole (viz: Příloha 3). Další výstupy výsledného návrhu je návrh výztuže pilot (viz: Příloha 2) a statický posudek (viz: Příloha 1).

Takto vytvořený model slouží k lepší kontrole kolizí a odchylek vzniklých při provádění staveb, hledání kritických míst a zlepšení komunikace mezi jednotlivými profesemi. Při tvorbě modelu tabulky prvků a výkazy výměr jsou na jednom místě a to usnadňuje a zrychluje zaznamenání veškerých změn v projektu.

Dále by BIM model hasičské zbrojnice Hlavenec mohl být doplněn o čas tzv. 4D BIM, který by obsahoval harmonogram prací. Proces výstavby by se dal snadněji optimalizovat a díky tomu by se mohlo ušetřit na čase, předejít rizikovým místům a zhodnotit jaká varianta návrhu je nejekonomičtější. Popřípadě by mohl být BIM model rozšířen o tzv. 5D BIM, který by navíc obsahoval cenu a pomocí vytvořených kalkulací a výkazů, kde by bylo snahou docílit úspory nákladů.

Závěrem bych ráda konstatovala, že zavádění metody BIM do geotechnických úloh je v začátcích. Je to postupný proces, který potřebuje čas, aby se stal součástí běžné praxe. Za pomoci jednotlivých geotechnických firem a vysokých škol stavebního směru se může vývoj posouvat a může se docílit zefektivnění řešení geotechnických úloh. Vhodné by bylo taktéž normové ukotvení obsahu,

rozsahu a unifikace užití BIM metody v projektování v rámci celého stavebního oboru a projekční praxe v ČR.

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Životní cyklus stavby [1]	10
Obrázek 2.2 MacLeamyho křivka [3]	11
Obrázek 2.3 BIM dimenze [5]	11
Obrázek 2.4 Ukázka rozdílu BIM od tradičního způsobu projektování [7].....	12
Obrázek 2.5 Stěžejní témata pro jednotlivé kroky [11].....	14
Obrázek 3.1 Astrid Centre I. etapa – místo, kde bylo nutné zkontrolovat kolizi mezi kotvami.	15
Obrázek 3.2 Ilustrace spojení geologického modelu s navrženou geotechnickou konstrukcí [13].....	17
Obrázek 3.3 Vlevo – jednotlivé geologické vrty, vpravo – zemní kotvy, které prochází jednotlivými vrstvami zeminy [13].....	18
Obrázek 3.4 Ukázka LOG 200 u piloty [13]	19
Obrázek 3.5 Ukázka LOG 300 piloty [13].....	20
Obrázek 3.6 Ukázka LOG 400 piloty [13].....	20
Obrázek 3.7 Ukázka druhé až čtvrté úrovně geometrie pilotové stěny [13]	20
Obrázek 3.8 Ukázka detailu informací modelu piloty a pilotové stěny dle procesu stavebního řízení [13]	21
Obrázek 3.9 Přehled přijetí BIM v Evropě [17].....	22
Obrázek 3.10 Pohled na staveniště Victoria Station [16]	23
Obrázek 3.11 Umístění sloupů TI [16].....	23
Obrázek 3.12 Pohled na staveniště Marble Arch Place [21].....	24
Obrázek 3.13 3D model sloupů tryskové injektáže, podchycující základy stávajícího objektu [21]...	24
Obrázek 3.14 3D BIM pohled na šachtu [22].....	25
Obrázek 3.15 Letecký pohled na staveniště v Blackfriars, Londýn [22]	25
Obrázek 3.16 5 Základní pilíře činnosti Odborné rady pro BIM [23].....	26
Obrázek 3.17 Řez 3D modelem dálnice D8 [26].....	27
Obrázek 4.1 Ukázka hotového geologického modelu vytvořeného ve Stratigrafii od FINE [28].....	32
Obrázek 4.2 Geologický model vytvoření ve Stratigrafii pro požární stanici Hlavenec.....	33
Obrázek 4.3 Výsledný zemní profil ze Stratigrafie pro pilotu s číslem P1005.....	34
Obrázek 4.4 Výsledný zemní profil ze Stratigrafie pro pilotu s číslem P1009.....	34
Obrázek 4.5 Výsledný zemní profil ze Stratigrafie pro pilotu s číslem P1013.....	34
Obrázek 4.6 Výsledný zemní profil ze Stratigrafie pro pilotu s číslem P1025.....	35
Obrázek 4.7 Výsledný zemní profil ze Stratigrafie pro pilotu s číslem P1033.....	35
Obrázek 4.8 Výsledný profil ze Stratigrafie v místě sondy s číslem S4.....	35
Obrázek 4.9 Řez budovou se zobrazením jednotlivých rozhraní vrstev zemin	36
Obrázek 4.10 Geologický profil navrhovaného hlubinného založení.....	39
Obrázek 4.11 Statické schéma osamělé piloty pro výpočet únosnosti podle 1. MS [37]	40
Obrázek 4.12 a – mezní zatěžovací křivka vrтанé piloty, b – schéma piloty uložené ve vrstevnaté zemně [37]	41
Obrázek 4.13 Příčinkový koeficient sedání I_1 [38]	45
Obrázek 4.14 Korekční součinitel R_k [38].....	45
Obrázek 4.15: parabolicko-rektangulární pracovní diagram pro beton namáhaný tlakem [31].....	49
Obrázek 4.16: obdélníkové rozdělení napětí v průřezu [31]	50
Obrázek 4.17: Oboustranně vyztužený průřez [39].....	50
Obrázek 4.18: Návrh výztuže oboustranně vyztuženého průřezu [39].....	51
Obrázek 4.19 Zobrazení piloty v půdoryse s jejími vlastnostmi	53
Obrázek 4.20 Část tabulky pilot v Revitu pro hasičskou zbrojnici Hlavenec.....	53
Obrázek 4.21 Část tabulky souřadnic os pilot v Revitu pro hasičskou zbrojnici Hlavenec.....	54

Obrázek 4.22 3D geologický model v Revitu pro hasičskou zbrojnicí Hlavenec54

Seznam tabulek

Tabulka 4.1: Doporučené parametry dané IGHGP [27]	31
Tabulka 4.2 Geomechanické vlastnosti hornin a zemin ve výpočtu	33
Tabulka 4.3 Použité koeficienty bezpečnosti výpočtu	38
Tabulka 4.4 Dílčí koeficient m_2 vyjadřující vliv dřívku [37]	42
Tabulka 4.5 Velikosti regresivních koeficientů [37]	43
Tabulka 4.6 Sečnové moduly deformace E_s (MPa) pro horniny poloskalní [37]	44
Tabulka 4.7 Sečnové moduly deformace E_s (MPa) pro zeminy nesoudržné [37]	44
Tabulka 4.8 Sečnový modul deformace E_s (MPa) pro zeminy soudržné [37]	44
Tabulka 4.9 konstanta n_h (MN/m ³) pro nesoudržné zeminy [37]	46
Tabulka 4.10 Charakteristické vlastnosti betonu	46
Tabulka 4.11 Charakteristické vlastnosti betonářské výztuže	47
Tabulka 4.12 Zatěžovací stavy v návrhových hodnotách pro pilotu o \varnothing 1180 mm a dl. 7 m	47
Tabulka 4.13 Zatěžovací stavy v návrhových hodnotách pro pilotu o \varnothing 880 mm a dl. 9 m	47
Tabulka 4.14 Zatěžovací stavy v návrhových hodnotách pro pilotu o \varnothing 880 mm a dl. 8 m	48
Tabulka 4.15 Zatěžovací stavy v návrhových hodnotách v rozmezí svislé síly 500 kN až 1000 kN pro pilotu o \varnothing 880 mm a dl. 7 m	48
Tabulka 4.16 Zatěžovací stavy v návrhových hodnotách v rozmezí svislé síly 0 kN až 500 kN pro pilotu o \varnothing 880 mm a dl. 7 m	49

Seznam příloh

Příloha 1	Statický posudek
Příloha 2	Návrh výztuže pilot
Příloha 3	Situace pilotového pole

Reference

- [1] CAD Studio s.r.o., „BIM,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.cadstudio.cz/bim>. [Přístup získán 4 Říjen 2020].
- [2] biminfo, „Co je BIM,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.bimfo.cz/Co-je-BIM.aspx>. [Přístup získán 9 Zář 2020].
- [3] M. Černý, „MacLeamyho křivka,“ VUT, Brno, 2013.
- [4] V. Michl, „Více dimenzí - 3D CAD vs. 4D/5D/6D BIM,“ CzBIM, 4 Duben 2016. [Online]. Available: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Vice-dimenzi-3D-CAD-vs-4D-5D-6D-BIM.aspx>. [Přístup získán 18 Listopad 2020].
- [5] BibLus, „The 7 dimensions of the BIM methodology,“ ACCA software S.p.A., [Online]. Available: <https://biblus.accasoftware.com/en/7-dimensions-of-the-bim-methodology/>.
- [6] Koncepte BIM 2022, „3.3 Využití BIM při zadávání, navrhování, provádění a provozování/správě staveb,“ 2018. [Online]. Available: <https://www.koncepcebim.cz/211-3-3-vyuziti-bim-pri-zadavani-navrhovani-provadeni-a-provozovani-sprave-staveb>. [Přístup získán 9 Zář 2020].
- [7] D. C. Kummerer a D. S. Buddenberg, „EMEA BIM Roadmap,“ Keller Holding GmbH, Offenbach am Main, 2017.
- [8] M. Špalek, „Software pro BIM,“ tzbinfo, 9 únor 2020. [Online]. Available: <https://www.tzb-info.cz/bim-informacni-model-budovy/20193-software-pro-bim>. [Přístup získán 2 Zář 2020].
- [9] Autodesk, „Předplatné aplikace Revit | Nákup aplikace Revit 2021 | Autodesk,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.autodesk.cz/products/revit/subscribe?plc=RVT&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>. [Přístup získán 9 Zář 2020].
- [10] Autodesk, „Revit Cloud Worksharing | Autodesk BIM 360,“ Autodesk, 2020. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/bim-360/bim-collaboration-software/design-collaboration/revit-cloud-worksharing/>. [Přístup získán 9 Zář 2020].
- [11] Česká agentura pro standardizaci, „Koncepte,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.koncepcebim.cz/koncepce>. [Přístup získán 4 Říjen 2020].
- [12] CzBIM, „Co je BIM,“ CzBIM, [Online]. Available: <https://www.czvim.org/info/co-je-bim>. [Přístup získán 19 Listopad 2020].
- [13] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Bundesfachabteilung Spezialtiefbau, „BIM im Spezialtiefbau,“ Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Berlin, 2017.
- [14] J. d. Waele, „Recent Advances in BIM in Geotechnics,“ Keller UK, Ryton-on-Dunsmore.

- [15] L. Tunka, „LOD - Level of Development,“ CAD Studio s.r.o, 14 Duben 2016. [Online]. Available: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/LOD-Level-Of-Development.aspx>. [Přístup získán 23 Listopad 2020].
- [16] C. Kummerer, A. Zöhrer a B. Böhle, „BIM-Erfahrungen als Spezialtiefbauunternehmung bei Infrastrukturprojekten in Großbritannien und Kontinentaleuropa,“ DIG2018 Conference - TU Hamburg-Haburg, 2018.
- [17] MagiCAD, „The different phases of BIM adoption in Europe,“ [Online]. Available: <https://www.magicad.com/en/blog/2020/03/bim-adoption-europe/>. [Přístup získán 25 Zář 2020].
- [18] Construction Manager, „Victoria Station Upgrade: An exemplar BIM infrastructure project,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.constructionmanagermagazine.com/victoria-station-u6pgrade-exemplar-bim/>. [Přístup získán 12 Zář 2020].
- [19] B. Stephenson, „BIM experiences and skills in UK,“ Keller UK, 2018.
- [20] Keller UK, „Marble Arch Place,“ Keller UK, [Online]. Available: <https://www.keller.co.uk/projects/marble-arch-place>. [Přístup získán 25 11 2020].
- [21] Keller UK, „Marble Arch Place, London, UK,“ Keller UK.
- [22] Keller UK, „Thames Tideway,“ Keller UK, [Online]. Available: <https://www.keller.co.uk/projects/thames-tideway>. [Přístup získán 25 11 2020].
- [23] CZ BIM, „Cz BIM,“ [Online]. Available: <https://www.czbim.org/>. [Přístup získán 3 Listopad 2020].
- [24] P. Matějka a J. Remeš, „BIM EDU Report“.
- [25] I. Kohoušek, Interviewee, *Práce SG Geotechniky vrámci CzBIM*. [Interview]. 18 Listopad 2020.
- [26] SG Geotechnika a.s., „3D geologický model,“ SG Geotechnika a.s., Praha, 2020.
- [27] K+K průzkum s.r.o., *Inženýrskogeologický a dydrogeologický průzkum*, Praha, duben 2019.
- [28] GEO5, „Pokročilé modelování v programu „Stratigrafie“,“ FINE, 2020.
- [29] „ČSN EN 1536: Provádění speciálních geotechnických prací - Vrtané piloty,“ ČNI, Praha, 2011.
- [30] „ČSN EN 1991: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí,“ ČNI, Praha.
- [31] „ČSN EN1992-1-1:Navrhování betonových konstrukcí –Obecně –Část1-1: Obecná pravidla pro pozemní a inženýrské stavby,“ ČNI, Praha, 2006.
- [32] „ČSN EN 1997-1: Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí,“ ČNI, Praha, 2006.
- [33] „ČSN 73 6133: Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací,“ ČNI, Praha, 2010.

- [34] „ČSN 73 0037: Zemní tlak na stavební konstrukce,“ ČNI, Praha, 1990.
- [35] „ČSN 73 1002: Pilotové základy,“ ČNI, Praha, 1987.
- [36] A. Brejchová, „Most Postřelmov, SO 240, zakládání mostu,“ ČVUT, Praha, 2018/2019.
- [37] MASOPUST, J., Navrhování základových a pažících konstrukcí, Příručka k ČSN EN 1997, Praha: ČKAIT, 2012.
- [38] MASOPUST, J., Vrtané piloty, Praha: Čeněk a Ježek, 1994.
- [39] Š. J. Procházka Jaroslav, Navrhování betonových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2, Praha: informační centrum ČKAIT, 2011.
- [40] Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy, „Digitální technická mapa Prahy,“ [Online]. Available: <https://www.iprpraha.cz/clanek/1304/digitalni-technicka-mapa-prahy>. [Přístup získán 18 Listopad 2020].