

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra speciální geodézie



Diplomová práce

Bc. Jonáš Kačerovský

3D dokumentace vodohospodářského stavebního objektu

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Braun, Ph.D.

Studijní program: Geodézie a kartografie

Specializace: Inženýrská geodézie

Praha 2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kačerovský Jméno: Jonáš Osobní číslo: 477073
Zadávající katedra: Katedra speciální geodézie
Studijní program: N0732A260020 - Geodézie a kartografie
Studijní obor/specializace: 36T0GKIG - Inženýrská geodézie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: 3D dokumentace vodohospodářského stavebního objektu
Název diplomové práce anglicky: 3D documentation of the water management building

Pokyny pro vypracování:

Provedte geodetické měření pro tvorbu 3D modelu vodohospodářského stavebního objektu. Měření proveďte pomocí pozemní fotogrammetrie. Výsledné mračno stavebního objektu připojte do státních referenčních systémů S-JTSK a Bpv. Model zpracujte pro použití v BIM v prostředí AutoCAD Revit. Výsledný model porovnejte s daty pořízenými metodou laserového skenování. Proveďte kontrolu modelu pomocí zaměření vybraných jednoznačně identifikovatelných bodů. Zpracujte výkresovou a obrazovou dokumentaci.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5.
- [2] Funtík, Tomáš a kol. BIM Building Information Modeling. Bratislava :EUROSTAV, 2018. ISBN978-80-89228-56-0
- [3] Wernerová, Eva a kol. Zavádění BIM u existujících staveb. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2018. ISBN 978-80-248-4238-7

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jaroslav Braun, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 20.02.2023 Termín odevzdání DP v IS KOS: 22.05.2023
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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Anotace

Tato diplomová práce pojednává o zaměření vodohospodářského objektu a následného vymodelování 3D modelu s parametry BIM. Dále jsou v práci popsány jednotlivé metody sběru dat, které byly na tomto objektu využity. Výsledkem práce je vytvoření 3D modelu a porovnání přesnosti jednotlivých metod.

Klíčová slova

BIM, LOD, Fotogrammetrie, Revit, Mračno bodů, 3D model, Stavební dokumentace

Anotation

This diploma thesis deals with the orientation of a water management object and the subsequent modeling of a 3D model with BIM parameters. Furthermore, the work describes the individual methods of data collection that were used on this object. The result of the work is the creation of a 3D model and a comparison of the accuracy of individual methods.

Key words

BIM,LOD, Photogrammetry, Revit, Point cloud, 3D model, Construction documentation

Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma *3D dokumentace vodohospodářského stavebního objektu* jsem vypracoval samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne

Jonáš Kačerovský

Poděkování

Chtěl bych velice poděkovat vedoucímu této práce Ing. Jaroslav Braun, Ph.D., za odbornou pomoc, za poskytnuté rady a za věcné připomínky, které práci posunuly správným směrem. Dále bych chtěl poděkovat firmě INSET, díky které jsem dostal možnost pracovat na tomto projektu. A v neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, která mi poskytovala morální podporu.

Obsah

1	Úvod	9
2	Sledovaný objekt	10
2.1	Lokalita	10
2.2	Důvod sledování objektu	10
2.3	Využití objektu	11
3	BIM	13
3.1	BIM Historie	14
3.2	LOD	15
3.2.1	LOD historie	15
3.2.2	LOD dělení	16
3.2.3	LOD 300	18
4	Způsob měření	19
4.1	Pozemní fotogrammetrie	20
4.1.1	Neměřická kamera Canyon	20
4.1.2	Praktické měření	21
4.2	Laserové skenování	21
4.2.1	Použitý přístroj	21
4.2.2	Praktické měření	22
4.3	Tvorba bodového pole a vlíčovacích bodů	23
4.3.1	Použité přístroje	25
4.4	Vyrovnání sítě	26
5	Fotogrammetrie	29
5.1	Průřeková fotogrammetrie	30
5.1.1	Structure from motion	31
5.2	Reality capture	32
5.3	Zpracování dat	32
6	Modelování	35
6.1	Recap	35
6.2	Revit	35
6.3	Tvorba modelu	36
6.3.1	Řezy	39
7	Porovnání výsledků	42
7.1	Prostorová polární metoda	42
7.2	Porovnání jednotlivých modelů skrze zaměřené body	43

7.3	Porovnání výsledků skrz kontrolní oměrné	46
7.4	Porovnání mračen bodů	47
8	Závěr	50
	Seznam obrázků	52
	Použitá literatura	54
	Seznam tabulek	56
	Seznam příloh	57

1 Úvod

Pro mnohé obory je v dnešní době důležité najít vhodnou alternativu jak propojit a usnadnit komunikaci při tvorbě projektu a plánování tak, aby byla vysoce efektivní. Dříve se užívaly pouze plány a výkresy, které se vyskytovaly převážně ve formátu 2D, což velmi stěžovalo vizualizaci rozměrů a požadavků. Z tohoto důvodu byly vytvářeny výkresy v 3D a to přineslo lepší představu o vizualizaci projektu. Dalším krokem bylo vytvoření výměnného formátu výkresů, projektů a plánů ve formě BIM.

Velká výhoda BIMu je otevřený přístup pro zapojení všech stran do konstrukce a správy budov, díky tomu je zajištěna jednoduchá spolupráce mezi různými obory, přes funkci sdílených dat. Ale velký přínos mají jednotlivé informace, které jsou naschromážděny, a to nejen k uchování dat, ale jsou i použitelné pro přehlednější správu. Informace, neboli data, jsou totiž sdíleny v online prostoru ve formě cloudových uložišť a díky tomu má každý obor snadný a rychlý přístup k aktuálním informacím o daném objektu. Díky tomu nevznikají problémy s aktuálností projektu nebo s rozsáhlými změnami.

Téma diplomové práce bylo vytvořeno ve spolupráci s firmou INSET s.r.o, která se mimo jiné zabývá dokumentací stavebních objektů. Zájem na vytvoření práce vychází z ověření technologie a určení časové náročnosti pořízení prostorových dat pomocí laserového skenování a fotogrammetrie a využití těchto dat pro tvorbu 3D modelu s parametry BIM.

Cílem diplomové práce bylo vytvořit 3D dokumentaci vodohospodářského objektu z dat pořízených pomocí pozemní fotogrammetrie a následně porovnat přesnost jednotlivých mračen bodů pořízených z laserového skenování a pozemní fotogrammetrie. Ty byly porovnávány přes pomocné body na vybraných mračnách, které byly zaměřeny multistanicí Leica MS60. Výsledná dokumentace objektu dosahuje přesnosti BIM modelu v rozsahu LOD 300.

2 Sledovaný objekt

2.1 Lokalita

Námi sledovaný objekt se nachází v Praze, poblíž stanice metra Budějovická, v obytné čtvrti a náleží do katastrálního území Michle [727750]. Jedná se o budovu technického vybavení, která se nachází na pozemku p.č 310/145, budova spadá pod Hlavní město Praha. Chod zajišťuje správa pražských vodovodů a kanalizací, zásobuje hlavní město pitnou vodou a odvodem odpadních vod. Na obrázku je vyznačeno umístění objektu na pozemku (viz. Obrázek 1).



Obrázek 1: Lokalita oblasti [1]

Na daném pozemku se nachází hned dvě technické budovy, ale pro tvorbu modelu byla zaměřena pouze námi zvolená budova. To bylo zvoleno z důvodu časové náročnosti zaměření a vypracování modelu.

2.2 Důvod sledování objektu

Zaměření vodohospodářského objektu bylo provedeno za účelem vyhotovení dokumentace ve formě BIM modelu a ověření různých geodetických metod sběru dat, ze kterých byla následně vyhotovena dokumentace v formátu BIM. Data byla pořízena pomocí metody pozemní fotogrammetrie a laserového ske-

nování. U nich byla poté zjišťována časová náročnost pro vyhotovení požadovaného modelu. Obě metody poskytují podobné výstupy dat, ale obsahují rozdílnou míru podrobnosti, která se následně odráží na velikosti dat. Kvůli tomu bylo zapotřebí zjistit, jaká metoda je pro daný objekt vhodnější a zdali pak bude dodržena požadovaná přehlednost, jednoznačnost a kvalita, která je potřebná pro zaměření vodohospodářského objektu.

Výsledné podklady by následně měly sloužit pro projekční činnost například při rekonstrukci nebo správě daného objektu. Proto bylo důležité znát přesnost zobrazených prvků v modelu. Z důvodu uplatnění a zaměření v komerční sféře byl kladen veliký důraz na ekonomičnost a časovou náročnost na zaměření a vypracování projektu. Byly zjištěny klady a zápory jednotlivých metod, které by se dále mohly uplatnit v praxi. Například rychlost sběru dat na úkor kvality, která nebyla v exteriéru tak náročná na zachycení ani jednou metodou.

2.3 Využití objektu

Objekt náleží Pražské vodohospodářské společnosti, která spravuje svěřené vodohospodářské majetky ve vlastnictví Hlavního města Prahy. Vypracovává plány obnovy, rozvoje a dalších koncepčních materiálů, včetně projektu odvodnění a projektu zásobování vodou, za vlastníky vodohospodářské infrastruktury [1]. Zajímá se také o provoz a kontrolu provozovatele vodohospodářského majetku. Pražská vodohospodářská společnost vykonává roli správce. Z tohoto důvodu je zapotřebí přesná a přehledná dokumentace, která by usnadnila provoz budovy.

Výstavba námi sledovaného objektu započala 1.10.1965 a skončila 1.10.1967, v roce 2012 poté proběhla rekonstrukce, při které byl zachován technický ráz budovy a byla rekonstruována pouze střešní krytina, fasáda a výměna částí technologických rozvodů, které byly vyměněny, z původní litinové na nerezové. Jedná se o objekt armaturní komory na který jsou napojeny 2 komory. Pojem armaturní komora znamená prostor před jednotlivými komorami, který slouží k obsluze technologie. Každá z komor pojme objem až 6000 m^3 , které pak dále zásobují pitnou vodou sídliště Barrova (DN 500), Nusle (DN 500) a Michle (DN 500). Označením DN je značena dimenze potrubí, která podléhá předepsaným normám. Prítok pro vodojem Kvestorská je řád DN 800, je z vodojemu Zelená liška z řádu DN 800 a nebo z vodojemu Novodvorská, který je stejného řádu a zajišťují bezproblémové zásobování jednotlivých komor.



(a) Exteriér objektu



(b) Interiér objektu

Obrázek 2: Měřený objekt

3 BIM

BIM neboli Building information modeling, je proces na kterém se podílejí jednotlivé profese, vzájemně se propojují a spolupracují, například architekti, inženýři, developeři nemovitostí, dodavatelé, výrobci a další stavební odborníci. Výsledkem společné spolupráce je poté vytvoření jednoho komplexního 3D modelu, který obsahuje podrobné informace o objektu. A to vše díky propojení jednotlivých profesí, které se aktivně podílejí na tvorbě projektu. Díky tomu je dosažena vysoká odbornost i u drobných prvků, například při konstrukci jednotlivých stavebních prvků je důležité znát jejich složení nebo druh materiálu, který se poté v modelu projeví jako nadefinovaný atribut. Jen díky odbornosti jednotlivých profesí pak můžeme dosáhnout požadovaného výsledku. Rozdíl BIM modelu od 3D modelu je v podrobnosti jednotlivých atributů. Jednotlivé atributy v BIMu obsahují konkrétní informace o použitých materiálech (složení, konstrukci, tloušťku). Zde jsou jednoduše interpretovány v atributových tabulkách. Narozdíl od CADu, kde byl značně omezen jejich přehledný popis.

Velkým krokem v rozvoji BIMu byl přechod z CADovských programů, které nabízely daleko menší možnosti při popisu dat. Velké množství uživatelů již dnes pracuje v programech, které podporují BIM modelování, a to usnadňuje práci a nabízí velké výhody. Tento rozvoj technologie přilákal pozornost i u nejdříve postavených společností například ČKAT (Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků) a ČKA (Česká komora architektů). Díky tomu je zajištěna budoucí spolupráce na projektování budov ve formátu BIM. V mnoha odvětvích již dnes vzrůstají požadavky na tvorbu BIM modelů. To vše díky tomu, že se model vytvořený v BIM prostředí skládá z polohy a tvaru jednotlivých konstrukcí, které jsou následně doplněny o podrobný popis konstrukčních prvků, které jsou dále i přesně specifikovány. Na základě toho vzniká velmi přesná dokumentace objektu, což je velký posun od stavajících vypracování.

Díky vývoji a postupnému rozšiřování mezi obory můžeme předpokládat, že se budoucnost ve stavebnictví, provozování a spravování budov bude pohybovat v tomto výměnném formátu. Takto přehledná dokumentace se bude poté více uplatňovat při správě budov, která se skládá z dlouhodobého sledování výdajů na chod budovy. Výhoda při tvorbě tohoto modelu je, že jde automaticky v průběhu projektování generovat různé druhy dokumentací například: dokumentace provedení stavby (DPS), dokumentace stavebního povolení (DSP), dokumentace skutečného provedení stavby (DSPS). Jednotlivé dokumentace jsou pak vázány na přesnost BIM modelu, která se označuje zkratkou LOD (viz. další kapitola). Další uplatnění je v praxi při výstavbě bytových domů, kde díky znalosti druhu a ceny materiálu (tyto atributy jsou v modelu zapsány), jdou snadno nacenit bytové prostory. Například při náhlé změně ceny materiálu lze snadno a rychle analyzovat změnu ceny bytu.

Velkým usnadněním při spolupráci mezi obory a jejich vzájemnou koordinací

na rozsáhlých stavbách je dosaženo díky uložení BIMu modelu na společném datovém prostředí (CDE-common data environment), což představuje uložení na cloudových úložištích. Na tyto úložiště poté mají přístup jednotlivé obory a díky tomu je zajištěna neustálá aktuálnost jednotlivých výkresů. Jako vhodný výměnný formát, který by se dal vhodně sdílet, byl vytvořen Industry Foundation Classes (IFC). V tomto formátu jsou data a jednotlivé informace sdíleny v podobě prostého textu. Od roku 2013 se jedná o certifikovaný mezinárodní předpis ISO (ISO 16739-1:2018) ve stavebním odvětví. Díky tomu mohou být různé odvětví vybaveny jinými softwery pro vytváření BIM modelu, které však musí disponovat možností spolupráce s formátem IFC. [2]

Zde je zapotřebí zavést pojem digitální dvojče a jeho rozdíl oproti BIM. Pojem digitální dvojče se uvádí při rozšíření digitálního modelu budovy nebo konstrukce, v zásadě se jedná o provozní model. Tento model totiž obsahuje data prvků v reálném čase během celého provozu budovy, kde se dá díky těmto informacím snadno dohledat a zjistit aktuální stav a nahlížet do předchozích provozních dat. Hlavní účel digitálního dvojčete je interpretovat jak každodenní provoz ovlivňuje konstrukci nebo jednotlivé prvky objektu v reálném čase. Tyto informace jsou dále důležité při plánování oprav při opotřebení prvků budov. BIM je vhodný jako základ pro digitální dvojče, které pak díky začlenění senzorů sbírá podrobnější data o chodu a provozu budovy. Díky tomu je pak možné zlepšovat a spravovat výkonnost budovy, zvyšovat efektivitu a automatizovat o opravy. [3]

Při tvorbě BIM modelu u stávajících budov je nenahraditelným oborem Geodézie. Díky tomuto oboru vzniká podrobné zaměření objektu, které se následně interpretuje ve výstupu jako mračno bodů. Zde se vyskytuje hned několik možností sběru dat, které závisí na velikosti a podrobnosti objektu. Touto problematikou se dále věnuji v dalších kapitolách.

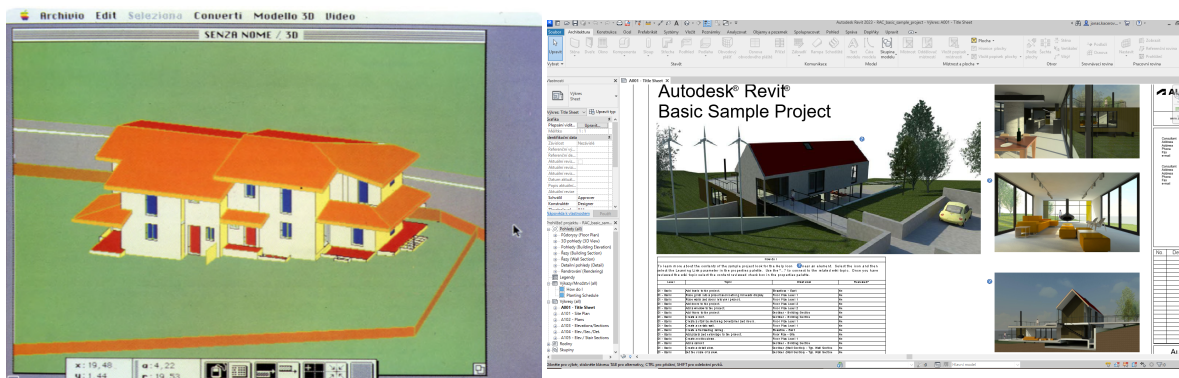
Před začátkem výstavby nového objektu je zapotřebí znát terén, na kterém se má daný objekt nacházet z tohoto důvodu je již v přípravných fázích je potřeba geodetického zaměření. I když zde se nejedná o tvorbu BIM modelu, ale pouze jako základ pro projektanta. Zde se využití geodézie zaměřuje na vytyčování a zaměřování při fázích výstavby (například vytyčení základové desky, kontrola svislosti výtahových šachet apod.). Poté se geodézie uplatňuje až při finální fázi výstavby, kde se jedná o zaměření skutečného provedení stavby, nebo při tvorbě GP (geometrického plánu).

3.1 BIM Historie

Počátky BIMu jde dohledat až do sedmdesátých let minulého století, kdy byl použit první koncept, který se zabýval informačním modelováním budov a to zmiňujeme Charles M. Eastman, profesor z technického institutu v Georgii. V této době se však technologie modelování budovy týkala pouze architektonického odvětví. V roce 1987 byl na trh uveden jeden z prvních CADovských

programů, které byly vytvořeny pro osobní počítače a ty zvládaly vytvářet 2D a 3D geometrii. A to bylo první komerční použití produktu BIM. Zde se ale výstup značně lišil od těch dnešních. Obsahoval menší počet možných atributů a menší možnosti kresby. (Obrázek 25)

Velký rozkvět se dostavil až v posledních letech, kdy se stává součástí práv Evropské unie. Dříve byly náklady na školení a na hardwarové vybavení příliš vysoké, a proto byl vývoj BIMu značně zpomalen. Mezi první státy ve kterých se stal BIM součástí stavebního zákona se stalo Norsko, Dánsko a Finsko v roce 2007.[4].



(a) BIM vizualizace na Apple Lisa [5]

(b) BIM vizualizace nyní

Obrázek 3: Porovnání zpracování BIM modelu

3.2 LOD

Pro rozdělení přesnosti v BIM modelování slouží jako dělicí parametr LOD (Level of Development). Jedná se o průmyslový standard, který udává s jakou mírou propracovanosti je 3D model vyhotoven. Díky jasnému dělení je snadné formulovat, specifikovat a dokumentovat obsah modelu. Také usnadňuje jednoznačnou komunikaci bez jakýchkoliv zmatků s kratší časovou prodlevou mezi jednotlivými obory, například mezi architekty, inženýry a dalšími odborníky, kteří se podílejí na tvorbě jednotlivých částí modelu.

3.2.1 LOD historie

LOD představuje rozdělovací systém, který byl poprvé představen Americkým institutem v roce (AIA) 2008 [6]. Už v této době definoval 5 základních úrovní (viz. Obrázek 4), které zobrazovaly míru detailů v modelu BIM. Firma, která jako další provedla vývoj byla Associated general contractors od Amerika (AGC). První zmínky o používání LOD jsou ale u softwaru VICO, který byl již na trhu v roce 2007 se sídlem v Boulderu v Coloradu. VICO používá podobný systém uspořádání jako je LOD. Základem je přístup k projektové databázi, který je sdílená. Díky tomu zajišťuje aktuálnost změn u všech uživatelů (cloudový

přístup)[7]. Nyní spadá software VICO pod společnost Trimble, která je jedna z hlavních distributorů geodetického vybavení. V dnešní době se však datábáze dělí na šest úrovní. Byla přidána úroveň LOD 350 (Obrázek 5) a zde můžeme vidět, že 80 % až 90 % prvků by mělo být obsaženo už v této úrovni.

3.2.2 LOD dělení

Jednotlivé úrovně umožňují lepší vyjádření o tom, jaká je geometrie prvků a s jakými informacemi se v průběhu proces vyvíjel. Ukazují míru s jakou přesností jsou jednotlivé prvky navzájem propojeny. Jednotlivé úrovně dále pomáhají pro jednoznačnou charakteristiku modelovaných prvků v modelu. Dodávají potřebnou hloubku v informacích a určují s jakou mírou se dá v jednotlivých úrovních spoléhat na prvek modelu. Označením LOD je pak interpretována úroveň zobrazených detailů. Tímto je použit koncept úroňového rozvoje v modelu.



Obrázek 4: Rozdělení LOD [8]

LOD 100 - Koncepční

Model zobrazený v úrovni 100, je označován jako koncepční model, a je definován jako plocha, výška, objem, umístění a orientace. V zásadě se jedná o nerozpracovaný model budovy, ve kterém nejsou známy přesné informace o umístění a o plochách, objemech a rozměrech.

LOD 200 - Přibližná geometrie

Model zobrazený v úrovni 200 je označován též jako obecný model a jednotlivé prvky jsou modelovány s přibližným množstvím, velikostí, tvarem, umístěním a orientací. Dále lze do modelu vložit i negeometrické prvky. Tento druh dokumentace je ekvivalentní k dokumentaci pro umístění stavby.

LOD 300 - Přesná geometrie

Model zobrazený v úrovni 300 je používán převážně pro dílenské výkresy, kde je zapotřebí definovat prvky pomocí konkrétních hodnot, přesné množství, velikost, tvar, umístění a orientaci. Lze zde opět vkládat negeometrické prvky. Tento druh dokumentace je ekvivalentní k dokumentaci pro stavební povolení a pro projektové dokumentace.

LOD 350 - Přesná geometrie se spoji

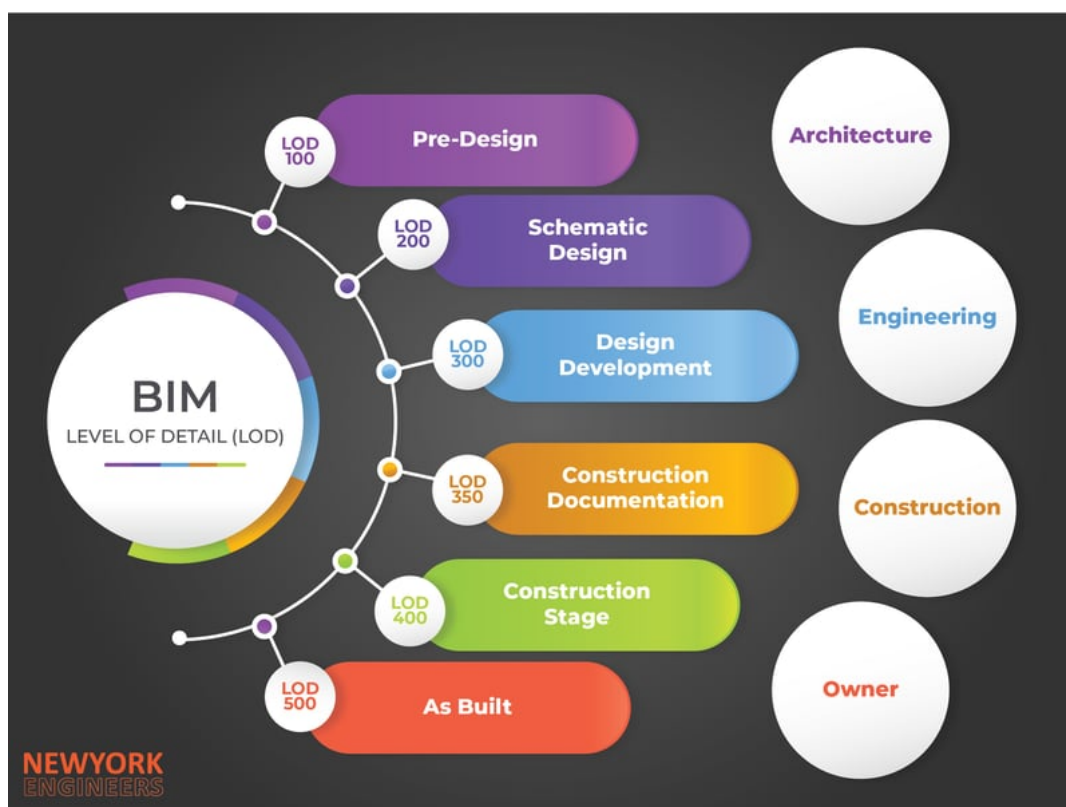
Model zobrazený v úrovni 350 obsahuje již více detailů, jak v předešlé úrovni. Jsou zde již zobrazeny prvky, které mají rozhraní stavebních prvků jako jsou například různé stavební systémy a další, které již obsahují jasné grafické umístění společně s podrobnými popisy. Tento druh dokumentace je ekvivalentní k dokumentaci pro provedení stavby.

LOD 400 - Geometrie připravená na výrobu

Model zobrazený v úrovni 400 obsahuje prvky, které jsou modelovány jako specifické soustavy s kompletní výrobou, sestavením a podrobnými informacemi, které navíc obsahují přesné množství, velikost, tvar, umístění a orientaci. Lze zde opět vkládat negeometrické prvky. Každý jednotlivý prvek pak obsahuje konkrétní data od výrobců a dodavatelů. Zde se druh dokumentace uplatní při tvorbě projektové dokumentace a při správě budov.

LOD 500 - Provozní modely

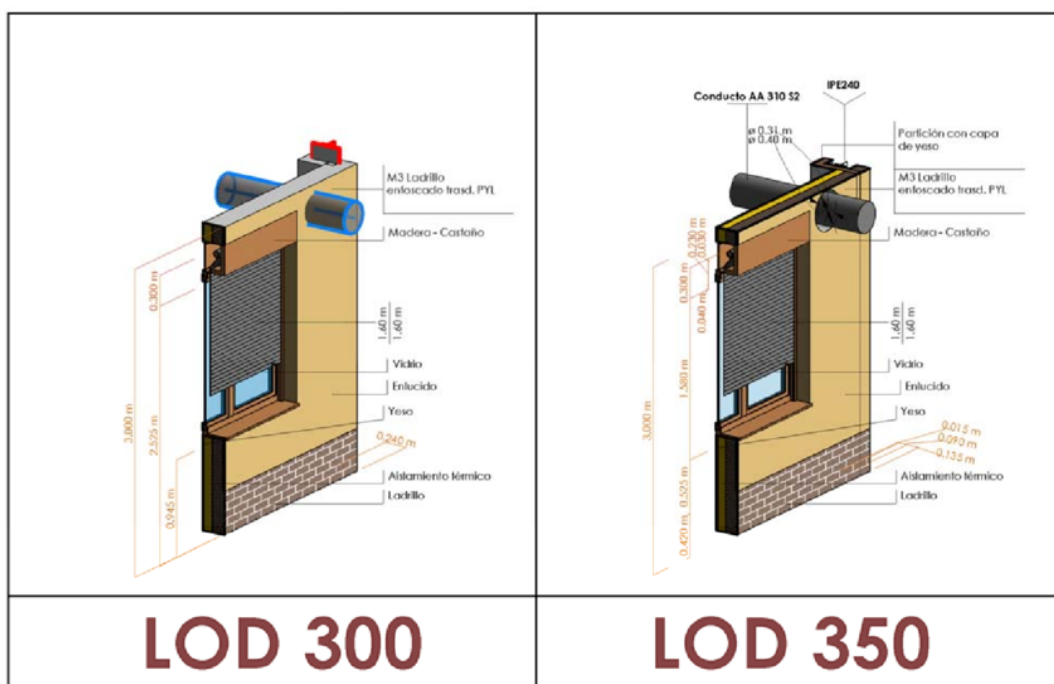
Model zobrazený v úrovni 500 obsahuje prvky, které jsou modelovány jako sestavené sestavy, které jsou určeny pro provoz a údržbu. Kromě skutečných a přesných rozměrů, tvarů, umístění, množství a orientací, lze zde opět vkládat negeometrické prvky. Každý jednotlivý prvek pak obsahuje konkrétní data od výrobců a dodavatelů. Zde se model dá využít například pro správu budov.



Obrázek 5: Rozdělení LOD podle profesí [8]

3.2.3 LOD 300

V této úrovni zobrazuje finální výkres přesnou geometrii objektu. Ta se podobá dokumentaci pro provedení stavby (DSP). Zde jsou prvky s přesnou geometrií se správnými rozměry, kapacitou a připojením, které jsou v modelu správně definovány. Ve finální podobě LOD 300 model obsahuje přesné množství, velikost, umístění všech objektů, které jsou doplněny všemi základními informacemi. Model obsahuje návrhy konstrukcí a vnitřního prostředí. Jedná se pouze o rozpracovaný návrh, který je kompletní až na úrovni LOD 350 [9]. V něm se nacházejí informace o funkcích a vlastnostech konkrétních prvků. Rozdíl mezi předchozí úrovní je v přesnosti prvků, které již považujeme za přesné. (viz. Obrázek 6)



Obrázek 6: Porovnání LOD300 a LOD350 [10]

4 Způsob měření

Pro vytvoření 3D modelu bylo zapotřebí vybrat vhodný typ sběru dat tak, aby byla dodržena požadovaná přesnost modelu a aby byl časově nenáročný sběr. Z tohoto důvodu byly realizovány hned dvě geodetické metody pro sběr dat. V závěru práce byly tyto metody porovnány a byly zjištěny jednotlivé úskalí těchto metod a pak byla určena nejvhodnější metoda sběru dat k danému objektu. Z časové náročnosti při tvorbě 3D modelu byly však využity pouze data z metody pozemní fotogrammetrie.

První metoda byla zrealizována za pomoci pozemní fotogrammetrie. Pomocí fotografických snímků bylo vytvořeno mračno bodů, ze kterého byl následně v programu Revit vymodelován 3D model ve formátu BIM. Podrobnému popisu metody se práce věnuje v dalších kapitolách. Druhá metoda byla zrealizována za pomoci laserového skenování, ze kterého bylo také vytvořeno mračno bodů, ale tato metoda sloužila pouze pro následné porovnání efektivity sběru dat, její přesnosti, podrobnosti a náročnosti práci s daty (více popsáno v další kapitole).

Vytvořený model bylo zapotřebí připojit do vhodného geodetického systému. Za tímto účelem bylo vytvořeno bodového pole v okolí objektu, které bylo stabilizováno za pomoci měřických hřebů. K tvorbě bodového pole byla použita multi stanice od firmy Leica (MS60) díky které byla nejprve zaměřena místní síť ve formě polygonu, která byla následně vyrovnána, aby bylo dosaženo co největší přesnosti. Dále byly za pomoci multi stanice zaměřeny jednotlivé vlíčovací body vně a uvnitř objektu. Jednotlivé vlíčovací body byly na objektu realizovány jako černé křížky na jasně znatelných prvcích na objektu. Nakonec bylo zapotřebí určení bodů sítě v systému S-JTSK. To bylo realizováno za pomoci aparatury GNSS (GS16). Pomocí ní bylo zaměřeno 10 bodů sítě. V dalších kapitolách jsou podrobně popsány jednotlivé metody.

V závěrečné části po vytvoření modelu bylo zapotřebí porovnat jednotlivé metody. K tomuto účelu sloužilo zaměření 54 bodů na objektu, které byly následně určeny na jednotlivých modelech a datech. Pro zhodnocení přesnosti sloužila výběrová směrodatná odchylka. Dále bylo na objektu zaměřeno 23 kontrolních délek, které byly porovnány s délkami z vytvořeného BIM modelu. (Viz. Kapitola 7 Porovnání)

4.1 Pozemní fotogrammetrie

4.1.1 Neměřická kamera Canyon

Pro sběr dat (snímků) pomocí metody pozemní fotogrammetrie byl použit fotoaparát od firmy Canyon: Canon EOS 6D Mark II (Obrázek 7a), který měl objektiv Canon EF 28mm f/2.8 IS USM (Obrázek 7b). Dále bylo zapotřebí použití nasazovacího blesku Canon SpeedLite 430EX III - RT (Obrázek 7c) z důvodu nedostatečného osvětlení v nižších patrech objektu.



(a) Canon EOS 6D Mark II [11]



(b) Canon EF 28mm f/2.8 IS USM [11]



(c) Canon SpeedLite 430EX III - R7 [11]

Obrázek 7: Fotoaparát + příslušenství

Parametry fotoaparátu:

- Snímač s rozdělením 27,1 Mpx
- Systém CMOS AF s duálními pixely
- ISO 40 000 rozšířené až na ISO 102 400
- maximální clonové číslo f/8

- vestavěná korekce odchylky objektivu

4.1.2 Praktické měření

Zaměření objektu bylo provedeno za pomoci metody pozemní fotogrammetrie tak, že byl nejprve nasnímkován exteriér objektu. Zde byly voleny základny v přibližném rozestupu 5 m tak, aby se nacházely se v přibližné vzdálenosti 10 m od objektu. Tímto způsobem byl dodržen přibližný překryt na jednotlivých snímcích větší jak 70%. Při snímkování rohů objektu bylo zapotřebí větší hustoty základen, aby byla následně dodržena vhodá hustota a přesnost mračna bodů. Při snímkování bylo také zapotřebí dodržení vhodného technologického postupu, aby poté bylo možné zpracování. Jako jeden z hlavních bodů pracovního postupu bylo vytvoření snímků, aby se jednotlivý prvek nacházel na více snímcích a tím bylo dodrženo protnutí z více trojuhelníků. To bylo zajištěno tím, že se snímky na jednotlivých stanoviscích pořizovaly v různých výškových rozdílech a nebyly pořizovány pouze kolmo na objekt, ale i diagonálně na obě strany.

Po dokončení podrobného nasnímkování exteriéru bylo snímkování přesunuto do vnitřních prostor objektu. I zde byl dodržen obdobný technologický postup s výjimkou toho, že bylo snímkování voleno podrobněji než při snímkování exteriéru budovy. Zde bylo zapotřebí nasnímkování složitějších konstrukčních prvků, které se vzájemně překrývaly, a proto by nebyly zobrazeny na více snímcích. Objekt dále obsahuje velké množství potrubního vedení a různého technického zařízení, které zasahuje do většiny vnitřních prostor. Z tohoto důvodu byla obtížná volba základen a muselo být zde nasnímkováno více snímků. Celý objekt byl nasnímán 1568 snímků, kdy rozlišení jednotlivých snímků bylo 26 Mpx. Po dokončení nasnímkování objektu byly snímky zpracovány a byl vytvořen 3D model. (viz. kapitola 5.3 Zpracování dat)

4.2 Laserové skenování

4.2.1 Použitý přístroj

Měření laserovým skenováním bylo provedeno přístrojem od firmy Leica. Konkrétně skenerem Leica P40(Obrázek 8)(vč.1850353).

Jedná se o jeden z řad přesných laserových skenerů, který firma Leica nabízí na trhu. Zvládá velmi rychlé skenování za krátký časový úsek s vysokým detailním zobrazením. Také umožňuje obarvení 3D mračna, díky tomu jsou mračna velmi realistická, ve kterých jde dále snadněji rozeznat jednotlivé prvky. Jedná se o skener střední vzdálenosti, který firma Leica z řady P nabízí. Díky řešení od Leica Geosystems 3D Reality Capture, nyní aplikace Cyclone FIELD 360, propojuje sběr 3D dat v terénu s laserovým skenerem a finální registraci dat v kanceláři pomocí Cyclone REGISTER 360. Nyní mohou

uživatelé automaticky zaznamenávat, registrovat, zkoumat skenovaná a obrazová data.[12]



Obrázek 8: Leica P40 [12]

Parametry skeneru:

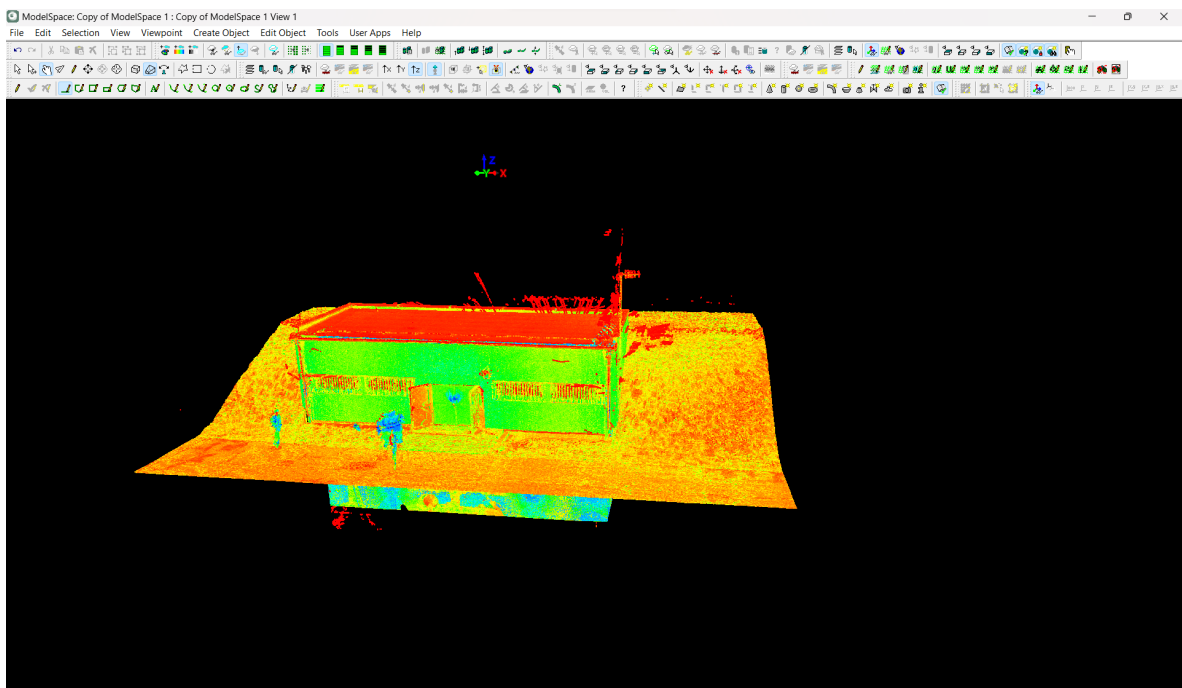
- 3D data s nejvyšší kvalitou a se zobrazením HDR
- Vysoká rychlost až 1 milion bodů za 1 sekundu
- Dosah až 270m
- Nízký rozsah hluku
- Dvouosá kompenzace na úrovni průřezu
- Vysoce kvalitní 3D mraky barevných bodů o mapové a realistické čistotě
- Vysoká odolnost vůči prachu a vodě
- Úhlová přesnost v horizontální i ve vertikálním směru je 8"
- Přesnost dálkoměru 1,2 mm + 10 ppm

4.2.2 Praktické měření

Při zaměření objektu metodou laserového skenování byl použit princip polygonu. Tato metoda skenování funguje na principu po sobě navazujících stanic a díky této metodě si skener dokáže spočítat kde se ve vytvářeném modelu přibližně nachází. Na první stativ byl umístěn skener, kterým byla následně zaměřena orientace na signalizační terč, který byl umístěn na druhém stativu.

Po dokončení zaměření orientace na signalizační terč, bylo zahájeno skenování. Pro usnadnění práce při následném zpracování byl po zaměření orientace zpět stativ schován a to z důvodu, aby se nenacházel ve skenované oblasti. Po dokončení skenování byl postavený nový stativ vpřed, na kterém se nacházel signalizační terč. Po zaměření orientace na nově postavený stativ byl skener přemístěn na tento stativ. Dále se tento postup cyklicky opakoval do té doby než byl zaměřený celý sledovaný objekt (v polygonovém pořadí).

Pro lepší přehlednost a následnou práci s daty byl skenovaný objekt rozdělen na dva nezávislé polygonové pořady. V prvním polygonu byl zaměřen exteriér objektu a v druhém interiéru. Toto rozdělení bylo zvoleno také z časové náročnosti naskenování objektu, které probíhalo ve 2 různých dnech. Jednotlivá stanoviště polygonového pořadu, na kterých byl postaven skener nebylo zapotřebí v terénu stabilizovat. Protože napojení exteriéru a interiéru objektu proběhlo až při zpracování mračen v programu (Obrázek 9). Celý objekt byl naskenován z 25 stanic. Mračno bodů nebylo obarvené pravými barvami, protože při skenování nebyly pořizovány snímky. To bylo zvoleno kvůli vysoké časové náročnosti na pořízení snímků pomocí skeneru Leica P40. Dále zdůvodu následné práce s modelem z pozemní fotogrammetrie nebylo mračno bodů redukováno a bylo v plné kvalitě.



Obrázek 9: Zpracování v programu Cyclone

4.3 Tvorba bodového pole a vlíčovacích bodů

Bodové pole bylo vytvořeno za pomoci měřických hřebů, dřevěných kolíků a nalepeného odrazného štítku. Celá tato síť byla následně doplněna o dočasnou

stabilizaci vlčovacíh bodů, která byla realizována pomocí křížků nakreslených černou fixou na jednoznačných a snadno rozeznatelných výstupcích objektu. Největší zastoupení u stabilizace bodů bodového pole bylo za pomoci měřických hřebů, které byly vhodně rozmístěny v okolí objektu (Obrázek 10) tak, aby byla dodržena vzájemná viditelnost mezi body. Jednalo se o 10 bodů bodového pole a 27 bodů určených jako vlčovací body.



Obrázek 10: Rozmístění bodů sítě

Body sítě, které byly stabilizovány za pomoci měřických hřebů, byly zaměřeny pomocí GNSS aparatury. Měření na každém bodě probíhalo 2x v časovém rozestupu větší jak 1 hodina a každé měření bylo realizováno 3 odečty. V dalším kroku bylo bodové zaměřeno pomocí multi stanice (v jedné skupině a ve dvou polohách dalekohledu). Zaměření bodového pole bylo realizováno za pomoci postupného protínání a zaměřování. Touto metodou byly zaměřeny i vlčovací body stabilizované za pomoci křížků nebo odrazných štíků umístěných na budově.

Dále probíhalo zpracování bodového pole a vlčovacíh bodů v kanceláři. (viz. kapitola Vyrovnání)

4.3.1 Použité přístroje

Pro tvorbu bodového pole byla použita multi stanice od firmy Leica MS60 (Obrázek 11a) (vč.882474) a dále byla použita GNSS apratura od firmy Lieca GS16(Obrázek 11b).



(a) Leica MS60 [13]



(b) Leica GS16 [14]

Parametry Leica MS60:

- Úhlová přesnost 1'' (0.3 mgon)
- Maximální měřená délka na hranol se uvádí 10 000 m, s přesností 1 mm+1,5 ppm
- Maximální měřená délka na libovolný povrch se uvádí 2 000 m, s přesností 2 mm+2 ppm
- Možnost automatického sledování hranolu
- Možnost využití pro skenování

Parametry Leica GS16:

- Přesnost při připojení k RTK HZ 8 mm + 0.5 ppm/ V 15 mm+ 0.5 ppm
- Přesnost při připojení k RTK v základní linii HZ 8 mm +1 ppm/ V 15 mm+ 1 ppm
- Přesnost při měření statickou metodou s dlouhými observacemi HZ 3 mm + 0.1 ppm/ V 3.5 mm+ 0.4 ppm
- Přesnost při měření statickou metodou s krátkými observacemi HZ 3 mm + 0.5 ppm/ V 5 mm+ 0.5 ppm
- 555 kanálů
- automatická korekce odražených nebo nežádoucích signálů

4.4 Vyrovnání sítě

Pro správné určení souřadnic bodového pole, bylo zapotřebí celou síť nejprve vyrovnat. Vyrovnání sítě bylo provedeno v programu Groma. V prvním kroku bylo zapotřebí zprůměrovat dvojí zaměření souřadnic, které proběhlo pomocí GNSS aparatury.

Tab. 4.4.1 Tabulka ze 2 měření GNSS

Č.b	1.Měření			2.Měření		
	Y[m]	X[m]	Z[m]	Y[m]	X[m]	Z[m]
T1	741461,171	1047622,633	266,852	741461,164	1047622,633	266,863
T2	741435,867	1047642,264	266,251	741435,872	1047642,275	266,252
T3	741422,946	1047658,195	266,056	741422,949	1047658,197	266,068
T4	741406,879	1047664,375	269,804	741406,875	1047664,370	269,802
T5	741403,037	1047682,702	265,708	741403,034	1047682,693	265,705
T6	741410,986	1047694,296	266,031	741410,984	1047694,292	266,026
T7	741446,532	1047661,667	266,924	741446,535	1047661,668	266,918
T8	741391,461	1047702,299	265,498	741391,464	1047702,297	265,505
T9	741387,865	1047686,494	271,224	741387,877	1047686,491	271,226
T10	741427,888	1047637,706	271,025	741427,883	1047637,711	271,019

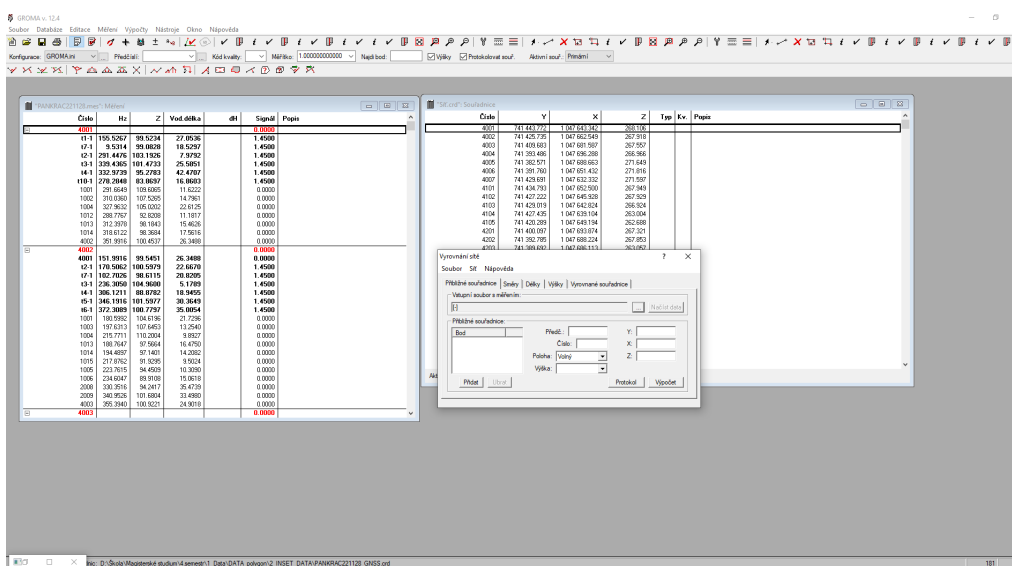
Tab.4.4.2 Tabulka průměru z měření GNSS

Č.b	Y[m]	X[m]	Z[m]
T1	741461,173	1047622,626	266,858
T2	741435,868	1047642,275	266,254
T3	741422,945	1047658,192	266,063
T4	741406,877	1047664,370	269,810
T5	741403,024	1047682,700	265,706
T6	741410,992	1047694,293	266,039
T7	741446,537	1047661,666	266,921
T8	741391,460	1047702,304	265,500
T9	741387,872	1047686,489	271,227
T10	741427,889	1047637,706	271,018

Tab. 4.4.3 Tabulka rozdílů souřadnic z měření GNSS

Č.b	ΔY [m]	ΔX [m]	ΔZ [m]
T1	0,007	0,000	-0,010
T2	-0,005	-0,011	-0,001
T3	-0,003	-0,002	-0,012
T4	0,004	0,005	0,002
T5	0,003	0,009	0,003
T6	0,002	0,004	0,005
T7	-0,003	-0,001	0,006
T8	-0,003	0,002	-0,007
T9	-0,012	0,003	-0,002
T10	0,005	-0,005	0,006

Veškerý výpočet byl prováděn v již zmíněném programu. Nejprve bylo do programu nahráno měření z terénu, které bylo upraveno o redukci dvou poloh dalekohledu a při drobných úpravách zápisníku (například při nastavení jednotlivých orientací, které se při nahrání zápisníku měření neoznačily). Dále byl založen záznamík do kterého byly zadány přibližné souřadnice. Tyto souřadnice byly zvoleny z důvodu, že byla síť neprve spočtena v místním systému, aby byla zachována lepší geometrie sítě. Pomocí funkce *Vyrovnaní sítě* byla vypočtena síť s vyrovnáním MNČ. Jednalo se o polohové i výškové vyrovnání sítě. Při výpočtu polohového vyrovnání byla vypočtena jako volná síť, ale při výpočtu výškového vyrovnání byla síť volena jako vázaná.



Obrázek 12: Vyrovnání v programu Groma

Tab. 4.4.4 Tabulka parametru sítě z polohového vyrovnání

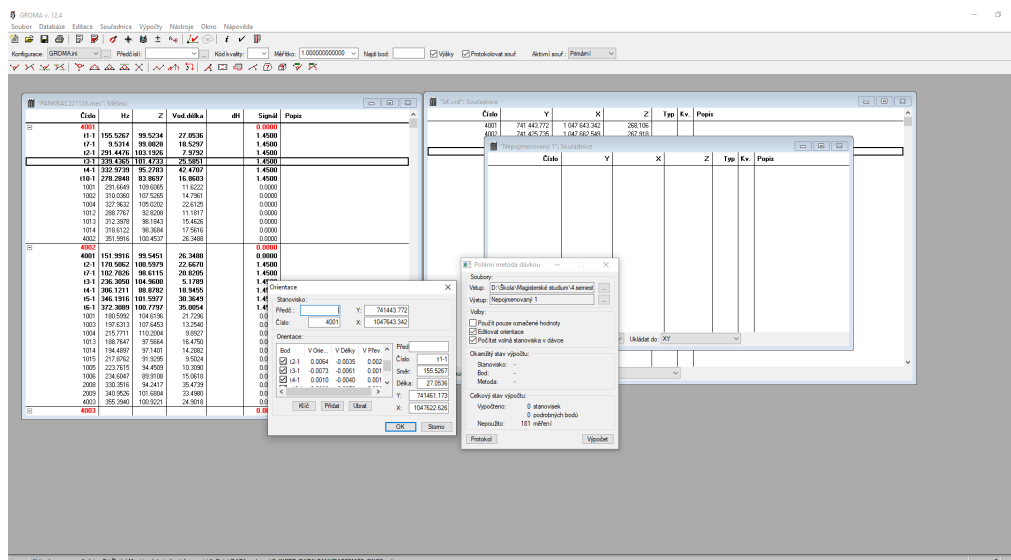
Parametry	hodnota
Průměrná sm. odchylka délky	1,82 mm
Průměrná sm. odchylka směru	6,45 mgon
Počet měřených veličin	100
Počet nadbytečných měření	46
Apriorní sm. Odchylka	5
Aposteriorní sm. odchylka	5,12
Poměr Apri./Apo.	0,977
Střední souřadnicová chyba mxy	1,30 mm

Tab. 4.4.5 Tabulka parametru sítě z výškového vyrovnání

Parametry	hodnota
Střední chyba vyrovnaných výšek	0,51 mm
Počet měřených veličin	49
Počet nadbytečných měření	31
Apriorní sm. Odchylka	10
Aposteriorní sm. odchylka	10,11
Poměr Apri./Apo.	0,989
Střední chyba vyrovnaných měření	0,63 mm

Po dokončení vyrovnání, kdy bylo zapotřebí síť správně vyrovnat, byla síť transformována do souřadnicového systému S-JTSK, k připojení sloužily souřadnice naměřené pomocí GNSS aparatury. Proto byla provedena shodnostní transformace na předem zprůměrované souřadnice.

Dále po výpočtu souřadnic bodového pole, byly za pomoci funkce *Polární metoda dávkou*, vypočteny všechny podrobné body, které byly zaměřeny na objektu jako vlčovací body. Podrobné body měly čísla označení 1000 (15 bodů) pro body určované v exteriéru a 1100 (12 bodů) pro body určeny unvitř objektu. Označené body s parametrem x (zaměřeno 12 bodů), tyto body nebyly předem označeny číslem. Jednalo se o body, které byly stabilizovány primárně pro lepší spojení fotogrammetrických snímků, a proto zde nebylo zapotřebí znát polohu všech bodů. Některé tyto body označené s parametrem x byly při následné transformaci snímků použity pro dosažení větší přesnosti.



Obrázek 13: Polární metoda v programu Groma

Po dokončení výpočtu bodového pole a podrobných bodů byl uložen seznam souřadnic ve formátu .txt, aby se mohl lépe propojit s ostatními softwary a byly uloženy všechny ostatní protokoly.

5 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je jedna z částí oboru geodézie, která se zabývá zjišťováním prostorových informací ve 3D, pomocí obrazových záznamů. V oboru geodézie jsme schopni za pomoci různých metod, a měřických postupů dosáhnou přesnějších výsledků v řádech **mm-cm**. Velkou výhodou použití fotogrammetrie oproti skenování je rychlost pořízení dat a náklady na přístroje. Zatím co se ceny skeneru pohybují až v řádech milionů, pro pozemní fotogrammetrii je zapotřebí pouze lepšího fotoaparátu. Další výhodou při sběru dat za pomoci fotogrammetrie je vyšší vypovídající schopnost snímků. Například při tvorbě map (ortofoto) jsou na snímcích jasně rozpoznatelné jednotlivé prvky (zde se jedná spíše o sběr dat pomocí letecké či družicové metody). Fotogrammetrie se dělí hned podle základního kritéria na([15]):

1. Podle polohy stanoviště

pozemní, letecká, družicová

2. Podle počtu a konfigurace snímků

jednosnímková, vícesnímková: stereo nebo průseková

3. Podle technologického postupu zpracování

analogová, analytická, digitální

Velké využití fotogrammetrie je obzvláště v odvětví kartografie, kde jsou za pomoci leteckých a nebo družicových snímků nasnímány rozsáhlá území. Následně jsou ze snímků, u kterých je vypočtena jednotlivá vnitřní přesnost, vytvořeny mapy například:

- **Státní mapová díla** (resort ČUZK)
- **Vojenské topografické mapy** (Armáda ČR)
- **Informační systémy** (státní zpráva, GIS)
- **DMT** (Digitální model terénu)

Další částí odvětví, u kterých je použití fotogrammetrie velmi přínosné, je směřováno spíše na pozemní fotogrammetrii viz. níže. Velkou výhodou tohoto měření je relativně levná souprava, protože je zapotřebí pouze lepšího fotoaparátu s příslušenstvím (blesk při tmavých objektech). Využití této metody se vyskytuje v:

- **Památkové péči**(dokumentace památek)
- **Stavebnictví** (určování deformací, kubatury při odkopech)

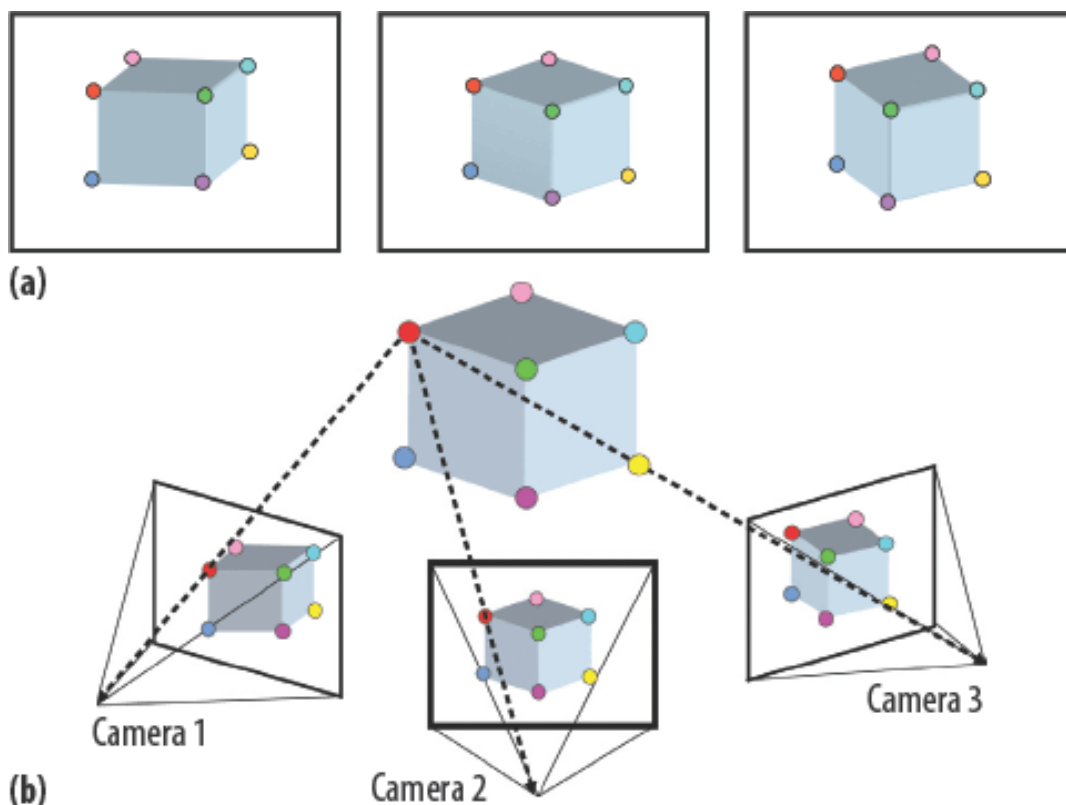
- **Monitoringu** (doly, lomy)
- **Strojírenství** (kontrola přesnosti, deformace strojírenského dílu)

Využití fotogrammetrie se využívá i v odvětvých, které nesouvisí s geodézií například v medicíně. Zde se využívá při rehabilitačním lékařství a nebo při biomechanických aplikacích.

5.1 Průseková fotogrammetrie

Nejpoužívanější metodou sběru dat, za účelem vytvoření mračna bodu, je průseková fotogrammetrie. Princip celé metody je založen na prostorovém protínání vpřed z úhlů, ze kterého následně získáme prostorovou polohu bodů objektu. Výpočet souřadnic získáme z měřených snímkových souřadnic. Dále je důležité si na měřeném objektu rozmístit vlíčovací body, které slouží pro propojení jednotlivých snímků (není zapotřebí, aby byla u každého bodu určena souřadnice), pokud není možné snímky propojit automaticky ve zvoleném softwaru. Přesnost metody je dále vztažena: **na počtu a konfiguraci snímků ,na rozložení a počtu vlíčovacích bodů ,na počtu spojovacích bodů**. Při dosažení nízké přesnosti propojení snímků je možnost využití *umělé signalizace*. Jedná se o označení jasných prvků na snímcích. V dnešní době díky propracovaným softwarům odpadá problém s identifikací u propojení větších řad snímků, z důvodu lepších funkcí. Velká výhoda této metody je v jednoduchosti, rychlosti a přesnosti tvorby následného modelu.

Důležitým aspektem při sběru dat je vhodné rozmístění stanovisek, ze kterých jsou následně pořizovány snímky daného objektu. Stanoviska nejsou v terénu pevně stabilizována, protože jsou tvořena pouze teoreticky. Při snímkování objektu z exteriéru je vhodné volit stanoviska v pomyslné kružnici okolo objektu, za podmínky že jsou lomové prvky objektu (hrany, rohy) snímány z více stanovisek. Počet stanovisek v oblasti rohů je mnohonásobně větší než u rovinných povrchů. Dále je vhodné volit na stanovisku různé výškové hladiny, aby se vytvořilo více propojení na jednotlivých snímcích.



Obrázek 14: Ukázka průsekové fotogrammetrie [16]

5.1.1 Structure from motion

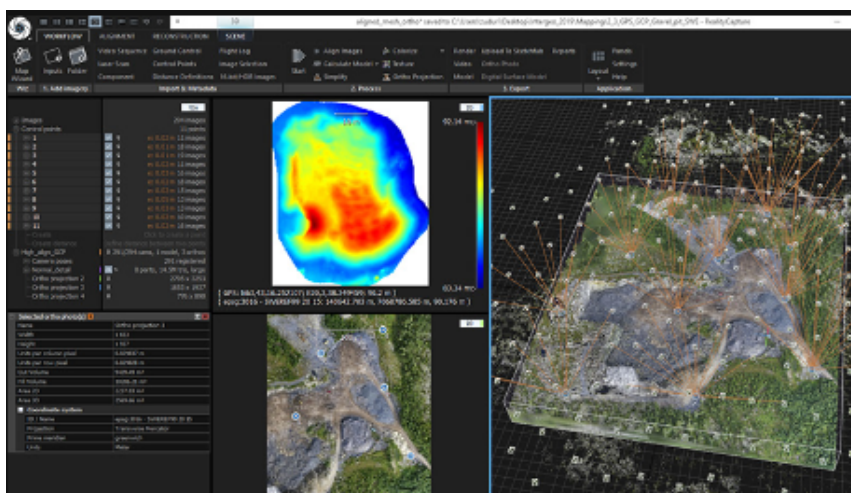
Pro zachycení složité topografie objektu byla využita metoda Structure from motion (SFM). Tato metoda je relativně mladá v odvětví fotogrammetrie. Funguje na principu stereoskopické a průsekové fotogrammetrie s jejichž kombinací vzniká 3D model objektu na základě vzájemných překrytů jednotlivých snímků. Využívá se především při tvorbě trojrozměrné struktury, která je zachycena na dvojrozměrných snímcích, které závisí na pohybu kamery. Velký rozdíl oproti běžné fotogrammetrii se nachází ve výpočtech geometrie scény a orientací jednotlivých pozic kamery, které se při zpracování provádí již automaticky. To vše díky redundantním procesům, které jsou založeny na databázi prvků. Tyto procesy jsou již automaticky zjišťovány ze sady několika překrývajících se snímků.

Celé zpracování snímků a vytvoření požadovaného modelu bylo založeno na této metodě. Díky vysoké míře automatizace, která probíhala v rámci zvoleného programu, probíhalo zpracování při kterém bylo cílem výsledný model zpracovat a vygenerovat. Velkou nevýhodou je časová náročnost na výpočet jednotlivých prvků, a proto při výpočtu mračna bodů v interiéru vznikaly až několika hodinové výpočty. [17]

5.2 Reality capture

Pro zpracování snímků a vytvoření 3D modelu byl využit software Reality Capture. Jedná se o fotogrammetrický software pro vytváření modelů z neuspořádaných fotografií. Velkou výhodou tohoto programu je, že dokáže zpracovat jak snímky z pozemní fotogrammetrie tak i z letecké (popřípadně dronů). Důležitý parametr programu je, že nemá velké hardwarové nároky a proto se dá lehce pracovat z daty i když nenáte výkonný počítač, a přesto je výsledek přesný model.

Výsledný model se za pomoci Reality Capture dá reprezentovat hned více způsoby například: 3D texturované sítě, plnobarevná mračna bodů, modely různých úrovní detailů (LOD), georeferencované mapy, ortografická projekce, DSM, DTM, mapy o zprávě kvality. Export je podporován standardními výměnými formáty.



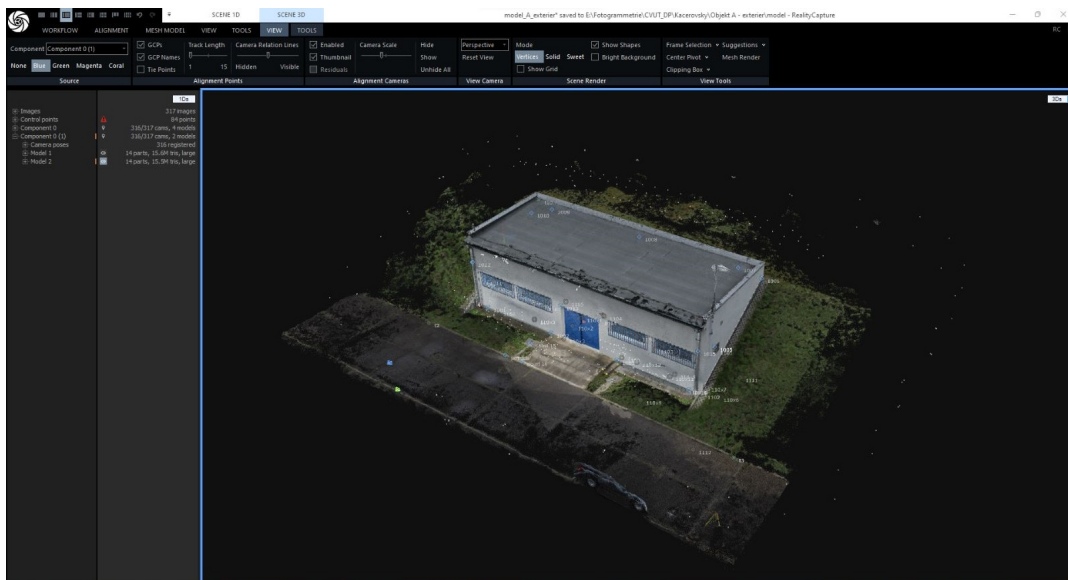
Obrázek 15: Ukázka využití Reality Capture [18]

5.3 Zpracování dat

Zpracování snímků a vytvoření modelu proběhlo v programu *Reality Capture*, do kterého byly nahrány jednotlivé snímky ve formátu JPEG. Z důvodu velkého počtu snímků objektu byly do programu nahrány snímky ve dvou etapách. V první etapě byly nahrány pouze snímky exteriéru objektu a v dalším kroku byly nahrány snímky interiéru. Tento postup zpracování dat na části byl zvolen kvůli časové úspoře při tvorbě modelu. Pro exteriér objektu bylo použito 316 snímků a pro interiéru 1252 snímků.

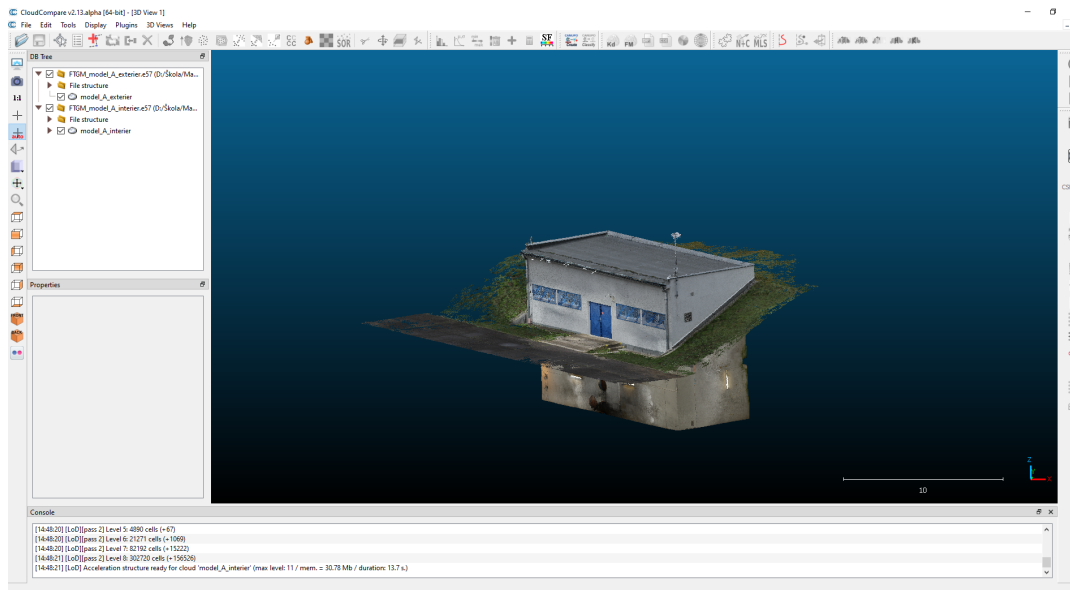
V prvním kroku po nahrání snímku do softwaru bylo zapotřebí urovnání snímků, které probíhá v programu automaticky přes funkci *Alignmet - Align Photos*. Velkou výhodou programu je, že po spuštění jakékoliv operace můžeme i na dále se snímky pracovat bez toho, aniž by se operace zastavila a nebo vypnula.

Veškeré důležité funkce se poté vyskytují v roletě *Workflow*. Po dokončení automatického urovnání snímků byl zobrazen model, který bylo místy zapotřebí propojit přes pomocné body. Body byly v terénu stabilizovány jako černé křížky. Po dokončení tvorby modelu a odstranění špatné automatizace bylo zapotřebí vytvořené mračno připojit do námi zvoleného systému souřadnic (S-JTSK) pomocí funkce *Create Control Point*. Propojení bylo provedeno skrz námi předem určené a vypočtené vlíčovací body (15 bodů stabilizováno na fasádě objektu a 11 uvnitř objektu), které jsme na objektu stabilizovaly a následně zaměřily pomocí multi stanice Leica MS60. Do programu byly nahrány souřadnice vlíčovacích bodů ve formátu souboru .txt, který obsahoval číslo a souřadnice jednotlivých bodů. Po dokončení nahrání bodů byly vlíčovací body určeny na jednotlivých snímcích. K označování bodů na snímcích nám pomáhala automatická funkce, kdy se obraz přiblížil na přibližné místo lokality umístěného bodu. Po inicializaci bodů na více snímcích nám poté program vyhodnotí jednotlivou přesnost určených bodů na zvolených snímcích.



Obrázek 16: Mračno bodů s vlíčovacími v programu Reality Capture

Po vytvoření modelu a připojení do systému S-JTSK byly modely na sebe napojeny, aby byl zobrazen kompletní výsledek. Po spojení a zobrazení obou modelů byl vhodně oříznut, aby se ve finálním kroku zobrazovala pouze zájmová oblast. Daný objekt a jeho blízké okolí (zapuštění objektu do vyvýšeného kopce). Následně byl oříznutý model redukován o nechtěný šum. Výsledný export poté proběhl do formátů .e57 a .rcs, z důvodu lepšího importu do ostatních programů. Na obrázku (17) je zobrazený výsledný model v programu Cloud Compare.



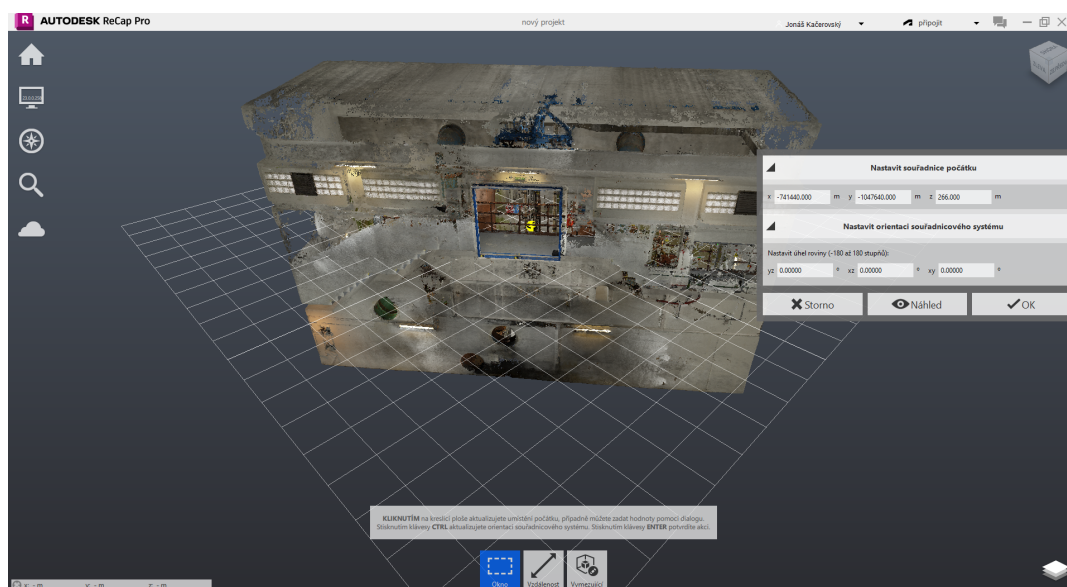
Obrázek 17: Mračno bodů v CloudCompare

6 Modelování

6.1 Recap

Program Recap je zkratka *Reality Capture*, jedná se o program, který zajišťuje jednoduchou práci se skutečnými mračny bodů v našem případě byl použit pro určení počátku jednotlivých mračen (modelů). Velkou výhodou softwaru je, že se v něm dají snadno otevírat mračna bodů a v prostředí programu je s nimi jednoduchá manipulace. Také nabízí možnost, data vhodným způsobem vyfiltrovat a spravovat tím velikost výstupního souboru, nebo snadno zobrazit stanoviska skeneru, spravovat osvětlení modelu a v neposlední řadě je zde možnost lehké tvorby řezů modelu. Do programu je možnost, importu dat, hned několika různými způsoby. Například, vstup pomocí hotových mračen bodů (.e57,rcs) nebo přes nahrání fotografií.

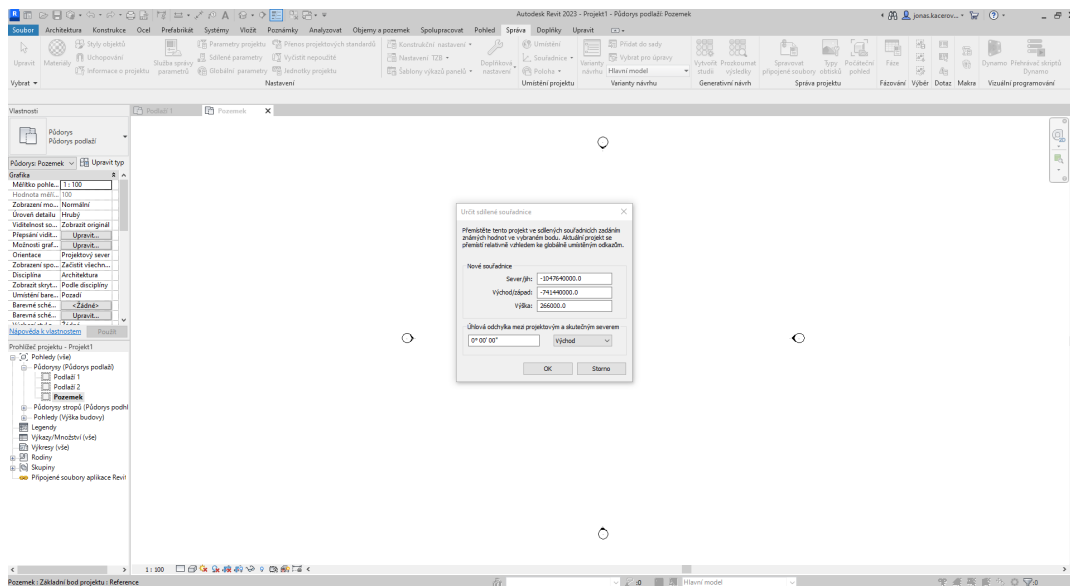
V softwaru byl proto zvolen vhodný počátek tak, aby se nacházel na levé straně objektu přibližně ve výšce 1. patra, toto umístění bylo zvoleno z důvodu následného usnadnění práce v modelování. Souřadnice zvoleného počátku byly vhodně zaokrouhleny na celé metry: **Y=1047640.000 m, X=741440.000 m, Z=266.000 m** (Obrázek 18).



Obrázek 18: Mračno bodů v softwaru Recap

6.2 Revit

Jedná se o software pro informační modelování budov (BIM) který vydala společnost Autodesk, která umožňuje upravovat model ve vysokých a podrobných



Obrázek 20: Nastavení počátku modelu v programu Revit

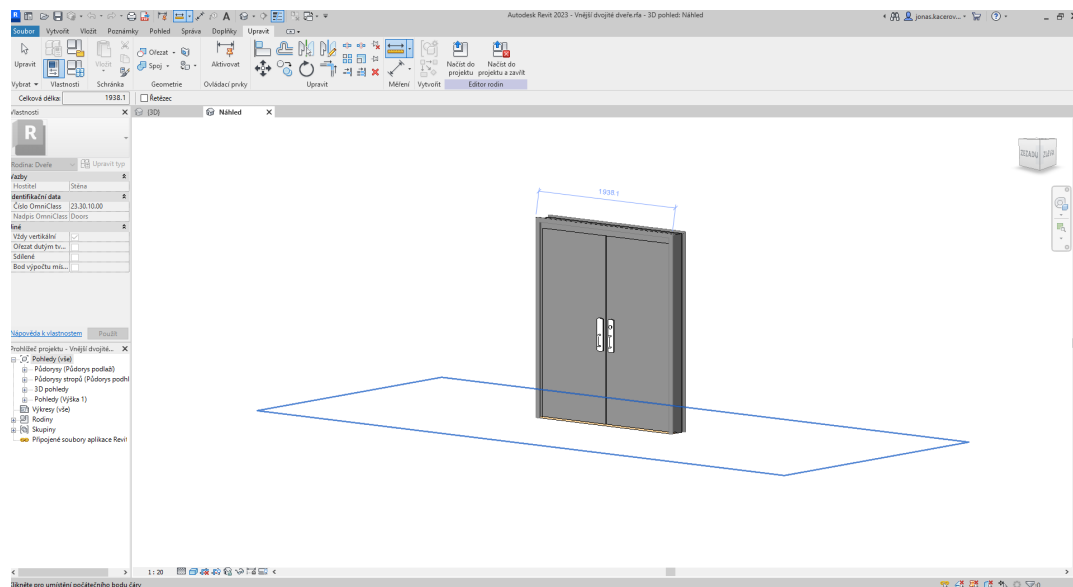
Po nastavení počátku výkresu byly nadefinovány první pohledy v záložce *Architektura, Pohledy*, první hladina podlaží byla nastavena tak, aby protínala model v úrovni vstupních dveří do objektu. Další hladinou byla definována nejnižší úroveň podlahy a poslední strop objektu. Postupem práce byly do objektu přidávány podlaží podle potřeby, např. pro úrovně podest, sloupů, a různých technických zařízení (bylo vytvořeno 16 úrovní podlaží). Pro lepší přehlednost objektu byl pohled v hladině stropu definován tak, aby nezabraňoval jasné viditelnosti. Díky náročnému členění objektu byly dále v projektu zapotřebí definovat dočasné řezy, kterými se objekt rozdělil na menší a podrobnější části ve kterých byly jasné viditelné detaily.

Jednotlivé prvky byly modelovány tak, že byla za pomoci funkce měření z mračna bodů odměřena míra, kterou bylo místy zapotřebí zaokrouhlit z důvodu nepřesnosti mračna bodu a následně byl nadefinován jednotlivý prvek. Kvůli nerealizovatelnému zaměření tloušťky stěny pod povrchem byly převzaty míry z nezakryté části objektu. Dále byly jednotlivé konstrukční atributy stěny přibližně navoleny: tloušťka zdiva, omítky, berevného nánosů.

Při tvorbě modelu docházelo k nutnosti nadefinování rodin v programu Revit je pod názvem rodina definován jednotlivý prvek (například rozměr a tvar dveří, oken ..), důležité v tomto kroku bylo vytvoření duplikátu daného prvku a poté byla provedena následná úprava. Například při tvorbě vstupních dveří (v objektu spíše vrata) bylo zapotřebí zcela změnit geometrii.

Při tvorbě jednotlivých potrubích bylo důležité si všechny druhy předem připravit aby byla zachována jednotlivá návaznost. Například při konstrukci kolen potrubí byly ke každé rodině přiřazeny typy se kterými se spoj naváže a dále při různých typech spojů. Pokud by se tyto spoje nenastavily v roletoovém menu typu trubky tak se nedokáží vhodně propojit. Díky tomu se poté

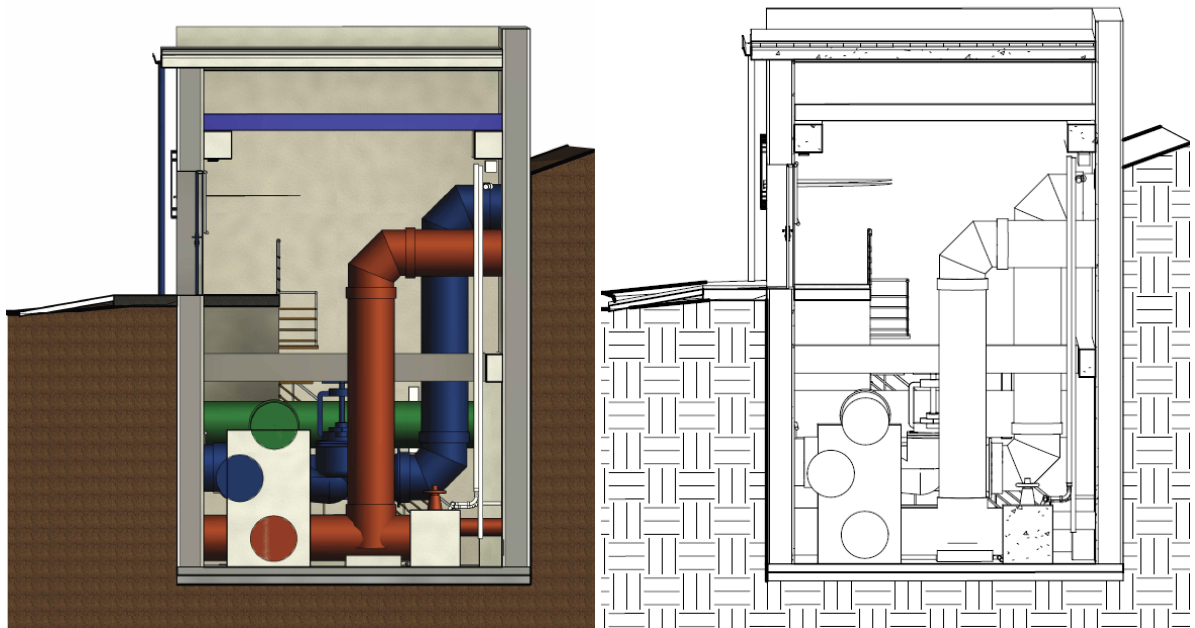
spoje upravují automaticky, např. při napojení trubky na koleno program ihned zahlásí pokud, zdali je spoj pod tímto úhlem možný, pokud ne program navrhne řešení přes jiný prvek.



Obrázek 21: Tvorba rodin v programu Revit

Po dokočení modelu bylo zapotřebí vyexportovat výkres ve vhodném formátu. V první řadě byly exportovány jednotlivé řezy ve více výměných formátech. pdf, .dwg. Formát .pdf byl zvolen díky své nízké náročnosti na otevření v různých platformách za to formát .dwg byl zvolen pro možnosti otevření řezů v různých kreslicích softwarech. Dále byl celý projekt vyexportován ve výměném formátu .IFC, který podporuje komunikaci mezi různými softwary. Zde bylo důležité nejprve specifikovat jaké třídy se vyexportují.

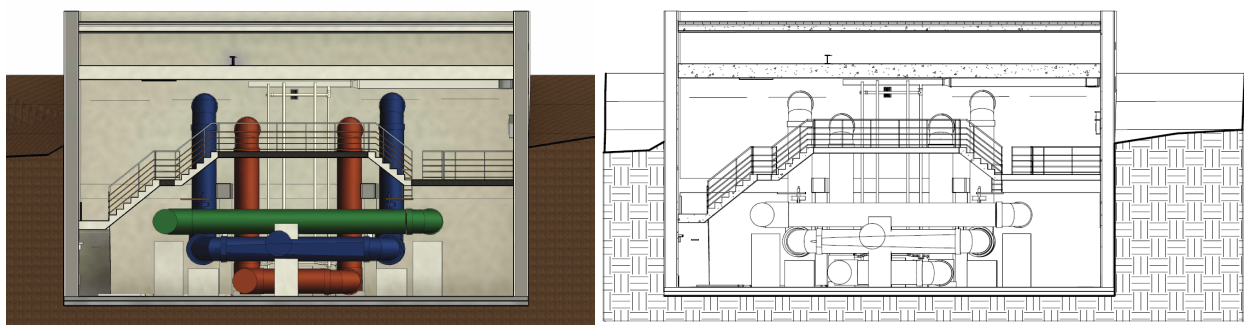
6.3.1 Řezy



(a) Model obarvený reálnými barvami

(b) Model kreslený skrytou hranou

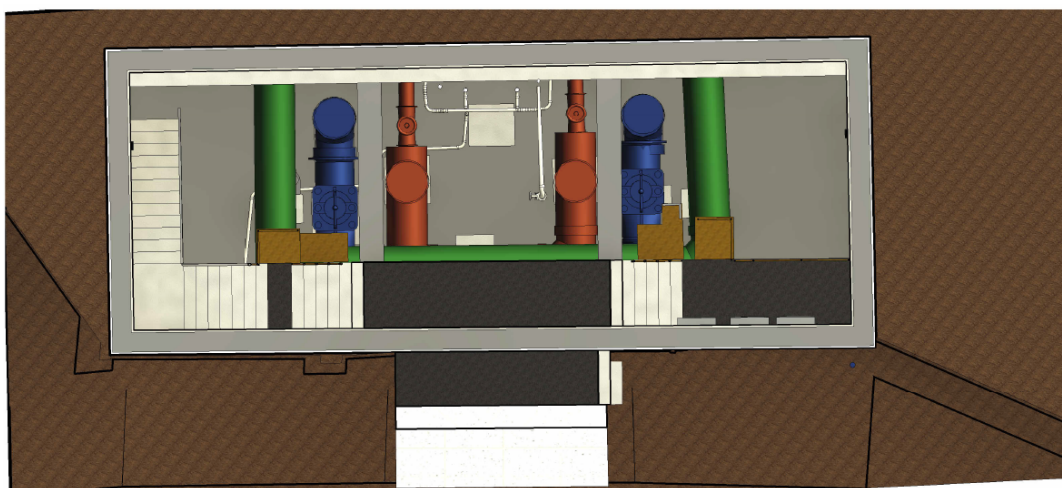
Obrázek 22: Model v Řezu A



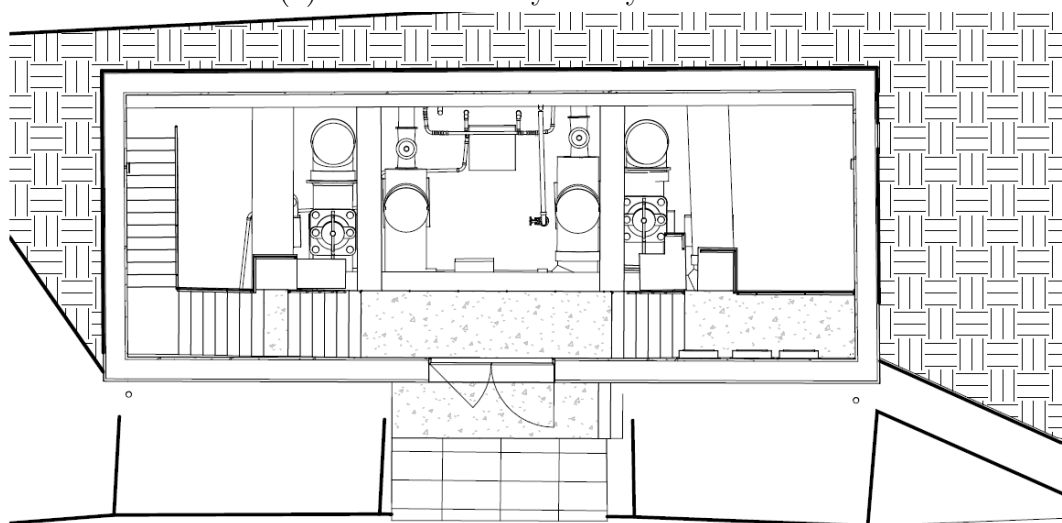
(a) Model obarvený reálnými barvami

(b) Model kreslený skrytou hranou

Obrázek 23: Model v Řezu B

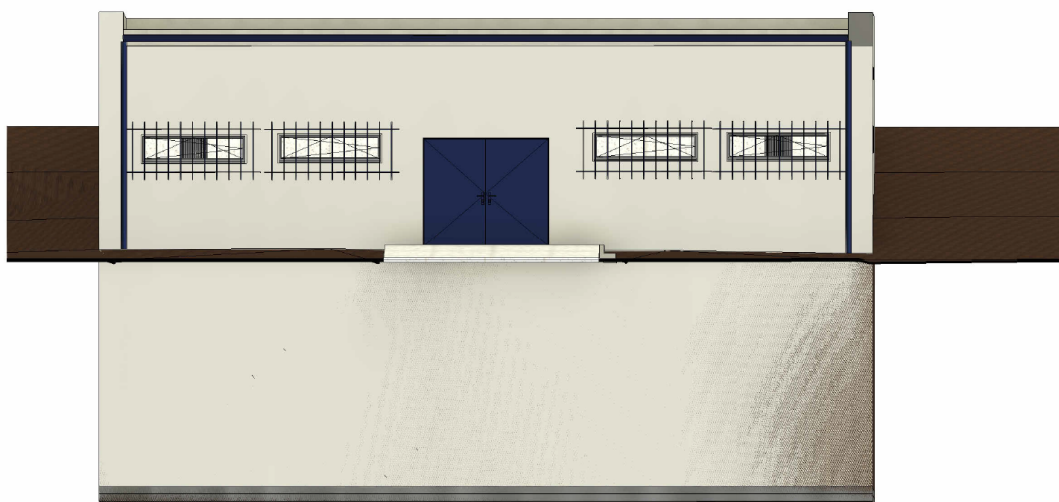


(a) Model obarvený reálnými barvami

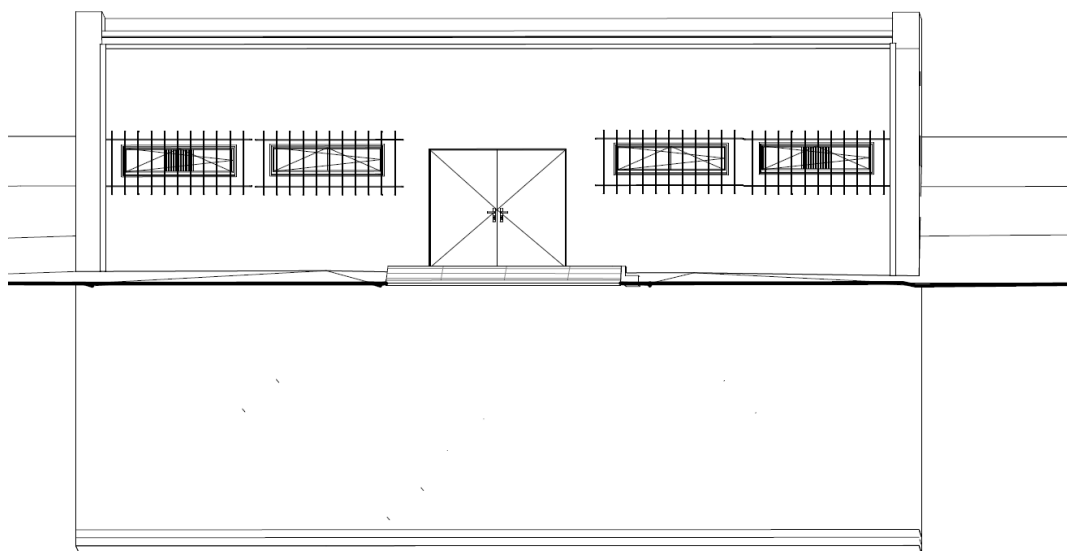


(b) Model kreslený skrytou hranou

Obrázek 24: Model v půdorysu



(a) Model obarvený reálnými barvami



(b) Model kreslený skrytou hranou

Obrázek 25: Model z pohled zepředu

7 Porovnání výsledků

V této kapitole byla sledována různorodost výstupů a jejich rozdílná přesnost. Vodohospodářský objekt jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách, byl zaměřen hned dvěma metodami. První využitá metoda byla realizována pomocí pozemní fotogrammetrie a druhá metoda byla realizována pomocí laserového skenování. Z obou metod měření je výstupem orientované mračno bodů, které zobrazuje celkový objekt. Následně byl jako finální produkt práce vyhotoven model BIM, který byl vymodelován na základě mračna bodů z fotogrammetrie. Hlavní myšlenkou práce bylo porovnat rozdílné metody sběru dat a zjistit jaká metoda by byla nejvhodnější pro zaměření vodohospodářského objektu.

Jako další prvek byla sledována časová náročnost na sběr dat. Při pořizování dat za pomoci laserového skenování byla časová náročnost přibližně jedenkrát delší než při sběru pomocí pozemní fotogrammetrie. Dále byl problém při zaměřování prostorů, které byly hůře přístupné pro skenovací v takovém případě se měření za pomoci laserového skeneru protáhlo. Velkou výhodou u fotogrammetrie byla její flexibilita, která se složitějšímu terénu přispůsobila.

Další důraz se kladl na čas který byl zapotřebí při zpracovávání dat. Při sběru dat pomocí laserového skenování je výstupem naměřené mračno bodů, které následně stačí v softwaru pouze vzájemně propojit za podmínky, že se během měření nevyskytly komplikace a chyby. Tyto chyby mohly být způsobené nepozorností měřiče a nebo přístrojem samotným. V takovém to případě je následné zpracování velmi rychlé. Při sběru dat pomocí fotogrammetrie je zapotřebí v první řadě spočítat mračno bodů z pořízených snímků a tato skutečnost může místy zabírat až několik hodin. Čas na zpracování vždy závisí na počtu pořízených snímků. Po vytvoření mračna bodů je postup obdobný jako při práci s mračnem bodů ze skenování. V poslední fázi se obě metody co se týče časové náročnosti na zpracování se neodlišují. Jedná se o odstranění nežádoucího šumu a ořez daného objektu tak aby se při případném zpracování nezatěžoval výpočet zapříčiněný velkým rozsahem okolí.

7.1 Prostorová polární metoda

Pro zjištění přesnosti mezi jednotlivými metodami bylo zaměřeno 54 kontrolních bodů které byly jasně identifikovatelné na zaměřovaném objektu. Jako tyto kontrolní body sloužily rohy stěn, rohy dveří, oken, betonové kvádry, které byly pevně spojené s podlahou apod.. Zaměření jednotlivých prvků probíhalo za pomoci prostorové polární metody, kdy poloha stanoviště byla zjištěna z naprotínání se ze známých bodů. Zde byly využity jak body bodového pole, které jsme si dříve vytvořily v okolí budovy, tak i vlíčovací body realizované pomocí křížků na fasádě objektu u kterých jsme si předem určily souřadnice.

Po určení stanoviska byly zaměřeny kontrolní body na objektu za pomoci polární metody. Bylo využito měření na bezhranol z důvodu špatnému přístupu ke sledovaným bodům. Zaměření kontrolních bodů probíhalo ze 4 stanovisek, kdy bylo vždy nové stanovisko zaměřeno z minulého postavení. Díky tomu byla zajištěna návaznost jednotlivých bodů. Po dokončení zaměření byla data exportována ve formátu .gsi a následně byla přepočtena v programu Groma.

7.2 Porovnání jednotlivých modelů skrze zaměřené body

Při porovnávání modelů byly zaměřené body, za pomoci multi stanice Leica MS60 stanoveny jako správné. Poté byly na jednotlivých modelech vyinterpolovány body, které se nacházely v místě zaměřeného bodu. Pro snadnější zjišťování polohy bodu v modelu byl vytvořen soubor .txt, který obsahoval seznam souřadnic kontrolních bodů a ten byl nahrán společně s jednotlivým modelem do programu Cloud Compare. Tento postup byl proveden u obou vypočtených modelů stejně. Jelikož byl kladen velký důraz na co největší podrobnost modelu nebyly mračna redukována a byly použity surové modely. U modelu z laserového skenování nastal problém při zobrazení v Cloud Comparu kvůli velikosti dat a proto bylo zapotřebí model rozdělit jednotlivými řezy na více menších modelů, které byly dále postupně nahrávány.

Další porovnávaný prvek byl vyhotovený BIM model z programu Revit. Zde byla interpolace díky dobře rozmístěným kontrolním bodům značně jednodušší. Bylo zapotřebí pouze zobrazení souřadnic zaměřených hran.

Pro zhodnocení přesnosti jednotlivých modelů byla pro souřadnice X,Y,Z vypočtena výběrová směrodatná odchylka dle vzorce:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v^2}{n-1}}$$

, kde n=počet naměřených bodů, v=dY,dX,dZ [19]

Dále byly vypočteny výběrové směrodatné odchylky od průměru dle vzorce:

$$\sigma_{dxyz} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n dxyz^2}{(n-1) * n}}$$

, kde n=počet naměřených bodů, dxyz=prostorová délka [19]

Tab. 7.2.1 Tabulka dosažených přesností z fotogrammetrické metody

Přesnost metody mezi polární metodou a vytvořeným fotogrammetrickým modelem	
Výběrová směrodatná odchylka pro σ_y [mm]	18,73
Výběrová směrodatná odchylka pro σ_x [mm]	15,29
Výběrová směrodatná odchylka pro σ_z [mm]	19,23
Výběrová směrodatná odchylka průměru σ_{xyz} [mm]	4,05
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu [mm]	30,89
Průměrný rozdíl [mm]	-1,00

Tab. 7.2.2 Tabulka dosažených přesností z laserového skenování

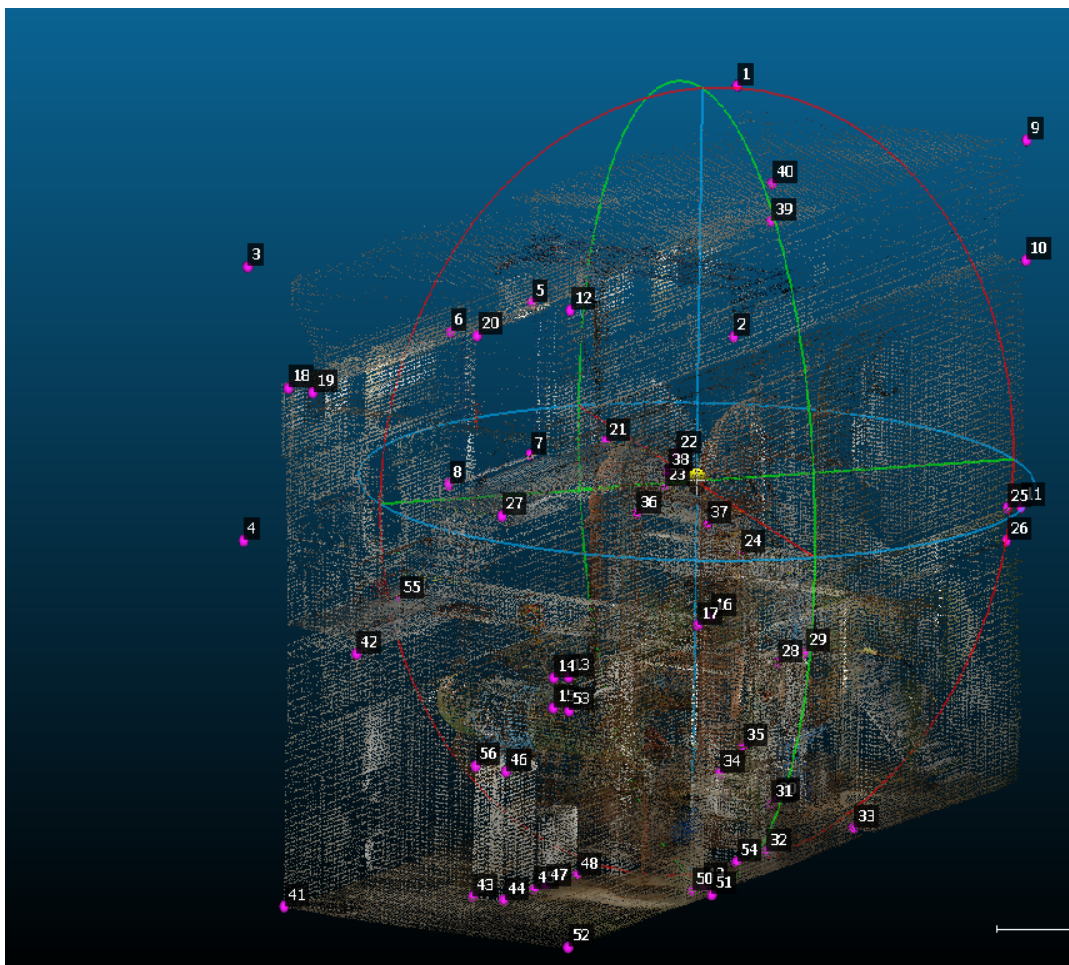
Přesnost metody mezi polární metodou a vytvořeným modelem z laserového skenování	
Výběrová směrodatná odchylka pro σ_y [mm]	12,92
Výběrová směrodatná odchylka pro σ_x [mm]	14,61
Výběrová směrodatná odchylka pro σ_z [mm]	17,64
Výběrová směrodatná odchylka průměru σ_{xyz} [mm]	2,85
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu [mm]	26,30
Průměrný rozdíl [mm]	-0,70

Tab. 7.2.3 Tabulka dosažených přesností z BIM modelu

Přesnost metody mezi polární metodou a vytvořeným BIM modelem	
Výběrová směrodatná odchylka pro σ_y [mm]	14,52
Výběrová směrodatná odchylka pro σ_x [mm]	13,41
Výběrová směrodatná odchylka pro σ_z [mm]	14,67
Výběrová směrodatná odchylka průměru σ_{xyz} [mm]	3,03
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu [mm]	24,62
Průměrný rozdíl [mm]	-0,72



Obrázek 26: Body na mračnu - exteriér



Obrázek 27: Body na mračnu - interiér

Z výše uvedených tabulek jde dále vidět, že přesnost obou modelů dosahuje rozdílů v řádech centimetrů. Tyto chyby se však zobrazují velmi nahodile a to můžeme přiřadit hned k několika faktorům. Například nedokonalostem při výstavbě objektu svislé a vodorovné tvary jednotlivých konstrukcí nejsou dodrženy a nebo rohy jsou již díky používání uražené. Díky tomu vytvořený model nabýval čistších hodnot a rozměrů než ve skutečnosti byly. V modelu se nevyškytovali různé prvky opotřebení.

7.3 Porovnání výsledků skrz kontrolní oměrné

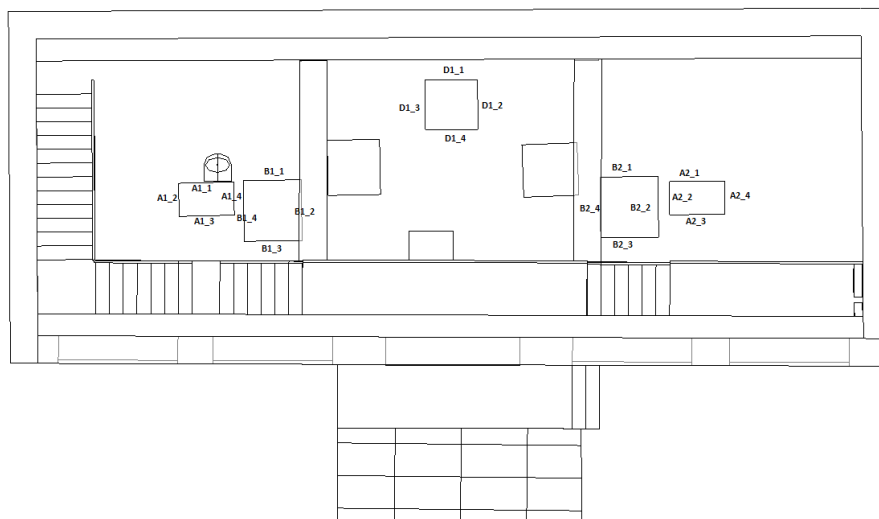
Další metodou pro zjišťování kvality výstupu, kterou byla porovnávána přesnost mezi vytvořeným modelem BIM a skutečností bylo zaměření vybraných prvků za pomoci kontrolních oměrných. V terénu byly naměřeny hodnoty za pomoci svinovacího metru a ty byly následně porovnány s hodnotami, které byly odměřeny z BIM modelu. Na výsledcích můžeme vidět, že vznikaly rozdíly až 3 cm které byly zapříčiněny generalizací kresby modelu. Například rohy betonových patek byly sestrojeny jako ostré hrany zatímco v terénu byly již zaoblené a místy omlácené a proto nebyl jasně identifikovaný jejich původní tvar.

Tab. 7.3.1 Tabulka rozdílů z kontrolních oměrek

BIM-model		Měřené v terénu		Odchytky[mm]
Body	vzdálenost[m]	Body	vzdálenost[m]	
A1_1	1,000	A1_1	0,980	20,00
A1_2	0,600	A1_2	0,575	25,00
A1_3	1,000	A1_3	0,975	25,00
A1_4	0,600	A1_4	0,600	0,00
B1_1	1,050	B1_1	1,025	25,00
B1_2	1,100	B1_2	1,110	-10,00
B1_3	1,050	B1_3	1,065	-15,00
B1_4	1,100	B1_4	1,110	-10,00
B1_H	0,950	B1_H	0,975	-25,00
D_1	0,950	D_1	0,950	0,00
D_2	0,900	D_2	0,910	-10,00
D_3	0,900	D_3	0,910	-10,00
D_4	0,950	D_4	0,950	0,00
D_H	1,050	D_H	1,050	0,00
A2_1	1,000	A2_1	0,990	10,00
A2_2	0,600	A2_2	0,620	-20,00
A2_3	1,000	A2_3	1,010	-10,00
A2_4	0,600	A2_4	0,580	20,00
B2_1	1,050	B2_1	1,020	30,00
B2_2	1,100	B2_2	1,090	10,00
B2_3	1,050	B2_3	1,020	30,00
B2_4	1,100	B2_4	1,070	30,00
B2_H	0,950	B2_H	0,975	-25,00

Tab. 7.3.2 Tabulka dosažených přesností z kontrolních oměrek

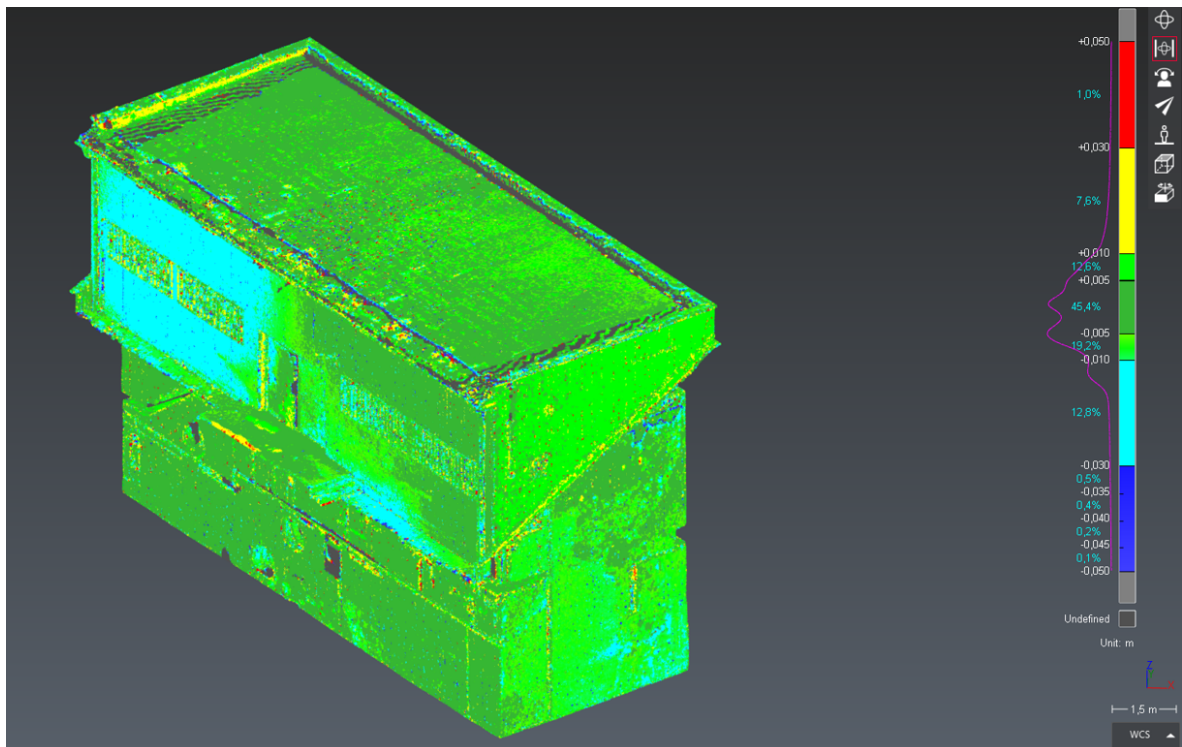
Přesnost metody kontrolních oměrných	
Výběrová směrodatná odchylka [mm]	19,19
Maximální rozdíl [mm]	30,00
Minimální rozdíl [mm]	-25,00



Obrázek 28: měrický náčrt

7.4 Porovnání mračen bodů

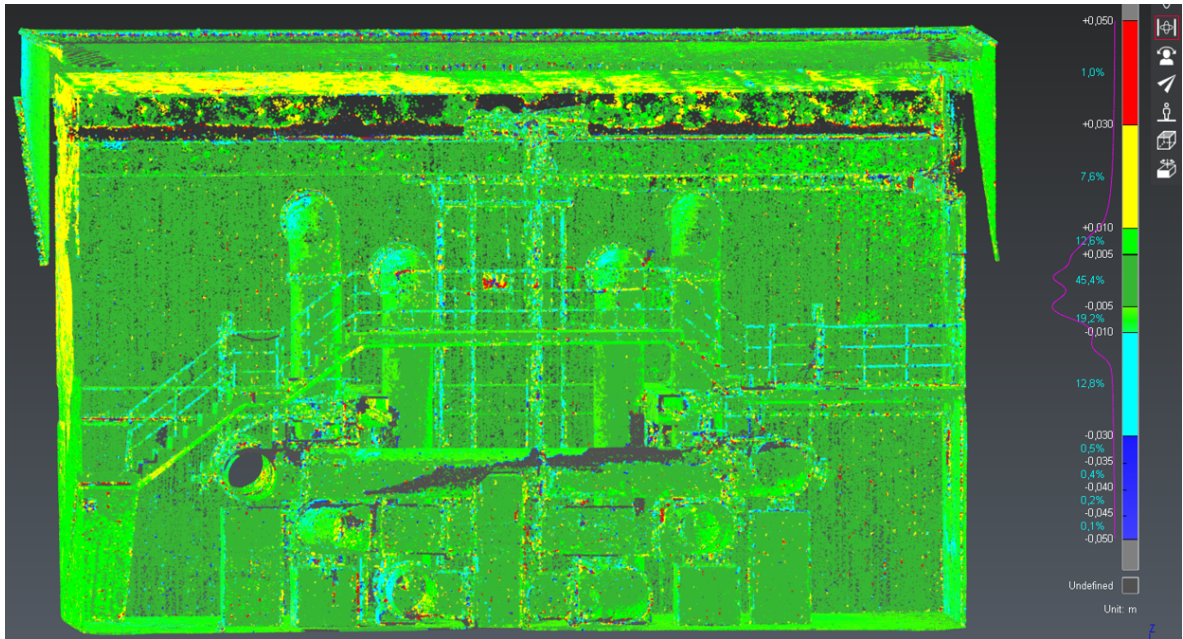
V poslední kapitole se řešilo vzájemné porovnání vypočtených mračen bodů. Kde se porovnávala vytvořená mračna bodů z pozemní fotogrammetrie a z laserového skenování. Celý proces vzájemného porovnání byl zpracován v programu Cyclon od firmy Leica který byl zvolen díky lepší práci s objemnějšími daty. Například v programu Cloud Compare se vyskytoval problém při výpočtu takto obsáhlých mračen. Jednalo se pouze o import očištěných mračen bodů do programu kde se pomocí automatického vyhodnocení vytvořil rozdílový model. Který zobrazoval vzájemné odchylky mezi modely. Na obrázku č.29 můžeme pozorovat, že se rozdíly modelů v intervalu mezi + 1 cm až - 1 cm vyskytují v 77 % . Výsledkem tohoto pozorování vyplývá, že se rozdíl mezi modely vyskytuje jen značně nepatrný což bylo vidět již v kapitole 7.2. Kde se porovnávané modely ve výběrové směrodatné odchylce lišily jen minimálně. Dále byly zvoleny vhodné intervaly mezi (-5 cm,+5 cm) kde byly nastaveny mezi kroky o hodnotách (0 cm; 0,005 cm), (0,005 cm; 0,01 cm), (0,01 cm; 0,025 cm) , (0,025 cm; 0,05 cm). Stejně intervaly byly nastaveny i pro záporné hodnoty.



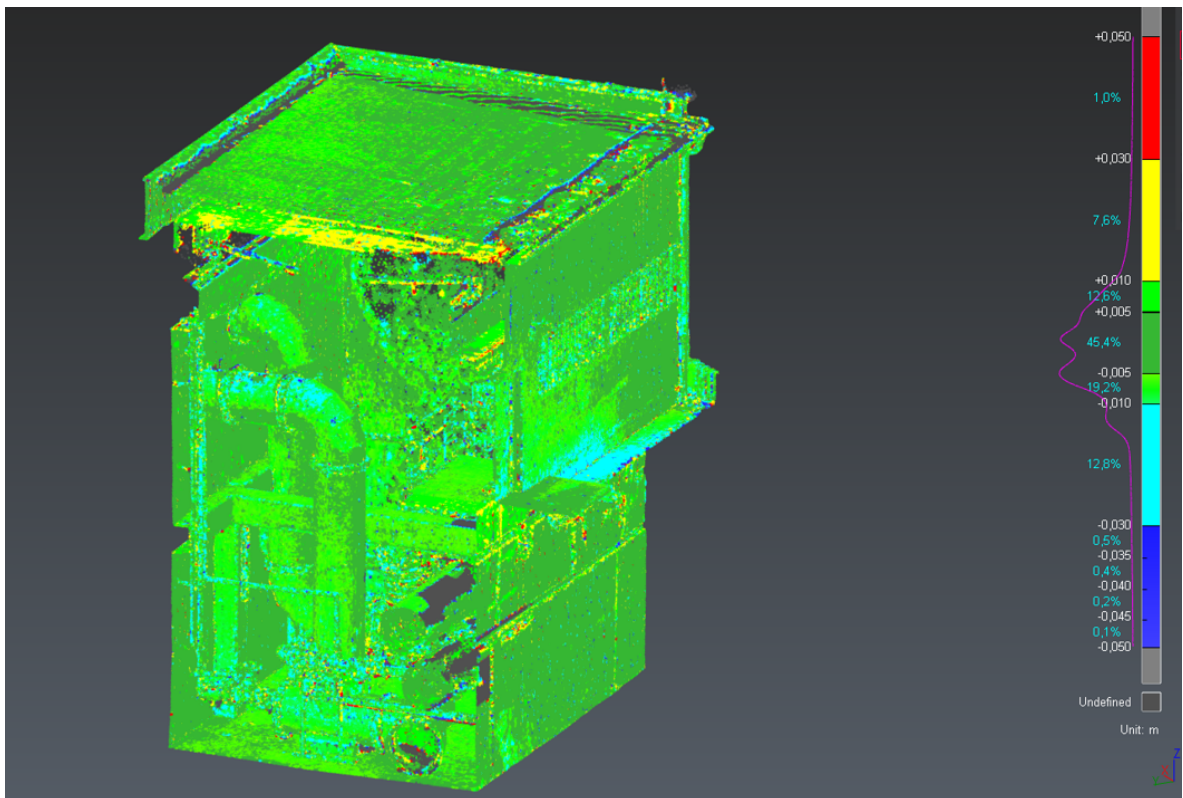
Obrázek 29: Porovnání mračen v programu Cyclone

Na obrázcích č.29 a 31, můžeme pozorovat že se odchylky v řádech do +/- 5 cm vyskytují jen minimálně. V posledním zvoleném intervalu se vyskytují odchylky pouze v míře o velikosti 1 %. Na prvním obrázku můžeme pozorovat největší podíl větších odchylek na venkovní stěně objektu zde byly tyto odchylky pravděpodobně způsobeny rovinatostí. Která se při fotogrammetrickém zpracování těžko určuje. Z tohoto důvodu se může lišit od modelu pořízeného laserovým skenováním. Na druhém obrázku č. 31 můžeme pozorovat největší odchylky modelů na stropní konstrukci uvnitř objektu. To může být z důvodu omezené možnosti snímání stropní konstrukce která byla realizována výhradně ze spodní části objektu. Kde bylo zapotřebí najít vhodné stanovisko pro snímání kde byl nejmenší zakryt. To bylo způsobeno velkým množstvím technických zařízení uvnitř objektu. Bohužel, ale také nebyla možnost dokonalého nasnímání této konstrukce z prvního podlaží a to z důvodu malé vzdálenosti snímané oblasti.

Pro odstranění chyb by bylo zapotřebí podrobněji nasnímávat rizikové části objektu a doplnit je o jasné vlíčovací body. Za těchto podmínek by se daly chyby značně redukovat. Ale z důvodu následné generalizace objektu jsou chyby cca 5 cm na části přední stěny zanedbatelné z důvodu proložené roviny skrze hrany objektu, které mají zanesenou chybovost v intervalu do 1 cm.



Obrázek 30: Porovnání mračen v programu Cyclone,řez A



Obrázek 31: Porovnání mračen v programu Cyclone,řez B

8 Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvoření 3D modelu vodohospodářského objektu z fotogrammetrických snímků ve výměném formátu BIM s přesností LOD 300. Model byl dále transformovaný do systému S-JTSK a Bpv. Dále se práce zaměřovala na porovnání a vyhodnocení přesnosti sběru dat pomocí pozemní fotogrammetrie a laserového skenování které probíhalo na základě zaměření kontrolních bodů pomocí prostorové polární metody.

Za tímto účelem bylo v blízkém okolí objektu vybudováno bodové pole které bylo připojeno do námi zvoleného systému za pomoci GNSS aparatury a následně bylo bodové pole zaměřeno multi stanicí Leica MS60. Zaměřená síť byla následně vyrovnána v programu Groma. V dalším kroku byly na objektu zaměřeny vlíčovací body, které byly dočasně stabilizovány pomocí černých křížků nakreslených uvnitř a vně objektu. Díky kterým byla následně vypočtena a správně napojena mračna bodů.

Dalším krokem bylo vytvoření BIM modelu z mračna bodů vytvořeného z fotogrammetrických snímků. Tvorba modelu probíhala v programu Revit od firmy Autodesk do kterého bylo nahráno námi zvolené mračno bodů ze kterého vznikl výsledný model. Zde bylo zapotřebí tvorby vlastních rodin aby se model co nejlépe podobal skutečnému objektu. Po dokončení kresby byl model vyexportován ve více řezech, aby byla zajištěna lepší čitelnost členitého objektu. Z důvodu natočení objektu do systému S-JTSK bylo několik konstrukčních možností značně omezeno. Například při tvorbě obdelníkové podesty musela být konstrukce vždy vhodně natočena nebo při natočení pohledu ze předu byl objekt mírně stočen ve směru nadefinovaného systému. Z tohoto důvodu bych při zpracování nového projektu vytvořil připojení modelu do systému, až po dokončení veškeré kresby. Dále velkou nevýhodou při modelování byla přesnost zaměření při které je snadno pozorovatelná každá nedokonalost. Například byla snadno čitelná každá menší chyba při tvorbě objektu např. nesvislost stěn, špatná rovinnatost podlahy i podest. Při geodetickém zaměření je pak jasně prokazatelná i malá chyba vzniklá konstrukcí daných prvků. Z tohoto důvodu bych viděl BIM modelování jako vhodnější prvek pro projektování nových budov a pro geodetické zaměření pouze jako prvek pro tvorbu 3D modelu s přesností LOD100-300.

Po dokončení tvorby modelu byla vyhotovena jednotlivá porovnání mračen bodů a modelu z programu Revit. Porovnání bylo provedeno skrze zaměřených 54 kontrolních bodů které byly realizovány prostorovou polární metodu s využitím přístroje Leica MS60. Díky tomu byla zjištěna vnitřní přesnost jednotlivých výstupů. Na tabulkách v kapitole 7.2 můžeme sledovat, že přesnost laserového skenování je lepší než při tvorbě modelu z pozemní fotogrammetrie ale pouze v řádech milimetrů. Z tohoto důvodu bych zvolil jako metodu sběru dat pro vodohospodářský objekt pozemní fotogrammetrii. Která má hned několik výhod. Například při vyhotovení mračna bodů jsou díky fotkám snadno dohledatelné i

drobné prvky které se vyskytují na více snímcích. Dále je metoda pružnější při zaměřování nepřístupných prostor, rychlost pořízení snímků celého objektu je mnohem rychlejší než pořizování jednotlivých skenů. Velikost mračna bodů je daleko menší se stejnou vypovídající hodnotou jako mračno s laserového skenování. Velkým rozdílem byla časová náročnost při zpracování dat z měření kdy se data s laserového skenování zpracovala více jak o polovinu rychleji než data z pozemní fotogrammetrie. Při zpracování interéru z fotogrammetrických dat byl výpočet několika hodinový a to i za předpokladu výkonného počítače (cca 4 hodiny). Za to při zpracování dat z laserového skenování byl čas zpracování do 1 hodiny (cca 45 minut).

V dalším kroku byl porovnáván vyhotovený model s kontrolními oměrnými, zaměřenými pomocí svinovacího metru. Zde byla jasně prokazatelná rozdílná přesnost v řádech *cm* která byla způsobena poškozením a nebo opotřebením technických zařízení objektu, které byly za tímto účelem proměřeny. Tyto prvky byly v modelu vymodelovány jako nepoškozené, z důvodu generalizace.

V posledním porovnání bylo realizováno srovnání obou mračen bodů. V kapitole 7.4 můžeme vidět, že se jednotlivá mračna liší pouze minimálně z tohoto důvodu jsou pro zaměření objektu vhodné obě dvě metody. Zde se pak nabízí otázka na časovou a prostorovou náročnost objektu. Z důvodu rychlosti sběru dat v terénu a skoro totožné kvalitě mračna bodů bych volil jako primární metodu pozemní fotogrammetrie.

Výstupem práce je 3D model společně s výkresy který byl zpracován s parametry BIM. Model je připojený do systémů S-JTSK a Bpv.

Seznam obrázků

1	Lokalita oblasti [1]	10
2	Měřený objekt	12
a	Exteriér objektu	12
b	Interiér objektu	12
3	Porovnání zpracování BIM modelu	15
a	BIM vizualizace na Apple Lisa [5]	15
b	BIM vizualizace nyní	15
4	Rozdělení LOD [8]	16
5	Rozdělení LOD podle profesí [8]	17
6	Porovnání LOD300 a LOD350 [10]	18
7	Fotoaparát + příslušenství	20
a	Canon EOS 6D Mark II [11]	20
b	Canon EF 28mm f/2.8 IS USM [11]	20
c	Canon SpeedLite 430EX III - R7 [11]	20
8	Leica P40 [12]	22
9	Zpracování v programu Cyclone	23
10	Rozmístění bodů sítě	24
a	Leica MS60 [13]	27
b	Leica GS16 [14]	27
12	Vyrovnání v programu Groma	27
13	Polární metoda v programu Groma	28
14	Ukázka průsekové fotogrammetrie [16]	31
15	Ukázka využití Reality Capture [18]	32
16	Mračno bodů s vlíčovacími v programu Reality Capture	33
17	Mračno bodů v CloudCompare	34
18	Mračno bodů v softwaru Recap	35
19	Ukázka softwaru Revit	36
20	Nastavení počátku modelu v programu Revit	37
21	Tvorba rodin v programu Revit	38
22	Model v Řezu A	39
a	Model obarvený reálnými barvami	39
b	Model kreslený skrytou hranou	39
23	Model v Řezu B	39
a	Model obarvený reálnými barvami	39
b	Model kreslený skrytou hranou	39
24	Model v půdorysu	40

	a	Model obarvený reálnými barvami	40
	b	Model kreslený skrytou hranou	40
25		Model z pohled zepředu	41
	a	Model obarvený reálnými barvami	41
	b	Model kreslený skrytou hranou	41
26		Body na mračnu - exteriér	45
27		Body na mračnu - interiér	45
28		měřický náčrt	47
29		Porovnání mračen v programu Cyclone	48
30		Porovnání mračen v programu Cyclone,řez A	49
31		Porovnání mračen v programu Cyclone,řez B	49

Literatura

- [1] Co děláme,pražská vodohospodářská společnost[online],[vid.2000]. <https://www.pvs.cz/>.
- [2] Industry foundation classes, building smart [online],[vid.2018-2-4]. <https://www.buildingsmart.org//>.
- [3] Bim a digitální dvojče,allplan [online],[vid.2021-12-6]. <https://blog.allplan.com/>.
- [4] What is bim and how it came to be,bimtech [online],[vid.2021]. <https://bimtech.eu/bim>.
- [5] A brief history of bim, archdaily [online],[vid.2012-12-7]. <https://www.archdaily.com/>.
- [6] Bim level of development,lod100,200,300,350,400,500, united bim[online],[vid.2020-02-01]. <https://www.united-bim.com/>.
- [7] Vico software, it history [online],[vid.2007]. <https://www.ithistory.org/>.
- [8] Bim level of development,sprinsoft[online]t,[vid. 2020]. <https://www.srinsofttech.com/>.
- [9] Co znamená pojem lod v bim, tzbinfo [online],[vid.2020-03-16]. <https://www.tzb-info.cz/>.
- [10] Lod300 x lod350,reseachgate [online],[vid.2015-5]. <https://www.researchgate.net/>.
- [11] Canon eos 6d mark ii, canon [online],[vid.2020]. <https://www.canon.cz//>.
- [12] Lasers scanstation leica p40/p40, gefos s.r.o[online],[vid.2017-02-20]. <https://leica-geosystems.com/>.
- [13] Leica nova ms60, gefos s.r.o multistanice [online]. [vid. 2021-02-24]. <https://www.gefos-leica.cz/>.
- [14] Leica gs16. gefos s.r.o.[online], [vid.2021-02]. <https://www.gefos-leica.cz//>.
- [15] Přednášky ftg1+ftg2,prof.dr.ing.karel pavelka[online],[vid.2019]. <https://capturingreality.cz//>.
- [16] Seeing in 3d,hypraptive[online], [vid.2018-2-22]. <https://hypraptive.github.io//>.
- [17] Sfm,geoinformatics[online],[vid.2015]. <https://www.geoinformatics.upol.cz//>.

- [18] Reality capture, capturingrealitz [online],[vid.2021-06-28].
<https://capturingreality.cz/>.
- [19] Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5.

Seznam tabulek

Tab. 4.4.1 Tabulka 2 měření GNSS	str.26
Tab. 4.4.2 Tabulka průměru z měření GNSS	str.26
Tab. 4.4.3 Tabulka rozdílů souřadnic z měření GNSS	str.26
Tab. 4.4.4 Tabulka parametru sítě z polohového vyrovnání	str.27
Tab. 4.4.5 Tabulka parametru sítě z výškového vyrovnání	str.28
Tab. 7.2.1 Tabulka dosažených přesností z fotogrammetrické metody	str.44
Tab. 7.2.2 Tabulka dosažených přesností z laserového skenování	str.44
Tab. 7.2.3 Tabulka dosažených přesností z BIM modelu	str.44
Tab. 7.3.1 Tabulka rozdílů z kontrolních oměrek	str.46
Tab. 7.3.2 Tabulka dosažených přesností z kontrolních oměrek	str.47

Seznam příloh

1. Protokol - vyrovnání sítě (Elektronicky)
2. Protokol - Transformace (Elektronicky)
3. Protokol - Výpočet polární metody vřícovacích bodů (Elektronicky)
- 3.1. Protokol - Výpočet polární metody kontrolních bodů bodů (Elektronicky)
4. Protokol - GNSS (Elektronicky)
5. Protokol - Fotka VB exteriér (Elektronicky)
- 5.1 Protokol - Fotka VB interiér (Elektronicky)
6. Protokol - Porovnání mračen Cyclone (Elektronicky)
7. Seznam souřadnic (Elektronicky)
8. Protokol - sken VB (Elektronicky)
9. Surová data (Elektronicky)
10. Řezy + Výkresy (Elektronicky)
11. BIM model (Elektronicky+ Flash disk)
12. Fotky + Mračna (flash disk)