

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Studijní obor Inženýrská geodézie



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Geodetické zaměření a tvorba 3D modelu
vodárenského zařízení

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

Katedra speciální geodézie

Bc. Václav Pelikán

2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pelikán Jméno: Václav Osobní číslo: 486207

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: Geodetické zaměření a tvorba 3D modelu vodárenského zařízení

Název diplomové práce anglicky: Geodetic measurement and creating a 3D model of a water supply facility

Pokyny pro vypracování:

Proveďte geodetické měření pro vytvoření 3D modelu vodárenského zařízení. Vytvořte měřickou síť v S-JTSK a Bpv. Stavební objekt zaměřte metodou laserového skenování. Vyhotovejte 3D model pro použití v BIM v prostředí AutoCAD Revit. Výsledný model porovnejte s daty pořízenými fotogrammetrickou metodou. Proveďte kontrolu modelu pomocí kontrolního měření vybraných bodů a prvků. 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] Štroner, M. - Pospíšil, J. - Koska, B. - Křemen, T. - Urban, R. - et al.: 3D skenovací systémy. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2013. 396 s. ISBN 978-80-01-05371-3.
- [3] Funtík, Tomáš a kol. BIM Building Information Modeling. Bratislava :EUROSTAV, 2018. ISBN978-80-89228-56-0
- [4] 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“.

20.2.2023
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Geodetické zaměření a tvorba 3D modelu vodárenského zařízení* vypracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

.....
V Praze dne

.....
Podpis

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Bc. Jaroslavu Braunovi, Ph.D. za odborné rady a vedení, doporučení literatury a za ochotu poskytovat konzultace během vyhotovení práce. Dále bych rád poděkoval firmě INSET s. r. o. a jejím zaměstnancům za poskytnutí veškerého přístrojového vybavení a za cenné rady při měření a jeho zpracování. Poděkování patří také firmě Pražské vodovody a kanalizace, a. s. za umožnění vstupu do areálu a zaměření vodárenského zařízení. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu po celou dobu mého studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá tvorbou 3D modelu vodárenského zařízení na základě jeho geodetického zaměření, zařízením je armaturní komora vodojemu Kvestorská v Praze. Obsahem práce je vytvoření měřické sítě v závazných geodetických referenčních systémech S-JTSK a Bpv, následné zaměření skutečného stavu objektu metodou laserového skenování a vyhotovení 3D modelu z mračna bodů v prostředí Autodesk Revit pro použití v BIM. Dále je provedeno porovnání mračna bodů s daty získanými fotogrammetricky pro ověření přesnosti metody laserového skenování a jsou zaměřeny kontrolní body prostorovou polární metodou. Výsledkem práce je 3D model a z něj vytvořená vizualizace a výkresová dokumentace.

Klíčová slova

3D model, Autodesk Revit, BIM, laserové skenování, mračno bodů, vizualizace, vodárenské zařízení, zaměření skutečného stavu

Abstract

The diploma thesis deals with the creation of a 3D model of a water supply facility based on its geodetic survey. The facility is a valve chamber of the Kvestorská water tower in Prague. The thesis includes the creation of a survey net in the geodetic coordinate reference systems of JTSK (Datum of Uniform Trigonometric Cadastral Network) and Bpv (Baltic Vertical Datum – After Adjustment), then the measurement of the actual state of the facility using laser scanning, and the creation of a 3D model from point cloud in Autodesk Revit for usage in BIM. Furthermore, a comparison between point cloud from laser scanning and from second point cloud obtained from photogrammetry is made to verify the accuracy of the laser scanning method. Control points are surveyed using spatial polar method. The outcome of the thesis is a 3D model along with visualisations and drawing documentation derived from it.

Key words

3D model, Autodesk Revit, BIM, laser scanning, point cloud, visualisation, water supply facility, survey of actual state

Seznam použitých zkratek

BIM	Building Information Modelling (informační model budovy)
Bpv	Výškový systém baltský – po vyrovnání
CAD	computer-aided design (počítačem podporované projektování)
CDE	Common Data Environment (společné datové prostředí)
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DN	Diameter Nominal (jmenovitý průměr)
DPS	dokumentace pro provedení stavby
DSP	dokumentace pro stavební povolení
DSPS	dokumentace skutečného provedení stavby
DUR	dokumentace pro územní rozhodnutí
EIR	Employer's Information Requirements (dokument stanovující požadavky zadavatele na zhotovitele)
GLONASS	Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistěma (ruský globální navigační družicový systém)
GNSS	Global Navigation Satellite System (globální navigační družicový systém)
GPS	Global Positioning System (americký globální navigační družicový systém)
IBMR	Image-Based Modelling and Rendering (obrazová korelace)
IFC	Industry Foundation Classes (výměnný formát)
LOD	Level of Development/Definition
LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
MNČ	metoda nejmenších čtverců
ppm	parts per million (jedna miliontina celku)
PVK	Pražské vodovody a kanalizace, a. s.
RTK	Real-Time Kinematic
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
SBAS	Satellite Based Augmentation Systems (rozšiřující systémy GNSS)
TZB	technická zařízení budov

Obsah

Úvod	10
1 Zájmová lokalita a vodárenské zařízení.....	11
1.1 Popis lokality	11
1.2 Vodojem Kvestorská	11
1.2.1 Situování objektu	11
1.2.2 Popis vodárenského zařízení a jeho okolí.....	12
2 BIM.....	15
2.1 Úvod do problematiky	15
2.2 Přínos BIM ve stavebním procesu	18
2.2.1 Výhody.....	18
2.2.2 Možné komplikace při zavádění	19
2.3 Úroveň podrobnosti BIM modelu	19
2.3.1 LOD 100	20
2.3.2 LOD 200	20
2.3.3 LOD 300	20
2.3.4 LOD 400	21
2.3.5 LOD 500	21
2.4 BIM v geodézii	22
3 Metodika měřických prací	24
3.1 Metody zaměření armaturní komory.....	24
3.1.1 3D laserové skenování	24
3.1.2 Fotogrammetrie – metoda obrazové korelace	26
3.1.3 Prostorová polární metoda	26
3.1.4 Metoda GNSS – Real-Time Kinematic.....	27
3.2 Přístrojové vybavení a pomůcky	27
3.2.1 Leica ScanStation P40	27
3.2.2 Canon EOS 6D Mark II	28
3.2.3 Multistanice Leica Nova MS60	29
3.2.4 Leica Viva GS16.....	29
3.2.5 Další pomůcky	29
3.3 Zaměření armaturní komory.....	30

3.3.1	Rekognoskace, stabilizace bodů a zaměření metodou GNSS	30
3.3.2	Zaměření měřické sítě a kontrolních bodů	32
3.3.3	Laserové skenování.....	34
3.3.4	Fotogrammetrie	36
4	Zpracování naměřených dat	37
4.1	Metoda GNSS	37
4.2	Výpočet souřadnic bodů sítě.....	37
4.3	Kontrolní měření	40
4.4	Laserové skenování	40
4.5	Fotogrammetrie	43
5	Vytvoření 3D modelu v prostředí Revit.....	47
5.1	Založení projektu a připojení mračna bodů	47
5.2	Modelace prvků armaturní komory	49
5.2.1	Podlaží, stěny, podlaha	49
5.2.2	Dveře a okna	51
5.2.3	Schodiště a zábradlí	52
5.2.4	Střecha.....	53
5.2.5	TZB a ostatní prvky	54
5.3	Komplikace a míra generalizace	55
5.4	Vizualizace, dokumentace a export dat	57
6	Ověření přesnosti	60
6.1	Kontrolní body	60
6.2	Laserové skenování a fotogrammetrie.....	63
7	Závěr.....	65
	Použité zdroje a literatura.....	67
	Seznam tabulek	70
	Seznam obrázků	71
	Seznam příloh	73

Úvod

Diplomová práce vznikla ve spolupráci se společnostmi INSET, s. r. o. a Pražské vodovody a kanalizace, a. s. (PVK). Jedním z jejích cílů je poskytnout společnosti INSET vzhled do problematiky 3D modelování a BIM v prostředí programu Autodesk Revit a předat potřebné poznatky a přehled o metodách a možnostech při tvorbě 3D modelu již existující stavby, které mohou být využity při budoucích projektech společnosti v oblasti modelování v softwaru Revit.

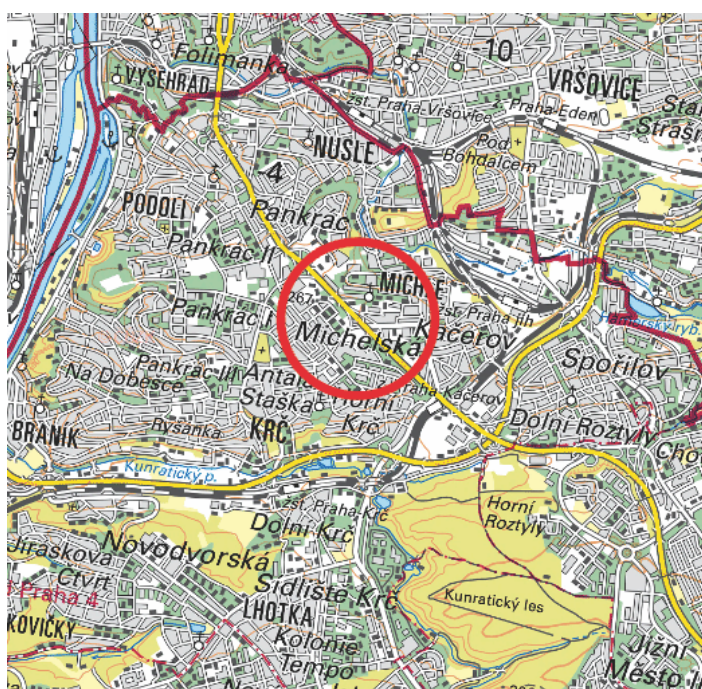
Hlavním cílem této práce je zaměření a tvorba 3D modelu vodárenského zařízení metodou laserového skenování a dalšími geodetickými metodami. Předmětem zaměření je armaturní komora v areálu vodojemu Kvestorská spravovaném PVK. Výsledný model PVK umožní získat vizuální podklad, který poskytne lepší přehled o struktuře a rozložení prvků vodárenského zařízení, což může vést ke snadnější údržbě a správě armaturní komory a zároveň přiblíží proces geodetického měření a tvorbu 3D modelu již existující stavby.

Diplomová práce je rozdělena do šesti kapitol. V první kapitole jsou uvedeny základní informace o skutečném stavu vodárenského zařízení, které bylo předmětem zaměření. Druhá kapitola pokrývá úvod do problematiky BIM a jeho přínos při zavádění ve stavebním procesu, dále se zabývá úrovněmi podrobnosti a postupem geodetických činností spojených s tvorbou 3D modelu. Třetí kapitola obsahuje popis veškerých činností souvisejících se samotným zaměřením objektu. Nejprve je pojednáno o použitých metodách měření, následně o přístrojovém vybavení a konkrétním provedení měřických prací (tvorba a zaměření měřické sítě, laserové skenování a fotogrammetrie). Zpracování získaných dat je popsáno ve čtvrté kapitole, je zde přiblížena práce s daty v prostředích Leica Cyclone, RealityCapture a v ostatních využitých softwarech. Pátá kapitola se věnuje procesu tvorby 3D modelu existující stavby z mračna bodů získaným laserovým skenováním v programu Autodesk Revit, přičemž jsou zde postupně popsány jednotlivé kroky modelace a úkony s nimi spojené. Poslední kapitola se zabývá ověřením dosažené přesnosti mračna bodů z laserového skenování a výsledného 3D modelu pomocí kontrolních bodů z prostorové polární metody a dále porovnáním dat pořízených fotogrammetrickou metodou s daty z laserového skenování.

1 Zájmová lokalita a vodárenské zařízení

1.1 Popis lokality

Vodárenské zařízení se nachází v městské části Praha 4, konkrétně ve čtvrti a v katastrálním území Michle (k. ú. 727750). V oblasti převládá zastavěná plocha, především se jedná o bytové domy a o pozemní komunikace. V okolí se vyskytuje několik obchodních center a výškových budov s kancelářským využitím. Místo je dobře dostupné městskou hromadnou dopravou, v blízkosti se nachází stanice metra C Budějovická a také autobusová zastávka Budějovická.



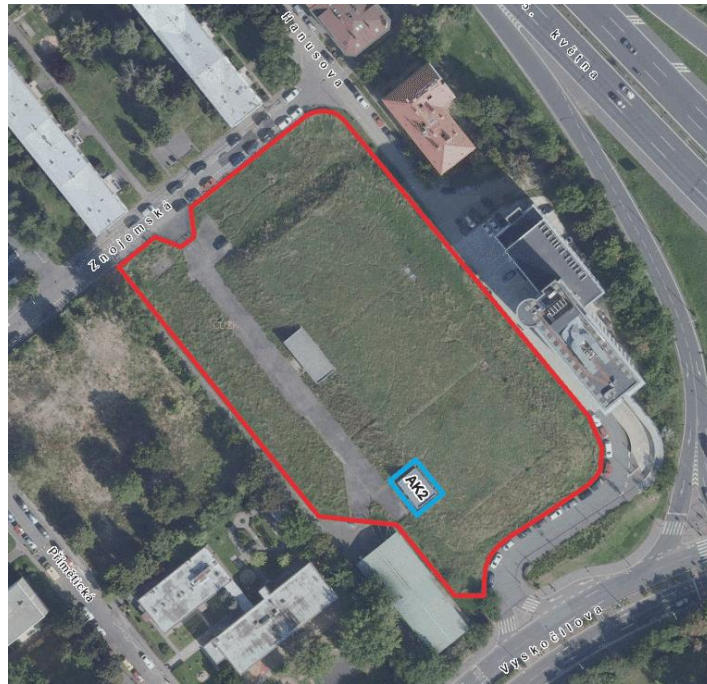
Obr. 1: Lokalita objektu [1]

1.2 Vodojem Kvestorská

1.2.1 Situování objektu

Areál zemního vodojemu Kvestorská, který je spravovaný Pražskými vodovody a kanalizacemi, a. s. (PVK), je celý ohraničen drátěným plotem. Vstupní brána je situována západním směrem s výjezdem do ulice Znojemská, napojení zajišťuje soukromá účelová komunikace s asfaltovým povrchem sloužící pro údržbu a provoz vodohospodářského komplexu. Zaměřovaná armaturní komora se nachází na pozemku s parcelním číslem 310/144 a je vedena v katastru nemovitostí jako stavba technického vybavení. V blízkosti

zhruba 300 metrů vzdušnou čarou se nachází známý, ale již bývalý, vodárenský objekt – Michelská vodárenská věž, která má v současné době pouze historickou hodnotu.



Obr. 2: Areál vodojemu Kvestorská, poloha armaturní komory [2]

1.2.2 Popis vodárenského zařízení a jeho okolí

Vodojem Kvestorská byl postaven mezi roky 1965 a 1967. Objekt se skládá ze tří akumulčních komor s celkovým objemem 18 000 m³ nesoucí označení KI, KII a KIII, kdy každá komora má objem 6 000 m³. V areálu se nacházejí dvě armaturní komory (AK1 a AK2). Jedná se o manipulační komory zemního vodojemu, ve kterých jsou umístěny ovládací prvky vodojemu, sloužící k regulaci průtoku, tlaku a směru vody ve vodovodu. Armaturní komora s označením AK2 je předmětem geodetického zaměření této diplomové práce a je připojena k jedné komoře (KIII) vodojemu. AK1 byla roku 2012 rekonstruována a je připojena ke dvěma zbývajícím komorám.

Zásobní vodojem nese stejné označení jako název zásobního pásma, a to Kvestorská. Zásobní pásmo je evidováno pod číslem 230. Vodojem slouží k zásobování vodou pro sídliště Baarova, Nusle a Michle s profilem řadu DN 500. Prítok pro vodojem Kvestorská je zajištěn řadem DN 800 z vodojemu. Zelená liška nebo řadem DN 800 z vodojemu Novodvorská.

Zaměřená armaturní komora je postavena z železobetonu, ten tvoří základní konstrukci budovy, která je umístěna do zemního náspu, jenž chrání

KI, KII a KIII před vlivy okolního prostředí (např. tepelná izolace, mechanická ochrana apod.). Objekt s obdélníkovým půdorysem 6,5×10 m a plochou 65 m² dosahuje výšky 10 m, kdy téměř celá zadní strana se nachází ve svahu a průčelí je z poloviny situováno pod úroveň terénu. Vstup do budovy je zajištěn z jihozápadní strany betonovým schodištěm s podestou navazující na dvoukřídlé ocelové dveře. Ve stejné obvodové stěně jsou umístěna dvě okna složená z luxfer, která poskytují přirozené světlo pro vnitřní prostory armaturní komory doplněné o nástěnná svítidla. Betonové schodiště složené ze tří ramen a podest umožňuje přístup k technickým vodohospodářským zařízením, jako jsou litinová potrubí, šoupátka a další armaturní zařízení nacházející se uvnitř zaměřené budovy. Součástí objektu je také jeřábová dráha, jež nebyla předmětem zaměření ani modelace. Izolační vrstva zatravněného náspu zeminy, která chrání jak všechny tři akumulární nádrže, tak obě armaturní komory, byla v rámci ochrany biodiverzity v areálech PVK poseta lučním kvítím, čímž vznikla květnatá louka v komplexu vodojemu. [3], [4]



Obr. 3: Průčelí armaturní komory



Obr. 4: Severozápadní pohled na armaturní komoru

2 BIM

2.1 Úvod do problematiky

Již od sedmdesátých let dvacátého století jsou známy základní principy informačního modelování, ale teprve v posledních letech začaly být více využívány širším okruhem uživatelů v praxi. Jelikož mezinárodní zkratka BIM (Building Information Modelling) neboli informační modelování budov nebo též informační model budov začala být obecněji používána okolo roku 2002 a neexistuje pro ni jednotná definice, budou zde pro kvalitnější pochopení interpretovány tři vybrané formulace uvedené v BIM Příručce [5] znějící následovně:

„BIM je organizovaný přístup ke sběru a využití informací napříč projektem. Ve středu tohoto úsilí leží digitální model obsahující grafické a popisné informace o designu, konstrukcích a údržbě objektů.“

Strategy Paper for the Government Construction Client Group from the BIM Industry Working Group, UK

„Digitální model reprezentuje fyzický a funkční objekt s jeho charakteristikami. Slouží jako otevřená databáze informací o objektu pro jeho zrealizování a provoz po dobu jeho užívání.“

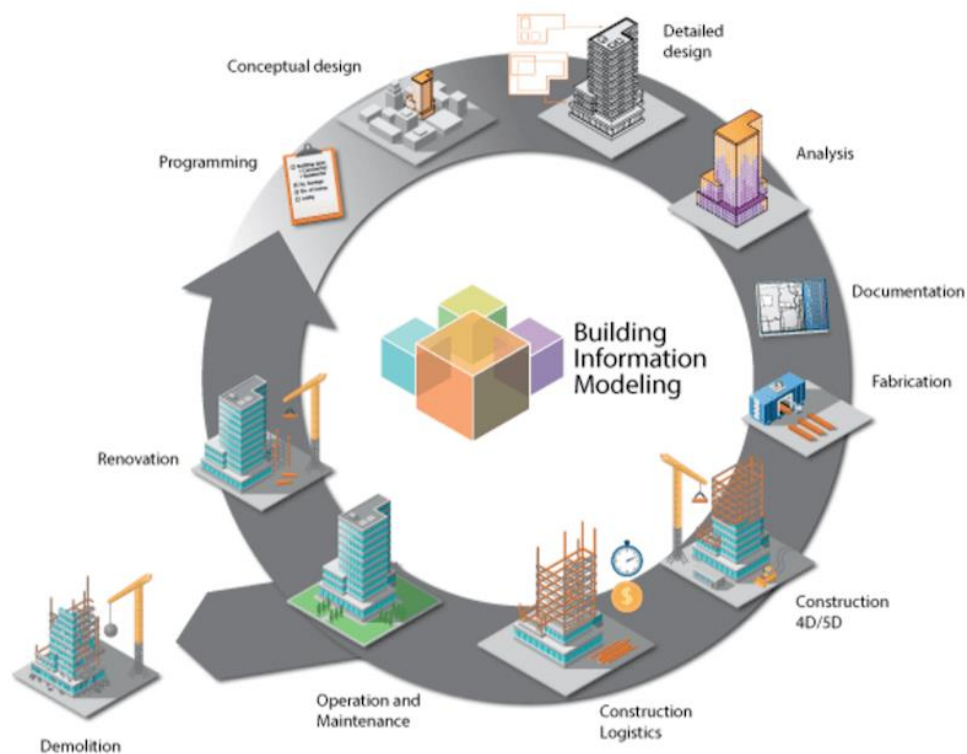
NIBS – National Institute of Building Sciences, USA

„Informační modelování budovy (Building Information Modelling, zkráceně BIM) je proces vytváření a správy dat o budově během jejího životního cyklu.“

www.wikipedia.org

Z anglického překladu slova BIM by se dalo nabýt dojmu, že se jedná pouze o modelování nebo model budovy, ovšem ve skutečnosti tomu tak není. Pro plné pochopení problematiky je důležité neomezovat se pouze na pojem budova. Proto je výhodné přistupovat k informačnímu modelování budov komplexněji a chápat ho jako metodiku práce zahrnující obecně stavbu a celý stavební proces (životní cyklus staveb). U nově vznikajících staveb by

v ideálním případě mělo být zavedení metodiky BIM již na začátku projektu výstavby, kdy životní cyklus začíná počáteční iniciací a definováním projektu (předinvestiční fáze), následně přechází v investiční fázi (plánování a realizace stavby), na kterou po kolaudaci stavby navazuje provozní fáze zakončená likvidační fází. Pokud je BIM takto zaveden pro všechny fáze, mělo by být zabráněno ztrátám informací ohledně všech etap výstavby. [6], [7]



Obr. 5: Životní cyklus stavby z pohledu BIM [8]

Vzhledem k uvedeným definicím je důležité rozlišovat BIM jako model, což si lze představit jako formu informační databáze stavby, a BIM jako proces modelování, který využívá tento model pro vytváření, sdílení, správu a výměnu informací během celého životního cyklu stavby. Může docházet k omylu, kdy je BIM model zaměňován za 3D model. Je proto nezbytné si uvědomit, že BIM model je především databází obsahující informace o budově (stavbě) včetně jejího 3D modelu, zatímco samotný 3D model je pouze jednou z možností, jak informace prezentovat (obsahuje pouze geometrické údaje). [7]

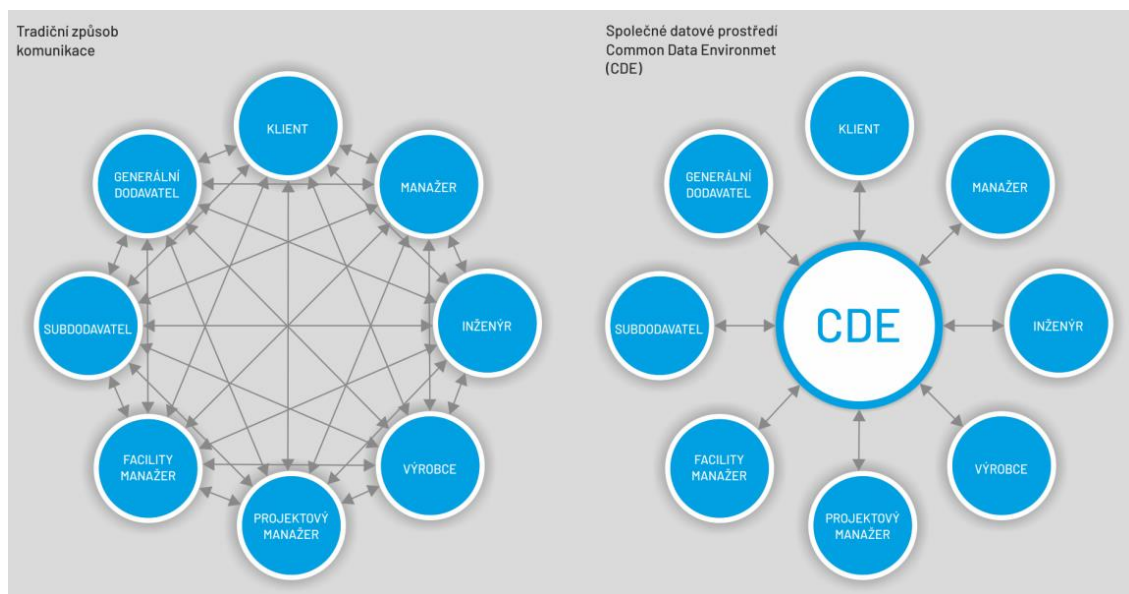
Oproti klasickému nástroji pro 3D projektování, kde bývá řešena pouze geometrie prvků, umožňuje BIM vícerozměrné modelování, avšak nejedná se z hlediska matematiky o další prostor, ale o přidání informace k prostorovému 3D modelu. Pokud budeme pojednávat o pojmu 4D, pak

k 3D prvkům byla přidána časová informace a lze provést simulaci postupu výstavby. Rozšířením na 5D vzniká modelování, které umožňuje plánování finančního rozpočtu projektu v čase. V definicích 6D a 7D se jednotliví autoři odlišují, dle Tomáš Funtík a kol. [9] je za 6D považován facility management (správa a provoz budov) a za 7D bezpečnost a ochrana zdraví při práci. Je ovšem jisté, že s přibývajícím počtem informací (počtem dimenzí) mohou vznikat problémy se tříděním podstatných informací, a tím nastane stav informačního zahlcení. [9]

BIM model lze na základě druhu dat rozdělit na tři základní pilíře, konkrétně se jedná o grafická data, negrafická data a dokumenty týkající se stavebního procesu. Grafické informace reprezentují tvar stavebního objektu a jeho umístění a orientaci v prostoru. Tyto informace slouží k vizualizaci 3D modelu skládajícího se z jednotlivých geometrických prvků. 3D model je poté nutné doplnit o negrafické informace, protože geometrické informace představují pouze 5 % informací o stavbě. Negrafické informace zahrnují data a atributy, které jsou propojené s konkrétními prvky stavby a obsahují informace o materiálech a jejich vlastnostech, rozměrech, technických specifikacích, nákladech, údržbě apod. Poslední částí v rámci BIM jsou různé typy dokumentů souvisejících s BIM procesem a BIM modelem obsahující například stavební předpisy, normy, legislativní požadavky, technické zprávy, časové plány, podepsané smlouvy, stavební povolení a jiné. [9]

Samotný princip BIM je založen na integraci dat a informací ohledně stavebního procesu od všech zúčastněných odborníků napříč profesemi. Je proto nezbytné, aby pro kvalitní fungování metodiky BIM všichni účastníci procesu sdíleli a doplňovali své poznatky, výpočty a jiné informace do databáze. Neměli by k tomu mít odmítavý postoj, jelikož by výrazně klesla efektivita implementace BIM. Avšak není nutné sdílet veškeré své znalosti, nýbrž pouze aktuální informace relevantní pro fungování procesu stavby, čímž je docílena koordinace mezi účastníky stavebního procesu a možná eliminace eventuálních kolizí již v počátku projektu, a ne až ve fázi výstavby. Bezproblémová spolupráce a komunikace mezi profesemi je zajišťována díky společnému datovému prostředí (CDE – Common Data Environment), které slouží jako jediný zdroj informací a používá se ke shromažďování, správě a sdílení veškerých datových souborů ohledně projektu v prostředí centrálního úložiště. V CDE jsou uloženy a spravovány různé typy informací, jako jsou 2D dokumentace, 3D modely, fotografie, texty, tabulky, naskenované dokumenty apod. Každá z těchto informací může mít přiřazené

různé vlastnosti popisující a identifikující daný objekt. Mezi tyto vlastnosti mohou patřit metadata (např. název, autor, datum vytvoření), popisy (textové informace o obsahu), klíčová slova (pro usnadnění vyhledávání) a další relevantní údaje. Na základě těchto údajů lze jasně určit autora provedených změn. V současnosti jsou nejvíce rozšířená prostředí pracující na cloudovém řešení jako např. Autodesk BIM 360 nebo Trimble Connect. [7], [10]



Obr. 6: Společné datové prostředí (CDE) [11]

2.2 Přínos BIM ve stavebním procesu

Implementace BIM nabízí řadu potencionálních výhod, které mohou oproti současnému myšlení, nastaveném ve stavebním průmyslu, významně přispět k efektivní spolupráci a k úspěšnému dokončení stavebního projektu. Tato metodika není omezena pouze na konkrétní druh stavebnictví, ale je využitelná napříč všemi stavebními segmenty. Zároveň je však důležité brát v potaz i možné komplikace a omezení, jež mohou při zavádění BIM nastat. Následující výčet výhod a nevýhod BIM byl vybrán podle [5] a [7].

2.2.1 Výhody

- snížení nákladů a času vzhledem k celému životnímu cyklu stavby
- optimalizace finančních a časových zdrojů během všech fází projektu
- zlepšení komunikace a zvýšení transparentnosti mezi účastníky stavebního procesu
- zvýšení kvality a přesnosti výsledného díla díky lepšímu sdílení informací a kontrole stavebního procesu

- zvýšení schopnosti identifikovat a řešit problémy již v raných fázích projektu vedoucí ke snížení nákladů za možné pozdější opravy
- reálná možnost kontinuální integrace všech nezbytných profesí již během plánovací fáze projektu (např. rozpočtář, správce budovy)
- zlepšená ochrana životního prostředí s ohledem na energetickou úspornost díky možnostem simulací a využití údajů v přípravné fázi projektu a také při změnách stavby v budoucnosti

2.2.2 Možné komplikace při zavádění

- nedostatek příležitostí pro implementaci BIM – nejednoznačné a nedostatečné požadavky ze strany investorů, uživatelů a správců na implementaci BIM mohou bránit jeho širšímu využití
- skutečná cena projektových prací a tlak na nízkou cenu mohou vést ke snižování kvality návrhu a omezení možností hledání optimálních řešení
- tradiční zvyklosti spojené s tvorbou 2D dokumentace mohou bránit přechodu na BIM, jelikož vyžadují jiný způsob práce (myšlení) a přístup k tvorbě a sdílení informací
- zavedení BIM do stavebního procesu vyžaduje investice do specializovaného softwaru, nastavení nových procesů ve firmě a odborného školení zaměstnanců
- nejednotné zpracování jednotlivých stupňů dokumentace různými zpracovateli může vést ke zmatku a nesouladu v informacích
- chybějící knihovna BIM objektů použitelná napříč různými platformami může omezovat efektivní využití BIM a vyžaduje individuální tvorbu objektů pro každý projekt, což může být velmi časově náročné
- chybějící jasná definice autorských a vlastnických práv týkajících se BIM modelů omezuje jejich správu a využití

S časem a s přibývajícím zkušenostmi v oblasti BIM procesu lze většinu nevýhod spojených s implementací BIM potlačit nebo zcela eliminovat.

2.3 Úroveň podrobnosti BIM modelu

Úroveň podrobnosti v rámci BIM představuje zásadní aspekt pro tvorbu BIM modelu, kdy pomocí jednotlivých úrovní vyjadřuje detailnost prvků a informací zobrazených v modelu. V odborné literatuře bývá pro tento termín používána zkratka LOD, pro niž ovšem neexistuje žádný jednotný nadnárodní standard, tudíž se můžeme setkat s odlišnými interpretacemi. Nejčastěji se vyskytují pojmy Level of Development a Level of Definition,

které se skládají ze dvou složek: LOG (Level of Geometry) a LOI (Level of Information). LOG se zaměřuje na popis míry geometrické podrobnosti prvků modelu, zatímco LOI popisuje množství informací obsažených v BIM modelu. Někdy bývá LOD definován jako Level of Detail, ale na rozdíl od předešlých pojmů určuje pouze míru detailnosti geometrického prvku modelu. [5], [10]

BIM modely mohou být vyhotovovány v pěti různých úrovních podrobnosti s označením LOD 100 až LOD 500, kde vyšší číselné označení znamená vyšší podrobnost modelu. Volba konkrétní úrovně podrobnosti závisí na požadavcích zadavatele, fázi projektu a důležitosti jednotlivých prvků v BIM modelu. Poté investor sestaví tzv. EIR dokument (Employer's Information Requirements), který stanoví požadavky zadavatele na zhotovitele, což zahrnuje i určení úrovně podrobnosti (definice konkrétního LOD může být v rámci různých projektů odlišná). Pro lepší představu budou dále uvedeny jednotlivé stupně LOD vztahující se k nově projektovaným stavbám. [5], [10], [12]

2.3.1 LOD 100

LOD 100 představuje základní úroveň podrobnosti BIM zahrnující celkový objemový model budovy, orientační plochu, objem, umístění a orientaci ve 3D prostoru. Informace odvozené z prvků této úrovně je třeba považovat pouze za přibližné a mohou být použity pro prvotní analýzy, plánování a rozpočtování. Pokud se jedná o nový projekt, hovoříme o přípravné fázi projektu.

2.3.2 LOD 200

Při modelování stavebních prvků v této úrovni podrobnosti dochází ke generalizaci systému nebo k seskupení prvků s přibližnými informacemi o jejich množství, rozměrech, tvarech, umístěním do terénu a orientaci ke světovým stranám. Na základě požadavků projektu mohou být grafická data doplněna o negrafické popisné informace. Provedené analýzy, rozpočtování a plánování jsou založeny na přibližných informacích. Úroveň LOD 200 odpovídá dokumentaci pro územní rozhodnutí (DUR) a projekt je ve fázi studie.

2.3.3 LOD 300

Na stupni LOD 300 jsou stavební prvky modelovány s větší podrobností. Skupiny prvků modelu jsou přesně znázorněny z hlediska množství, rozměrů,

tvary, umístění a orientace. K prvku modelu mohou být připojeny i negrafické informace. Model v této úrovni je použitelný jako dokumentace pro stavební povolení (DSP) a jedná se o rozpracovaný návrh projektu.

V některých projektech bývá zavedena tzv. meziúroveň LOD 350 s cílem dosáhnout přesnějšího geometrického a informačního popisu stavebních elementů, než nabízí LOD 300, ale zároveň kde není zapotřebí modelování s detailností LOD 400. Na základě úrovně LOD 350 model odpovídá dokumentaci provedení stavby (DPS). Pokud pojednáváme o fázi projektu, můžeme hovořit o finálním návrhu.

2.3.4 LOD 400

V úrovni podrobnosti LOD 400 model obsahuje stavební prvky s přesným rozměrem, tvarem, umístěním, množstvím, orientací a dalšími podrobnostmi. Těmto prvkům mohou být přidány rozsáhlé negrafické informace jako například technická data od výrobců a dodavatelů. LOD 400 je používán při náročných analýzách, koordinaci projektu a detailních vizualizacích. Model v této úrovni lze využít jako dílenskou dokumentaci.

2.3.5 LOD 500

LOD 500 představuje nejvyšší úroveň podrobnosti v rámci BIM modelu. Jelikož se jedná o fázi projektu po dokončení stavby, tak jsou jednotlivé stavební prvky modelovány s přesnými rozměry, množstvím, tvarem, polohou, orientací a informacemi, s jakými byly ve skutečnosti postaveny. Takto vytvořený model vyžaduje značné množství úsilí, času a potřebných zdrojů. Model nalezne využití při správě a údržbě budov a pro vytvoření dokumentace skutečného provedení stavby (DSPS). [5], [10]



Obr. 7: Grafické znázornění úrovní podrobnosti [13]

2.4 BIM v geodézii

V oblasti geodézie se koncepce zavádění metody BIM stále více prosazuje a v budoucnu se stane stěžejním nástrojem pro práce ve stavebním procesu, což přináší pro geodety nové možnosti, jak pracovat s daty, ale i výzvy s nimi spojené. Geodet se aktivně účastní BIM procesu ve dvou případech.

V prvním případě geodet spolupracuje s projektanty, stavebními inženýry, architekty a s dalšími účastníky při realizaci nových staveb, kde je BIM ideálně zaveden již od počáteční fáze životního cyklu stavby. Kromě běžných činností, jako je provedení zaměření terénu, vytvoření mapových podkladů pro projekci, vytyčení prostorové polohy stavby, měření posunů a přetvoření aj., se podílí i na tvorbě BIM modelu, a to především na tvorbě 3D modelu, zpracování a analýze geoprostorových dat.

Druhý případ, kdy se geodet může setkat s BIM, je u již existujících staveb, jež jsou uvedeny do provozu, ale nebyl pro ně zhotoven BIM model, tudíž chybí i 3D model a v případě většiny starých staveb není k dispozici ani výkresová dokumentace, případně existuje, ale je zastaralá nebo nekompletní. Zavedení metody BIM u existujících staveb může být složitý a časově náročný proces, pokud má být výsledkem propracovaný BIM model obsahující veškeré geometrické a popisné negrafické informace. Jelikož se tato práce zabývá zaměřením armaturní komory pomocí metody laserového skenování a následného zpracování 3D modelu, který by měl být podkladem pro tvorbu BIM modelu, bude dále uveden stručný popis geodetických činností potřebných pro jeho zhotovení. [6]

Nejprve je důležité vyhodnotit úroveň stávající výkresové dokumentace. Pokud jsou data aktuální a dostatečně podrobná pro dané účely, lze dokumenty z papírové nebo digitální podoby převést do 3D modelu. V případě nevyhovující dokumentace nebo vyšších nároků na přesnost je nutné provést geodetické zaměření. Zadavatel na začátku procesu definuje požadovanou úroveň podrobnosti, podle níž geodet stanoví vhodnou metodu zaměření. Pro vytvoření modelu v LOD 100 a 200 může být postačující prostorová polární metoda, kdy jsou selektivně zaměřeny prvky stavebního objektu. Samozřejmě je možná i neselektivní metoda zaměření, vše záleží na technickém vybavení měřiče a dané situaci. V případě požadavku vyhotovení výsledného 3D modelu v LOD 300 až 500 již prostorová polární metoda není pro modelování dostačující a je třeba zvolit neselektivní metodu sběru dat, která umožní detailnější popis zaměřovaného objektu pomocí mračna bodů

získaného například metodou laserového skenování, případně některou z fotogrammetrických metod. U laserového skenování dochází po provedeném zaměření stavebního objektu ke zpracování mračna bodů, k tzv. registraci. Registrované mračno je zkontrolováno, zda neobsahuje nepřesnosti a pokud je potřeba, mělo by být provedeno i očištění o nežádoucí prvky.

V poslední fázi zpracování je vytvářen 3D model, který vzniká modelováním jednotlivých prvků na základě aproximace mračna bodů parametrickými objekty jako jsou stěny, okna, dveře, podlahy apod. Lze jim přiřadit i negrafické popisné informace. Geodet se nejčastěji setkává se dvěma požadavky na výstup. Prvním způsobem je předání zpracovaného mračna bodů obsahující informace o skenovaném objektu, druhým pak 3D model mající význam jako základ pro vytvoření BIM modelu.

V předávací fázi výsledného 3D modelu lze na geodeta vznést požadavek s odevzdáním modelu ve výměnném formátu IFC (Industry Foundation Classes). Jedná se o otevřený mezinárodně standardizovaný výměnný formát vyvíjený a modernizovaný organizací buildingSMART zajišťující přenos BIM modelu, čímž se stává univerzálním formátem pro všechny softwary určené pro práci v prostředí BIM. [10]

3 Metodika měřických prací

3.1 Metody zaměření armaturní komory

V této podkapitole budou popsány metody použité pro zaměření armaturní komory. Hlavní metodou pro zaměření objektu byla dle pokynů pro vypracování diplomové práce zvolena technologie 3D laserového skenování, jako alternativní byla použita blízká fotogrammetrická metoda využívající obrazovou korelaci. Zaměření bodů sítě a kontrolních bodů bylo provedeno pomocí prostorové polární metody doplněné o metodu GNSS (RTK).

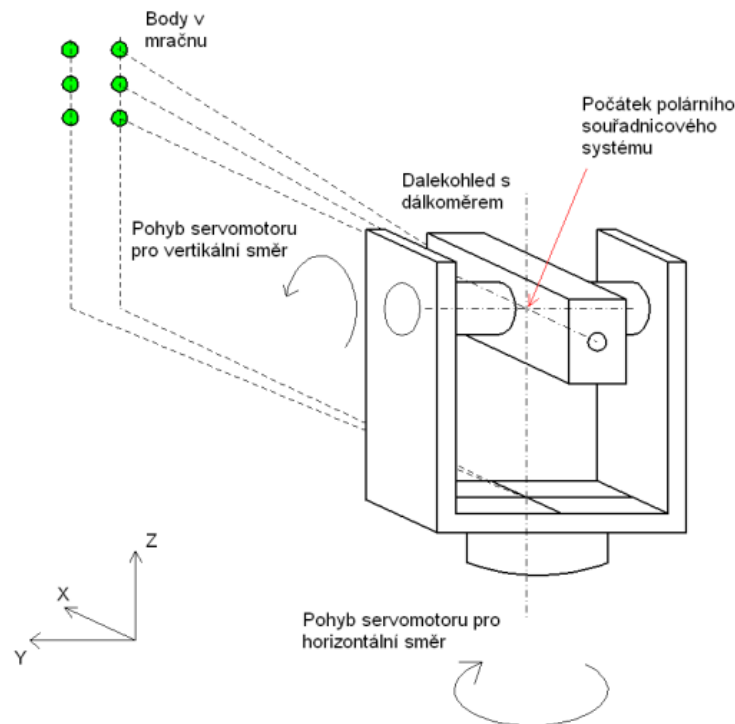
3.1.1 3D laserové skenování

Metoda 3D laserového skenování platí v současné době za velmi využívanou technologii nejen v oblasti geodézie umožňující bezkontaktní určování prostorových souřadnic, 3D modelování a vizualizaci komplexních staveb a konstrukcí, členitých a těžce přístupných terénů, historických, památkových a dalších objektů s precizní kvalitou a rychlostí. Na rozdíl od klasických geodetických metod, kdy jsou zaměřovány konkrétní bodové charakteristické prvky objektu jako jsou hrany, vrcholy apod., je výsledkem laserového skenování mračno bodů, které zpravidla obsahuje řádově desítky i stovky miliónů bodů, a jehož prostorové souřadnice jsou určeny neselektivně v místní souřadnicové soustavě skeneru. Souřadnice lze následně prostřednictvím vlíčovacích bodů transformovat do požadovaného systému.

Existuje několik způsobů rozdělení 3D skenovacích systémů, v inženýrské geodézii, ve stavebnictví, v památkové péči a v jiných příbuzných oborech jsou používané především terestrické skenovací systémy, v některých případech lze využít letecké nosiče. V závislosti na pohybu nosiče se skenovací systémy rozdělují na statické a kinematické. O statický skenovací systém se jedná v případě, kdy se skener v okamžiku měření nachází v neměnné poloze oproti povrchu Země. Při zaměření armaturní komory byl použit terestrický statický laserový skener.

Princip fungování laserového skeneru obecně spočívá ve vysílání laserového paprsku, který je naváděn na body rastru ve sloupcích či rádcích, v důsledku čehož je určena vzdálenost a horizontální a vertikální úhel. Moderní pozemní skenery používají pro určování souřadnic prostorovou polární metodu (měřeny polární souřadnice), kdy je k určení souřadnic daného bodu potřeba změřit délku průvodiče, vodorovný a zenitový úhel.

Vzdálenost je měřena pomocí impulzního nebo fázového dálkoměru anebo kombinací obou typů dálkoměrů. Přesnost měření délek se vzrůstající vzdáleností klesá lineárně.



Obr. 8: Princip neselektivního sběru dat [14]

Mezi hlavní výhody laserového skenování se řadí schopnost získávání přesných a detailních informací o zaměřením stávajícího stavu s vysokou rychlostí sběru dat (i stovky tisíc bodů za sekundu), což má přímý vliv na vyšší produktivitu práce v terénu. Bezkontaktní metoda zajišťuje nejen spolehlivé měření ve špatně přístupných oblastech, ale i podstatně zvyšuje bezpečnost práce na staveništi.

Přestože laserové skenování nabízí mnoho výhod, nejedná se o dokonalou technologii, má také svá omezení a nevýhody, jež jsou potřeba brát v úvahu. Mezi omezení při měření může patřit například dosah skeneru nebo omezené zorné pole. Další nevýhodou bývá vysoká pořizovací cena skeneru a softwaru nutného pro zpracování a analýzu dat, který má vysoké hardwarové nároky. Při laserovém skenování mohou nastat problémy s odrazivostí povrchů a hustou vegetací vedoucí k nedostatečné kvalitě sběru dat, proto mohou být některé části objektu nepřesně zachyceny a následně nebudou moci být použity při zpracování výsledného 3D modelu.

Z dnešního pohledu jsou skenovací systémy schopny eliminovat většinu měřických chyb a doba potřebná pro provedení jednoho skenu na jednom

stanovisku se výrazně zkrátila. Tím však vzniká nový problém, kterým je velké množství prostorových informací vznikající při každém dalším skenu. Měřič musí zvážit, jak minimalizovat počet skenovacích pozic a zároveň zachovat dostatečnou informační hodnotu pro výsledný 3D model.

Přímým výstupem z laserového skenování je mračno bodů, které může být dále v softwaru zpracováno (spojení, očištění, ořezání, zředění mračna bodů apod.). Po těchto krocích lze ve specializovaných softwarech vytvořit výstup v podobě digitálního modelu terénu, 3D model s nahrazením části mračna bodů jednoduchými geometrickými tvary, 3D model zaměřovaného objektu pro BIM využití a mnoho dalších výstupů s uplatněním v různých profesních oborech. Na základě vytvořených modelů a mračen lze dále provádět výpočty analýz, kubatur, deformací, posunů nebo vytvoření dokumentace skutečného stavu. Mračno bodů lze vizualizovat také pomocí skutečných barev, které jsou získávány z pořízených fotografií v průběhu skenování, nevýhodou je prodloužení času skenu. [15]

3.1.2 Fotogrammetrie – metoda obrazové korelace

Obrazová korelace je metoda automatického získávání 3D mračna bodů ze dvou a více digitálních snímků. Výpočetní software pro vytváření 3D modelu je založen na principu porovnávání dvou a více snímků téhož objektu, kdy jsou snímky pořízeny s dostatečným překrytem pod odlišným úhlem záběru a z různých pozic. V anglickém jazyce se setkáváme s termínem Image-Based Modelling and Rendering (IBMR).

Metoda obrazové korelace se využívá zejména pro dokumentaci a modelování složitých architektonických objektů, dokumentaci historických staveb, památek a dalších objektů, u nichž by bylo použití 3D laserového skenování finančně náročné. V posledních letech se metoda stala velice používanou vzhledem k dostupnosti digitálních kamer a pokroku výpočetní techniky. [16]

3.1.3 Prostorová polární metoda

Prostorová polární metoda je jednou ze základních a v současnosti nejčastěji používaných geodetických metod pro určování neznámé polohy bodu v prostoru, kde konkrétní poloha bodu je vyjádřena souřadnicemi YX a výška bodu souřadnicí Z. Díky moderním totálním stanicím a programům probíhá výpočet polohové složky YX a výškové složky Z v jednom kroku.

Pro výpočet neznámých souřadnic YXZ určovaného bodu je nutno znát dva body o známých souřadnicích a provést zaměření šikmé délky, vodorovného a zenitového úhlu ze stanoviska na orientaci a poté na určovaný bod. Pro výpočet souřadnice Z je potřeba znát výšku přístroje a cíle. Metoda byla využita k zaměření bodů sítě, vřícovacích a kontrolních bodů. [17]

3.1.4 Metoda GNSS – Real-Time Kinematic

Metoda Real-Time Kinematic, tzv. RTK, je založena na principu určování prostorové polohy (souřadnice YXZ) neznámého bodu v reálném čase s využitím dvou GNSS aparatur, kde se jedna z aparatur nachází na bodě o známých souřadnicích (permanентní stanice) a druhá stojí na určovaném bodě nebo se pohybuje po určované trase. Komunikace mezi aparaturami je realizována prostřednictvím internetového připojení nebo radiovým přenosem. Přesnost měření metodou RTK se pohybuje v rozmezí 20 až 50 mm v závislosti na kvalitě observačních podmínek a typu GNSS přijímače.

Metoda byla použita pro zaměření bodů, které sloužily k transformaci vyrovnaného měření do požadovaných systémů JTSK a Bpv. [18]

3.2 Přístrojové vybavení a pomůcky

Následující podkapitola obsahuje popis přístrojů a vybavení použitých při měření. Veškeré vybavení bylo pro zpracování diplomové práce poskytnuto společností INSET s. r. o.

3.2.1 Leica ScanStation P40

Laserový pozemní skener Leica ScanStation P40 funguje na principu prostorové polární metody. Měření délek zajišťuje pulzní dálkoměr (s využitím technologie Wave Form Digitising) s maximálním dosahem 270 m, minimálním pak 0,4 m. Délková přesnost skeneru činí 1,2 mm + 10 ppm, úhlová přesnost je v horizontálním i vertikálním směru 8" (2,5 mgon). Rychlost skenování může být v závislosti na volbě režimu skenování až 1 000 000 bodů za vteřinu. Horizontální zorné pole přístroje je 360°, vertikální 270°. Skener umožňuje pořizovat panoramatické snímky.

Pomocí laserového skeneru byla pořízena mračna bodů zaměřované armaturní komory. Sériové číslo použitého skeneru je 1850353. [19]



Obr. 9: Leica ScanStation P40 [19]

3.2.2 Canon EOS 6D Mark II

Pro pořízení snímků armaturní komory byla použita digitální plnoformátová zrcadlovka Canon EOS 6D Mark II, tedy neměřická kamera. Jedná se o zrcadlovku s rozlišením 26,2 Mpx, která disponuje snímačem CMOS o velikosti 35,9 × 24,0 mm. ISO je v rozsahu 100 až 40 000. [20]

Snímkování bylo provedeno s nasazeným širokoúhlým objektivem Canon EF 28mm f/2.8 IS USM. Ohnisková vzdálenost objektivu je 28 mm, nejkratší zaostřovací vzdálenost pak 0,23 m. Zaostření je zajištěno ultrazvukovým motorem USM. [21]

Vnitřek objektu byl snímkován s použitím blesku Canon Speedlite 600EX II-RT, a to z důvodu nedostačujícího osvětlení armaturní komory.



Obr. 10: Canon EOS 6D Mark II [22], Canon EF 28mm f/2.8 IS USM [23]

3.2.3 Multistanice Leica Nova MS60

Robotickou totální stanicí (se sériovým číslem 882474) byly zaměřeny měřická síť, vlíčovací body a kontrolní body. Úhlová přesnost přístroje činí 1" (0,3 mgon), délková přesnost je v případě použití odrazného hranolu 1,0 mm + 1,5 ppm, při bezhranolovém měření 2,0 mm + 2 ppm. Stejně jako u skeneru Leica ScanStation P40 zde zajišťuje měření vzdálenosti technologie Wave Form Digitising.

Kromě standardních funkcí totální stanice nabízí tato multistanice Leica Nova MS60 možnost 3D laserového skenování, té však nebylo při měření diplomové práce využito. Zabudovaná kamera umožňuje pořízení přehledových snímků s rozlišením 5 Mpx. [24]



Obr. 11: Multistanice Leica Nova MS60 [24]

3.2.4 Leica Viva GS16

GNSS přijímačem Leica Viva GS16 (sériové číslo 3701218) byly zaměřeny body měřické sítě t1 až t10. Přijímač využívá pro určování polohy signál družicových systémů GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou a některých SBAS. Udávaná přesnost metody RTK je 8 mm + 0,5 ppm v horizontálním směru a 15 mm + 0,5 ppm ve směru vertikálním. [25]



Obr. 12: Leica Viva GS16 [25]

3.2.5 Další pomůcky

Při zaměření měřické sítě byla využita trojpodstavcová souprava (odrazný hranol Leica GPR121, trojnožka a trn s trubicovou libelou, stativy Leica GST120-9), dále odrazný mini hranol Leica GMP101 a nastřelovací hřeby

a dřevěné kolíky ke stabilizaci bodů. Při skenování byly na vlíčovacích bodech použity černobílé skenovací terče GZT21 4,5“.

3.3 Zaměření armaturní komory

3.3.1 Rekognoskace, stabilizace bodů a zaměření metodou GNSS

Před samotným vybudováním měřické sítě a zaměřením objektu byla dne 11. listopadu 2022 provedena rekognoskace terénu, konkrétně armaturní komory a jejího přilehlého okolí. Do areálu vodojemu Kvestorská, který není veřejnosti přístupný, musel být zajištěn vstup zaměstnanci PVK. Na základě poznatků byl stanoven časový harmonogram měřických prací, počet potřebných pracovníků, typ přístrojového vybavení a způsob zaměření.

Dne 28. listopadu 2022 byly zahájeny měřické práce, kdy byla nejprve vybudována měřická síť s počtem deseti bodů s označením t1 až t10. Body byly stabilizovány pomocí nastřelovacích hřebů (obr. 13) zatlučených do asfaltové komunikace a betonového povrchu uvnitř areálu vodojemu a pomocí dřevěných kolíků (obr. 13) s vyznačením středu hlavy. Každý bod byl číselně popsán a označen barevnou signalizací pro lepší orientaci při měření. Rozvržení bodů (obr. 14) bylo zvoleno tak, aby body pokrývaly celou oblast zájmu a zároveň se nenacházely v přílišné blízkosti budovy, což by mohlo negativně ovlivnit kvalitu měření metodou GNSS.



Obr. 13: Stabilizace bodů – nastřelovací hřeb a dřevěný kolík



Obr. 14: Přehledka bodů zaměřených metodou GNSS [2]

Takto stabilizované body t1 až t10 byly zaměřeny metodou GNSS RTK pomocí GNSS aparatury Leica GS16, kdy doba měření každého bodu činila 6 sekund a každý bod byl zaměřen třikrát po sobě. Tento postup byl opakován s odstupem dvou hodin od předešlé observace s ohledem na pořizení dat s rozdílnou konfigurací družic s cílem zajistit přesné a spolehlivé výsledky a odhalit případné hrubé chyby. Výsledné souřadnice bodů byly později použity pro transformaci měřených dat do souřadnicového systému S-JTSK a do výškového systému Bpv, podrobněji viz kapitola 4.2.

Následně byla provedena stabilizace vlíčovacích bodů v exteriéru a v interiéru armaturní komory z důvodu pozdějšího využití při sběru dat fotogrammetrickou metodou. Vlícovací body byly rozmístěny rovnoměrně po celém objektu na stabilních a dobře viditelných místech. Jejich poloha byla zaměřena totální stanicí, dále byly využity pro zpracování snímků fotogrammetrickou metodu obrazové korelace viz kapitola 4.5. Pro signalizaci byla použita černá křížová značka viz obr. 15. Tímto způsobem bylo stabilizováno celkem dvanáct venkovních vlíčovacích bodů s čísly 2001 až 2012 a devět vnitřních vlíčovacích bodů s čísly 2201 až 2209. Výjimkou je bod 2205, který byl stabilizován pomocí lepicího fotogrammetrického signalizačního čtverce. Černým křížem byly v interiéru armaturní komory stabilizovány i body bez číselného popisu (obr. 15), které měly být původně

pro kontrolu fotogrammetrických výpočtů a pro kvalitnější propojení jednotlivých snímků, jejich účel byl při zpracování změněn, více v kapitole 4.5. Při měření totální stanicí bylo bodům přiděleno pracovní označení 220x1 až 220x12.



Obr. 15: Stabilizace venkovních a vnitřních vlícovacích bodů (vlevo), stabilizace bodů s označením 220x1 až 220x12 (vpravo)

3.3.2 Zaměření měřické sítě a kontrolních bodů

Zaměření všech stabilizovaných bodů sítě proběhlo dne 28. listopadu 2022 pomocí multistanice Leica Nova MS60. Měření sítě bylo realizováno ve spolupráci s Bc. Jonášem Kačerovským, který měl v areálu vodojemu rovněž objekt pro svou diplomovou práci, proto byla měřická síť zaměřena dohromady a měření jsou mezi sebou provázána, zpracování měřické sítě provedl každý samostatně.

Nejprve byl založen nový projekt a nastaveny atmosférické podmínky pro zavedení fyzikálních korekcí. Pro zajištění rychlého a přesného měření a s cílem eliminovat možné chyby vznikající při centraci přístroje, měření nebo zápisu výšky přístroje a cíle, byla použita trojpodstavcová souprava. Měření bylo zahájeno na volném stanovisku 4001 s orientací na odrazný hranol Leica GPR121, který byl zhorizontován pomocí trubicové libely na volném stanovisku 4002. Poté byly zaměřeny orientace na viditelné body měřické sítě s označením t (minimálně tři) a s cílením na mini hranol Leica GMP101. Veškerá měření na orientace v síti byla provedena ve dvou polohách dalekohledu a s automatickým cílením na hranol. V další fázi měřického postupu byly pomocí bezhranolového režimu v jedné poloze dalekohledu zaměřeny prostorovou polární metodou veškeré viditelné exteriérové

vlíčovací body, proto byly některé vlíčovací body zaměřeny z více stanovisek. Po dokončení této části měření byla totální stanice vyjmuta z trojnožky a zaměněna za odrazný hranol a opačně. Poté byla změřena zpětná orientace ze stanoviska 4002 na stanovisko 4001. Následně byly zaměřeny orientace, vlíčovací body a na závěr byl stativ s hranolem ze stanoviska 4001 přesunut na nové vhodné stanovisko, v tomto případě 4003, a byla na něj změřena orientace ze stanoviska 4002. Tento měřický postup s využitím trojpodstavcové soupravy byl aplikován na měření ze sedmi stanovisek (4001 až 4007) a bylo zaměřeno dvanáct vnějších vlíčovacích bodů (2001 až 2012) a deset bodů sítě (t1 až t10). Vnitřních devět vlíčovacích bodů (2201 až 2209) a dvanáct vnitřních pomocných bodů (220x1 až 220x12) bylo zaměřeno s využitím trojpodstavcové soupravy s výchozím venkovním stanovištěm 4201 a s připojením na body sítě (t4, t5, t6 a t8.) Pro zaměření vnitřních bodů byla použita čtyři stanoviště (4201 až 4204). Vlíčovací body a vnitřní stanoviště Bc. Jonáše Kačerovského nebyly do celkového počtu zahrnuty.

Zaměření kontrolních bodů prostorovou polární metodou bylo provedeno dne 24. dubna 2023 multistanicí Leica Nova MS60. Měření bylo provedeno ze tří volných stanovisek (5001 až 5003), přičemž stanovisko 5001 bylo umístěno před objektem a byla z něj změřena orientace na mini hranol nacházející se na již existujících bodech sítě (t4, t5, t6, t7, t8). Vnitřní stanoviště byla zaměřena pomocí trojpodstavcové soupravy, postup měření byl totožný se zaměřením sítě a vlíčovacích bodů. Kontrolní body byly voleny jako konstrukční prvky armaturní komory, které byly snadno identifikovatelné. Celkem bylo bezhranolovým měřením zaměřeno 12 venkovních a 30 vnitřních kontrolních bodů. S ohledem na usnadnění následného zpracování naměřených dat bylo využito vestavěné funkce multistanice a byly pořízeny snímky všech zaměřených kontrolních bodů (obr. 16).



Obr. 16: Zaměření kontrolních bodů TS

3.3.3 Laserové skenování

Zaměření armaturní komory metodou laserového skenování bylo provedeno přístrojem Leica ScanStation P40 dne 28. listopadu 2022 pod dohledem geodeta ze společnosti INSET s. r. o., pojmenování zakázky a stanovisek bylo provedeno dle firemních zvyklostí. Vzhledem k charakteru objektu a vybudované měřické sítě byl ke skenování použita pracovní metoda zvaná *Traverse*. Metoda je založena na principu polygonového pořadu, kdy jsou nejprve vzad změřeny vzdálenosti a úhly ke známým bodům, poté je naskenován objekt a následně jsou vpřed změřeny vzdálenosti a úhly pro určení nové pozice skeneru.

Na prvním venkovním stanovisku sb1128-1 (iniciály hlavního měřiče, měsíc, den a číslo stanoviska) byl přístroj umístěn na stativ ve vhodné pozici a vzdálenosti vzhledem k rohu budovy s cílem dosáhnout dostatečného překrytu jednotlivých mračen a zachycení všech důležitých konstrukčních prvků skenovaného objektu. Na základě povrchu, tvaru, rozsahu a podrobnosti předmětu zaměření bylo nastaveno rozlišení skenování na hodnotu 6 mm/10 m. Rozlišení skenování udává hustotu bodů na vzdálenost deseti metrů, přičemž hustota bodů s rostoucí vzdáleností od objektu klesá. Pro připojení na vybudovanou síť bodů bylo na stanovisku sb1128-1 před samotným skenováním armaturní komory provedeno naskenování černobílého skenovacího terče GZT21 4,5“ osazeného na výtyčce, a to ve dvou polohách. Výtyčka byla postupně umístěna na bodech t5, t6 a t8, které byly později použity jako vlícovací. Následně bylo provedeno skenování objektu.

Naskenované mračno bodů bylo vizuálně zkontrolováno na displeji přístroje. Závěrečným úkonem na prvním stanovisku bylo zaměření orientace vpřed ve dvou polohách na další stanovisko (sb1128-2). Druhé stanovisko bylo stabilizováno rovněž stativem, na němž byla umístěna trojnožka, která byla důsledně urovňována a osazena trnem se skenovacím terčem. Po dokončení těchto skenovacích prací byl přístroj a skenovací terč vyjmut z trojnožky a jejich pozice byla zaměněna. Na druhém stanovisku byla provedena orientace vzad na známou polohu skenovacího terče. Při přesouvání přístroje a skenovacího terče bylo využito výhod trojpodstavcové soupravy jako při měření multistanicí Leica MS60, ovšem s jedním rozdílem, a tím byla odlišná výška horizontu přístroje a cíle. Z tohoto důvodu musela být zadávána výška přístroje 0 mm a výška cíle -53 mm. Dále byl postup skenování stejný jako na předešlém stanovisku – naskenování objektu, přesunutí stativu s terčem na nové stanovisko a zaměření orientace vpřed.



Obr. 17: Zaměření armaturní komory laserovým skenerem

Tento popsaný postup laserového skenování byl aplikován na pět venkovních stanovisek a na jedenáct vnitřních stanovisek. Jednotlivá skenování byla na sebe navázána polygonovým pořadem funkcí měření *Traverse*. Doba provedení jednoho skenu na stanovisku byla 3 minuty

a 25 sekund, přičemž pro přístroj bylo nastaveno skenování celého zorného pole. Panoramatické snímkování nebylo provedeno kvůli prodloužení doby jednoho skenu a zaměření armaturní komory fotogrammetrickou metodou.

3.3.4 Fotogrammetrie

Zaměření armaturní komory blízkou fotogrammetrickou metodou bylo provedeno pod dohledem geodeta ze společnosti INSET s. r. o. dne 28. listopadu 2022 neměřickou digitální zrcadlovkou Canon EOS 6D Mark II s širokouhlým objektivem Canon EF 28mm f/2.8 IS USM. Před započítím prací bylo vysvětleno a ukázáno základní nastavení fotoaparátu.

Nejprve byly pořízeny snímky exteriéru armaturní komory, přičemž bylo dodržováno několik zásad. Snímky byly pořizovány pokud možno v pravidelných řadách a s dostatečným překrytem mezi jednotlivými snímky (obvykle bývá doporučován 60% překryt). Na snímcích byly s kvalitním rozlišením a v dostatečném počtu zobrazeny vlíčovací body. Pro každý snímek bylo na základě podmínek zvoleno nastavení expozičního času, clony a citlivosti ISO. Pro doplnění světla a minimalizaci stínů byl převážně pro snímky pořízené v interiéru použit blesk Canon Speedlite 600EX II-RT. V interiéru bylo dodržováno podobných zásad jako při měření exteriéru. V průběhu fotografování byla kontrolována kvalita pořízených snímků.

Dne 9. prosince 2022 bylo provedeno snímkování zbývajících prostorů armaturní komory, jež nebyly zahrnuty v předchozím snímkování. Celkem bylo za dva snímkovací dny pořízeno 234 snímků exteriéru a 1217 snímků interiéru.

4 Zpracování naměřených dat

Softwary Leica Infinity, Leica Cyclone (moduly REGISTER a 3DR) a RealityCapture byly poskytnuty společností INSET s. r. o., program EasyNET je volně dostupný pro vzdělávací účely a u programu Groma byla využita univerzitní licence.

4.1 Metoda GNSS

Pro zpracování bodů (t1 až t10) zaměřených metodou GNSS, konkrétně metodou RTK viz kapitola 3.3.1, byl použit software Leica Infinity. Leica Infinity je určen pro zpracování dat pořízených různými typy přístrojů jako jsou totální stanice, GNSS přijímače nebo nivelační přístroje.

V programu Leica Infinity byl prvotně zvolen souřadnicový systém S-JTSK (CZ_JT18) a model geoidu (CZ_Bpv10) pro výpočet souřadnic bodů. Poté byla do založeného projektu naimportována veškerá data, byla provedena jejich kontrola a patřičné nastavení výpočtu. Výsledné jednoho souřadnice bodu byly získány váženým průměrem z šesti vypočtených souřadnic měřených na jednom stanovišti. Tímto způsobem bylo vypočteno celkem deset bodů s číslováním t1 až t10.

Výsledné souřadnice byly použity v dalším zpracování jako identické body pro výpočet transformačního klíče v programu EasyNET viz kapitola 4.2. Protokoly dokumentující zpracování v Leica Infinity jsou uvedeny v přílohách. Jedná se o protokol GNSS observací, o protokol GNSS intervalů, a protokol kvality bodů.

4.2 Výpočet souřadnic bodů sítě

Do programu Groma byl načten surový zápisník ve formátu GSI ze dne měření 28. listopadu 2022. Byl zkontrolován, zda neobsahuje nesrovnalosti. Byly vypočteny přibližné souřadnice v místní soustavě a byly exportovány ve formátu TXT. Ze softwaru Groma byl exportován také zápisník měření ve formátu MAPA2 (přípona .asc) pro pozdější zpracování.

V programu EasyNET, sloužícím pro vyrovnávání prostorových geodetických sítí, byl založen nový projekt, do kterého byl načten měřický zápisník ve formátu MAPA2 a přibližné souřadnice bodů v místní souřadnicové soustavě ve formátu textového souboru. Z důvodu zachování rozměru sítě a vyrovnání sítě v místní soustavě byl

v *Nastavení – Redukce délek* nastaven měřítkový koeficient roven 1. Vzhledem k zaměření vlícovacích bodů a bodů s číslováním 220x1 až 220x12 pouze v jedné poloze dalekohledu viz kapitola 3.3.2, bylo nutné použít zrcadlení záznamů, čímž byl záznamník doplněn o měření ve druhé poloze dalekohledu. V následném kroku bylo provedeno nastavení vyrovnání sítě, kde jednotlivé zvolené parametry pro vyrovnání sítě jsou uvedeny na obr. 18.

Obr. 18: EasyNET – Nastavení vyrovnání sítě

Hodnoty směrodatných odchylek měřených veličen byly nejprve zvoleny na základě podkladů použitého přístroje Leica MS60, avšak hodnoty pro vodorovný směr a zenitový úhel musely být později upraveny na hodnotu 0,7 mgon. Dále bylo ve funkci *Apriorní analýza sítě* nastavena směrodatná odchylka měřené veličiny dle zadané přesnosti sítě odpovídající nastavení směrodatných odchylek měřených veličin pro výpočet vyrovnání sítě. Některým bodům sítě musela být na základě *Analýzy měření* upravena apriorní přesnost měřených veličin z důvodů přesnosti měření na mini hranol držený v ruce, použitím bezhranolového měřicího režimu pro vlícovací body a kvůli krátkým nebo strmým záměrům.

Následně bylo provedeno vyrovnání volné prostorové sítě na principu metody nejmenších čtverců, kdy odlehlé hodnoty byly vyloučeny na základě zvolené metody Huberova robustního odhadu na hladině významnosti 5 %. Sít byla vyrovnána jako volná s počtem 97 vyrovnaných bodů, s 470 vyrovnanými měřeními, přičemž počet nadbytečných měření činil 167. Celkem bylo vyloučeno 25 odlehlých hodnot (5,1 % z celkového počtu vstupních měření), a to konkrétně 7 vodorovných směrů, 11 zenitových úhlů a 7 šikmých délek. Apriorní jednotková směrodatná odchylka byla rovna 1,

aposteriorní jednotková směrodatná odchylka činila 0,727. Z hodnot jednotkových směrodatných odchylek vyplývá, že měřené veličiny vykazují lepší soulad, než bylo očekáváno před samotným výpočtem. Základní informace jsou uvedeny na obr. 19 a podrobnosti o výpočtu jsou uvedeny v příloze.

Základní informace o vyrovnání sítě			
Vyloučení odlehlých hodnot		Vyrovnání sítě	
Metoda robustního odhadu:	Huber	Apriorní jednotková směrodatná odchylka:	1.000
Hladina významnosti:	0.05	Aposterioerní jednotková směrodatná odchylka:	0.727
Počet vyloučených odlehlých hodnot:	25/495 [0.051]	Počet fixních bodů:	0
Vodorovný směr:	7/165 [0.042]	Počet vyrovnaných bodů:	97
Zenitový úhel:	11/165 [0.067]	Počet vyrovnaných orientačních posunů:	16
Šikmá délka:	7/165 [0.042]	Počet vyrovnaných měření:	470
Šikmá délka (doplňek):	-	Vodorovný směr:	158
Směrník:	-	Zenitový úhel:	154
Převýšení:	-	Šikmá délka:	158
Svislé provažování:	-	Šikmá délka (doplňek):	0
		Směrník:	0
		Převýšení:	0
		Svislé provažování (X + Y):	0 (0)
		Počet nadbytečných měření:	167

Obr. 19: EasyNET – Základní informace o vyrovnání sítě

Vyrovnané souřadnice bylo nutné umístit do požadovaných systémů JTSK a Bpv, byla proto využita funkce v programu EasyNET *Transformace s vyrovnáním*. Nejprve byly importovány identické body, výsledné souřadnice bodů t1 až t10 získané zpracováním GNSS viz kapitola 4.1, kterým byla upravena apriorní přesnost. Souřadnicím X a Y byla nastavena apriorní směrodatná odchylka rovna 20 mm a apriorní přesnost souřadnice Z činila 30 mm. Metodou MNC byl vypočten transformační klíč, přičemž nebyly vyloučeny žádné odlehlé hodnoty, a proto bylo pro vyrovnání transformačního klíče použito všech 10 identických bodů. Protokol o výpočtu transformace s výslednými souřadnicemi v systémech JTSK a Bpv je uveden v příloze.

Vzhledem k provázanosti měření ve společné síti s Bc. Jonášem Kačerovským viz kapitola 3.3.2 bylo ke zpracování měření přistupováno jako k jednomu celku, tudíž byly vyrovnány a transformovány všechny zaměřené body. Pro zpracování mračna bodů z laserového skenování a mračna bodů z fotogrammetrické metody a pro jejich připojení do systémů JTSK a Bpv byly vybrány pouze body odpovídající zaměření armaturní komory s označením AK2. Celkem se jedná o 42 vyrovnaných a transformovaných bodů (t1 až t10, 2001 až 2012, 2201 až 2209 a 220x1 až 220x12).

4.3 Kontrolní měření

Zpracování zaměřených kontrolních bodů ze dne 24. dubna 2023 bylo provedeno v programu Groma. Do programu byl načten seznam vyrovnaných souřadnic (viz kapitola 4.2) s umístěním v S-JTSK a Bpv. Dále byl importován zápisník ve formátu GSI obsahující naměřené veličiny a pomocí funkce *Polární metoda dávkou* byly vypočteny souřadnice kontrolních bodů.

Celkem byly vypočteny 3 volná stanoviska a 42 kontrolních bodů. Výsledné souřadnice kontrolních bodů a protokol výpočtu polární metody jsou uvedeny v příloze.

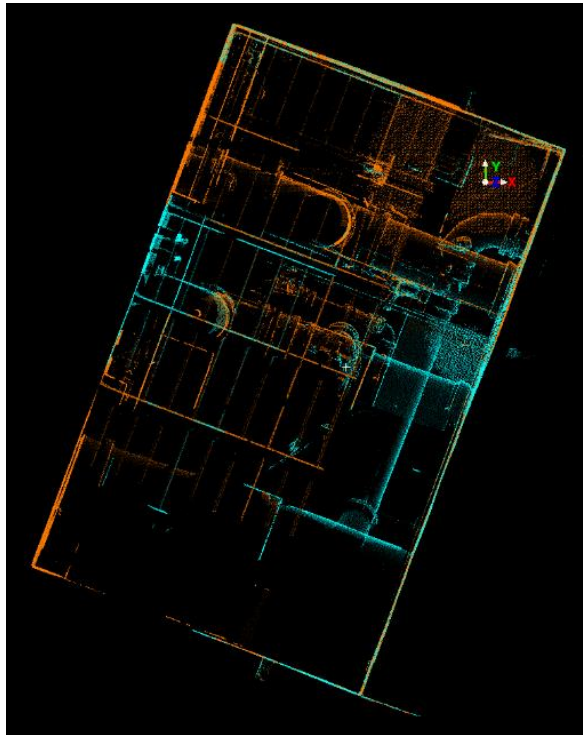
4.4 Laserové skenování

Pro registraci mračen bodů z laserového skenování byl použit software Leica Cyclone, který je založen na databázové struktuře umožňující práci s rozsáhlými soubory prostorových dat. Lze zde provést registraci s využitím naskenovaných terčů a překrytu mračen na základě automatického nebo manuálního procesu zpracování.

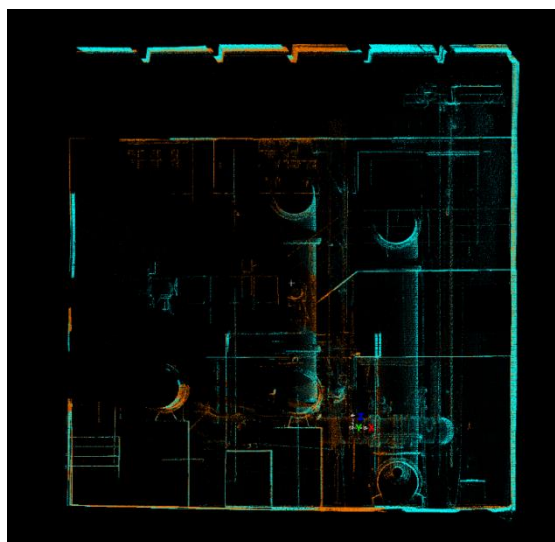
Data ze skeneru byla exportována na externí disk. Byl založen nový projekt v databázi programu Leica Cyclone, do které byla stažená data importována.

Prvním krokem bylo vytvoření souboru nové registrace pomocí funkce *Create – Registration*. Registrační soubor byl otevřen a následně v okně registrace byly pomocí funkce *Add ScanWorld* přidány jednotlivé skenovací pozice čítající dohromady 16 skenů. Poté bylo pro automatické zpracování využito výhod použité funkce *Traverse* při provedeném skenování armaturní komory, kdy byly v terénu zaměřeny a správně označeny skenovací terče. Z tohoto důvodu byla při registraci mračen použita funkce *Auto-Add Constraints (Target ID only)*. Na základě této funkce byly automaticky detekovány skenovací terče a vytvořeny vazby mezi jednotlivými skenovacími pozicemi. Následně byla provedena registrace pomocí funkce *Register*. V záložce *Constraint List* lze případně odhalit hrubé chyby měření, které by mohly vzniknout například záměnou výšky terče a přístroje nebo špatným očíslováním stanovisek při skenování. Byla provedena také vizuální kontrola registrace pomocí funkce *Visual Registration*. Díky této funkci lze identifikovat chyby v registraci a manuálně je ve dvou pohledech (horizontální a vertikální) opravit. Tyto chyby by mohly vzniknout, pokud by nebyla například vytvořena vazba mezi skenovacími pozicemi či případně

dojde k chybě měřiče (postrčení do stativu apod.). Při kontrolách registrace nebyly zjištěny žádné výrazné odchylky (v řádu milimetrů).



Obr. 20: *Visual Registration – horizontální pohled*



Obr. 21: *Visual Registration – vertikální pohled*

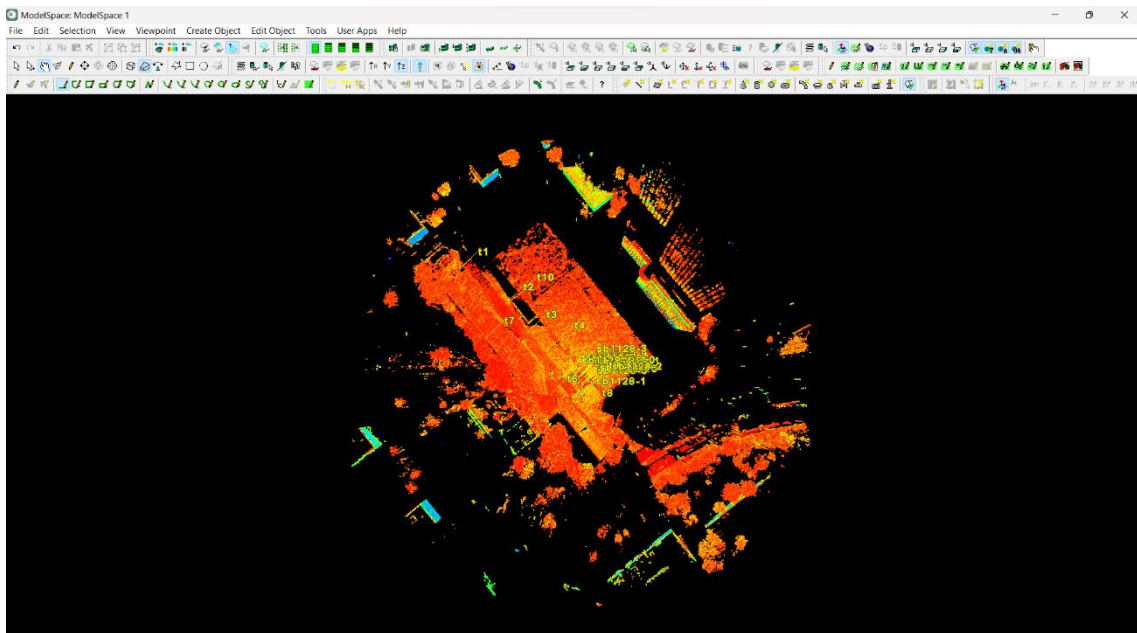
V další fázi zpracování byla aplikována funkce *Add-Auto Cloud Constraint*, která na základě již vytvořených známých vazeb mezi stanovisky a překrytu mračen bodů provedla automatické vyhledávání shodných bodů v jednotlivých skenech, čímž vznikly nové vazby mezi mračny bodů a bylo provedeno zarovnání mračen bodů (cloud to cloud). Pro optimalizaci zarovnání mračen bodů byly v záložce *Constraint List* označeny veškeré

vytvořené vazby (*Constraint ID*), na které byla použita funkce *Optimize Cloud Alignment*, během níž bylo vyhledáváno optimální umístění vazeb s cílem dosáhnouti přesného a spolehlivého zarovnání mračen, poté byla mračna registrována.

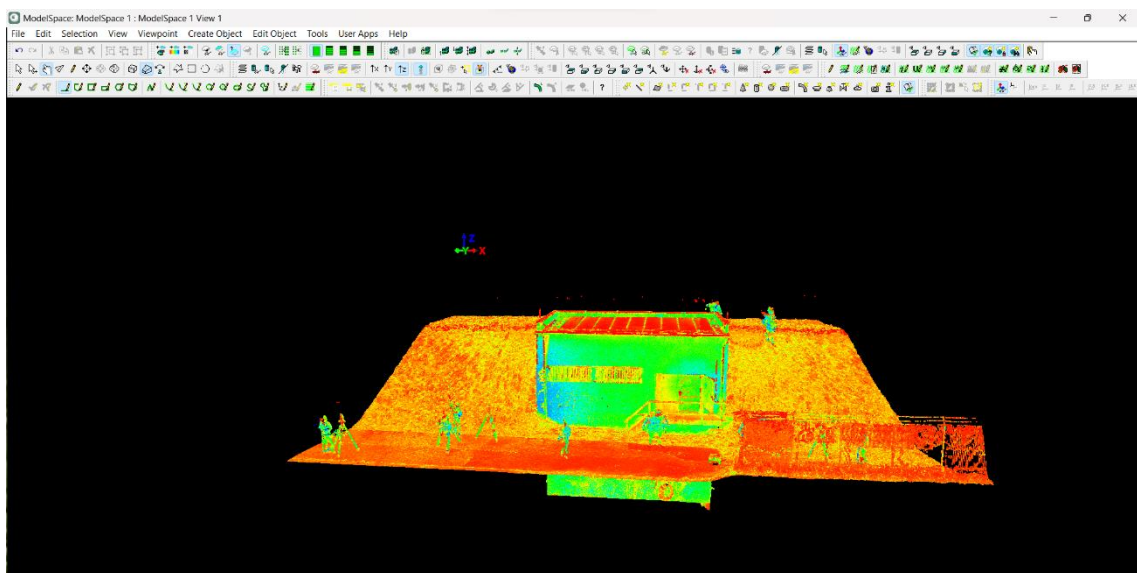
Neboť registrované mračno bylo pouze v místní souřadnicové soustavě přístroje, byly do projektu přidány body bodového pole s cílem transformovat mračna do S-JTSK a Bpv, konkrétně se jednalo o body t5, t6 a t8, na kterých byl při zaměření objektu umístěn skenovací terč viz kapitola 3.3.3. Souřadnice byly z důvodu pozdější práce v CAD programech nahrány ve formátu -Y, -X, Z, kde hodnoty souřadnic X a Y byly zaměněny. Poté byly souřadnice bodů přidány do registrace, přičemž jim byla nastavena referenční pozice (*Set Home ScanWorld*), aby bylo možné provést transformaci mračen bodů do systémů JTSK a Bpv na základě těchto vlíčovacích bodů (referenčních terčů). Jelikož bylo při laserovém skenování a výpočtu sítě bodů dodrženo stejné číslování vlíčovacích bodů, bylo možné aplikovat již jednou použitou funkci *Auto-Add Constraints (Target ID only)*, která automaticky vyhledala referenční terče t5, t6 a t8 a vytvořila vazby mezi nimi a první skenovací pozicí. Následně byla provedena závěrečná registrace mračen bodů. Na závěr byla registrace funkcí *Freeze Registration* uzamknuta, aby bylo zabráněno případným nechtěným změnám, tím si registrace zachová neměnnou konfiguraci. Pro prohlížení a kontrolu registračního souboru byl vytvořen *ModelSpace*, což je prostor v prostředí Cyclone určený k těmto úkonům.

Registrace mračen bodů byla zkontrolována na základě výsledné absolutní odchylky, která činí 2 mm. Dále byly dle velikosti seřazeny odchylky jednotlivých vazeb, ani zde nebyla nalezena žádná podezřelá hodnota. Registrace mračen byla zkontrolována i vizuálně prostřednictvím vybraných řezů mračnem, aby bylo ověřeno, zda jsou mračna na sebe správně napojena. Tyto skutečnosti lze nejlépe zjistit na řezech plochých prvků (stěny objektů), v případě špatného spojení by docházelo k rozdvojení naskenovaného objektu.

Neboť nebyl při zaměření armaturní komory omezen rozsah skenování, v důsledku čehož obsahovalo mračno velké množství nadbytečných bodů (obr. 22) zahrnující okolní budovy a vegetaci, které nebyly pro další práci s mračnem relevantní, bylo výsledné registrované mračno v programu Cyclone oříznuto pouze na oblast zájmu (armaturní komora – AK2). (obr. 23). Následně byl proveden export mračna ve formátu E57 a byl uložen protokol o registraci.



Obr. 22: Leica Cyclone – registrované mračno bodů

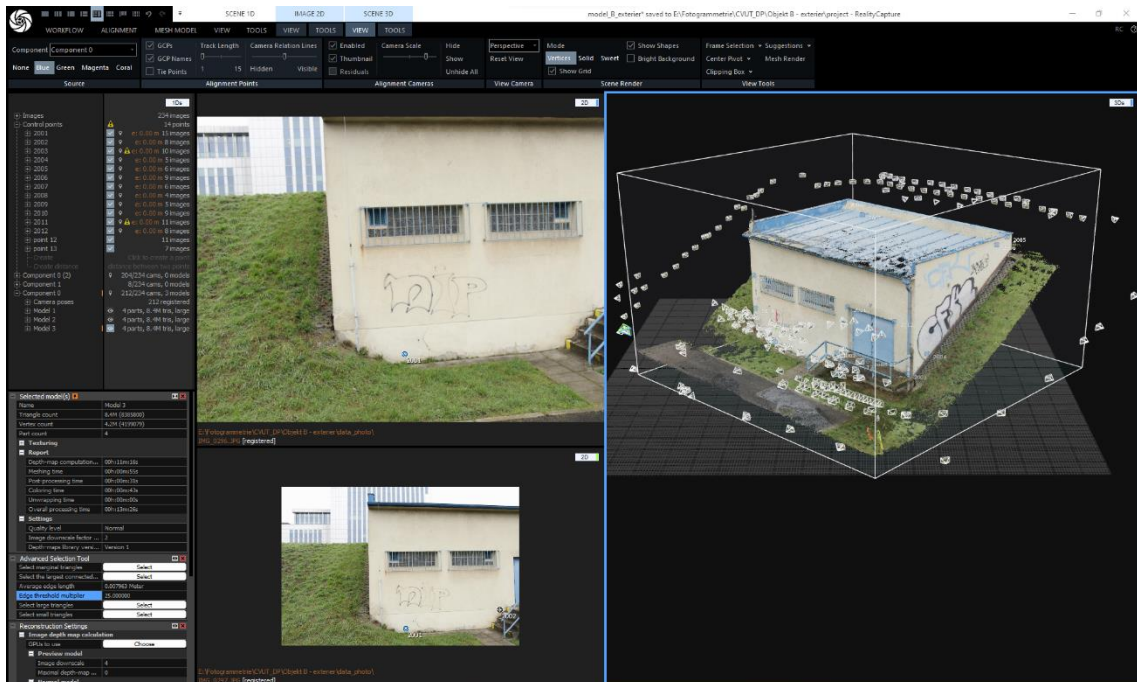


Obr. 23: Leica Cyclone – oříznuté mračno bodů

4.5 Fotogrammetrie

Zpracování fotogrammetrického zaměření bylo provedeno v programu RealityCapture vyvinutého slovenskou společností Capturing Reality s. r. o. Jedná se o software pro tvorbu 3D modelů z digitálních snímků a laserového skenování s nízkými nároky na hardware. Jednou z nevýhod může být skutečnost, že pokud by měla být výstupem kromě mračna bodů i texturovaná síť, je nutné vlastnit grafickou kartu od společnosti NVIDIA. RealityCapture využívá pokročilých algoritmů pro zpracování dat a umožňuje uživatelům efektivně pracovat s velkým množstvím dat a detailními texturami. Software

podporuje export mračen bodů ve standardních formátech jako například XYZ, LAS a PTX a 3D model ve formátech PLY, OBJ, XYZ a jiné. [26]



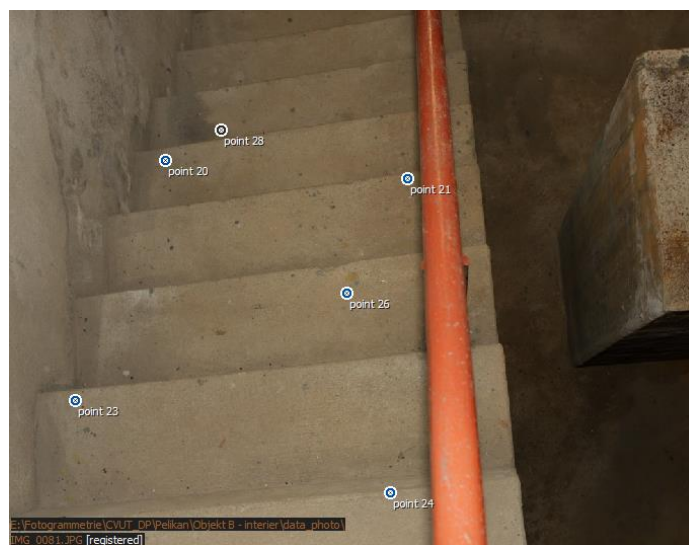
Obr. 24: Prostředí programu RealityCapture

Ke zpracování v RealityCapture bylo dle zkušeností geodetů z firmy INSET s. r. o. přistupováno na principu tvorby mračen bodů exteriéru a interiéru samostatně z důvodu relativně malého vstupního průchodu do armaturní komory, protože by při zpracování exteriéru a interiéru dohromady mohlo dojít k vzájemnému pootočení mračen bodů. Postup vytvoření mračen bodů exteriéru a interiéru armaturní komory byl téměř totožný, proto bude popsán pouze postup pro interiér, kde bylo třeba provést jeden úkon navíc.

Nejprve byl v RealityCapture založen nový projekt. Poté byly importovány snímky armaturní komory, konkrétně pro interiér 1217 snímků (exteriér 234 snímků). V dalším kroku byly pomocí funkce *Ground Control* načteny vlíčovací body v S-JTSK a Bpv ve formátu -Y, -X, Z, kde hodnoty souřadnic X a Y byly zaměněny ze stejného důvodu jako tomu bylo v kapitole 4.4. Pro interiér se jednalo o vlíčovací body 2201 až 2209 a body s označením 220x1 až 220x12 (exteriér vlíčovací body 2001 až 2012).

Následně byla v záložce *Alignment* spuštěna funkce *Draft*, která pomocí rychlých algoritmů hrubě zarovnala snímky (přibližné vyhledání bodů), to může být výhodné pro práci s více snímky. Poté byly na snímcích pomocí funkce *Add Control Points* označeny vlíčovací body 2201 až 2209. Ovšem později bylo z dalších výpočtů patrné, že pro lepší přesnost mračen bodů bude

nutné přidat další vlíčovací body. Pro tyto účely byly zvoleny body s označením 220x1 až 220x12, které byly původně určeny k případnému ručnímu propojení dvou a více snímků (body 220x9 a 220x11 nebyly použity). Byl proveden další přepočít s větším množstvím vlíčovacích bodů. Avšak ani tento krok nevedl k výrazně lepším výsledkům, tudíž bylo pomocí funkce *Manual Tie Points* přidáno 18 spojovacích bodů, které byly na snímcích vizuálně snadno identifikovatelné. Spojovací body byly použity především v barevně monotónních oblastech viz obr. 25 Pro zpracování exteriéru nebyly spojovací body použity. Dále bylo provedeno automatické zarovnání snímků funkcí *Align Images*.



Obr. 25: RealityCapture – spojovací body

V závěrečné části zpracování byla v záložce *Mesh Model* spuštěna funkce pro vytvoření hustého mračna bodů s nastavením *Normal Detail* a parametrem *Image downscale* s hodnotou 2, zároveň byl vytvořen i mesh model, protože výpočet probíhá současně. Tímto způsobem byla vytvořena hustá mračna bodů interiéru (obr. 26) a exteriéru (obr. 27). Nakonec byla mračna bodů exportována ve formátu LAS a byly vytvořeny protokoly s přesností na vlíčovacích bodech viz přílohy.



Obr. 26: RealityCapture – husté mračno bodů interiéru



Obr. 27: RealityCapture – husté mračno bodů exteriéru

Z důvodu snadnějšího očištění, oříznutí a spojení mračen interiéru a exteriéru z RealityCapture byla data importována do programu Cyclone 3DR a následně byl proveden export výsledného mračna ve formátu E57, jež bylo porovnáno s mračnem bodů z laserového skenování v kapitole 6.2.

5 Vytvoření 3D modelu v prostředí Revit

Tato kapitola se zabývá postupem prací pro vytvoření 3D modelu armaturní komory v softwaru Autodesk Revit. Budou zde probrány zásadní kroky při modelaci a možná úskalí při tvorbě 3D modelu u existující stavby. Model byl vytvořen na podkladě mračna bodů z laserového skenování, tzv. metoda Scan to BIM.

Software Revit je určen především pro projektování nových staveb, proto může být modelace některých již existujících prvků značně problematická, pokud není dostupná výkresová dokumentace, jako tomu bylo v tomto případě, a je vycházeno pouze z mračna bodů. Před tvorbou 3D modelu by měl také objednatel stanovit úroveň podrobnosti celkového modelu, přičemž lze mít požadavek i na vyšší přesnost jednotlivých prvků zaměřeného objektu, které jsou klíčové pro jeho chod. U programů Autodesk Revit a ReCap byla využita roční studentská licence.

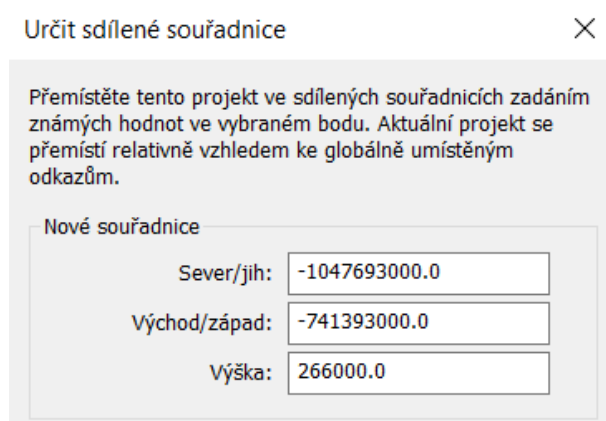
5.1 Založení projektu a připojení mračna bodů

Prvním a zároveň zásadním krokem při založení nového projektu byl výběr správné šablony, neboť změna šablony po vytvoření projektu již není možná a případné změny v nastavení projektu je nutné provést manuálně. Šablona je soubor obsahující předdefinované nastavení (typy čar, jednotky projektu atd.), základní typy rodin, pohledy, podlaží apod. Pro účely této práce byl vytvořen nový projekt s předem definovanou *Architektonickou šablonou*. Revit bohužel neumožňuje automatické ukládání, aby bylo zabráněno možným ztrátám dat při neočekávaném spadnutí programu, lze přes *Soubor – Možnosti – Obecné* nastavit alespoň interval pro připomínání uložení.

Software Revit nepodporuje připojení mračna bodů v obvykle používaných formátech E57 nebo LAS, z tohoto důvodu bylo mračno z laserového skenování nejprve nahráno do programu ReCap, který zajišťuje převod mračen pro práci v CAD prostředí. Zde je také možné provést redukci mračna a ořez nepotřebných bodů pro modelaci. Jelikož se mračno bodů nacházelo v systémech JTSK a Bpv a cílem byla modelace v těchto systémech v prostředí Revit, musel být v softwaru ReCap nastaven souřadnicový počátek, který se využívá jako referenční bod pro připojení mračna do Revitu. V programu ReCap byl pomocí funkce *Aktualizovat počátek* nastaven souřadnicový počátek ($X = -741393,000$, $Y = -1047693,000$ a $Z = 266,000$).

Tyto souřadnice si bylo potřeba před potvrzením změny počátku poznamenat, neboť po provedení změny je již není možné zjistit. Souřadnice byly zvoleny poblíž armaturní komory a byly zaokrouhleny na celé metry, aby při následném zadávání do programu Revit nedošlo k numerické chybě. Poté bylo mračno bodů s novým počátkem exportováno ve formátu RCP (Point Cloud Projects), jenž je kompatibilní se softwarem Revit.

Pro správné umístění mračna bodů do založeného projektu bylo nezbytné definovat *Základní bod projektu*, k němuž lze přistupovat jako k referenčnímu bodu projektu, který definuje polohu 3D modelu v souřadnicovém systému JTSK a výškovém systému Bpv. V kartě *Prohlížeč projektu – Pohledy – Půdorys podlaží – Pozemek* byl tento bod zobrazen a byly mu určeny nové souřadnice pomocí funkce *Zadat souřadnice v bodě* nacházející se na kartě *Správa – Souřadnice*. Nové souřadnice tohoto bodu odpovídají nastaveným hodnotám počátku mračna bodů z programu ReCap s jediným rozdílem, že souřadnice *Základního bodu projektu* musí být zadány v milimetrech, jelikož je takto nastaven celý projekt modelu viz obr. 28.



Určit sdílené souřadnice

Přemístěte tento projekt ve sdílených souřadnicích zadáním známých hodnot ve vybraném bodu. Aktuální projekt se přemístí relativně vzhledem ke globálně umístěným odkazům.

Nové souřadnice

Sever/jih:	-1047693000.0
Východ/západ:	-741393000.0
Výška:	266000.0

Obr. 28: Nastavení souřadnic Základního bodu projektu v S-JTSK a Bpv

V posledním kroku byl připojen soubor mračna bodů ve formátu RCP pomocí karty *Vložit – Mračno bodů* s nastavením *Pozice: Automaticky – počátek na vnitřní počátek*, čímž bylo dosaženo ztotožnění počátku mračna bodů a projektu modelu. Aby byla zajištěna neměnná poloha bodu projektu a mračna bodů, byly prvky ukotveny, pro vyšší přehlednost lze také jednotlivé prvky v pohledech skrýt.

5.2 Modelace prvků armaturní komory

5.2.1 Podlaží, stěny, podlaha

Nejprve byla definována podlaží armaturní komory. Podlaží reprezentují horizontální roviny (referenční roviny), ke kterým mohou být vytvořeny vazby vkládaných stavebních konstrukcí (stěna, podlaha, střecha aj.). V bokorysných pohledech a řezech lze vytvořit podlaží funkcí *Podlaží* nebo kopírováním již existujícího podlaží, zároveň s nově vytvořeným podlažím automaticky vzniká odpovídající půdorysný pohled. Při modelaci lze podlaží použít i jako pomocnou rovinu definující určitou výškovou úroveň v rámci objektu. Toto bylo aplikováno pro tvorbu skeletové konstrukce nacházející se uvnitř budovy, dále byly vytvořeny výškové úrovně pro podlahu, vstupní podestu a střechu. Jednotlivá podlaží byla umísťována prokládáním mračnem bodů v řezech s cílem co nejlepší aproximace roviny pro danou výškovou úroveň.

Rodiny tvoří 2D a 3D prvky, z nichž je model v prostředí Revit sestaven. Při práci s rodinami je důležité znát význam pojmů *Typové parametry* a *Instanční parametry*. *Typové parametry* udávají vlastnosti všech stejných prvků, bude-li provedena změna u jednoho prvku, např. rozměr okna, změní se tento rozměr pro všechna okna daného typu. Pokud je nastaven *Instanční parametr*, pak bude změna parametru provedena pouze u jednoho konkrétního prvku.

Prvním vkládaným stavebním objektem byla *Stěna: Architektonická*, která je jednou ze základních systémových rodin. Její přesná tloušťka byla zjištěna v půdorysném pohledu a ověřena v příčném řezu na základě změřené vzdálenosti v rámci mračna bodů. Jelikož stěna je parametrická rodina, musí být pro odlišné šířky nastaven jiný typ stěny.

Nové typy stěn byly založeny duplikováním již existujících typů. Tímto postupem bylo možné rychle vytvořit různé varianty stěn, přičemž dle zavedených zvyklostí byla v názvu uvedena její tloušťka. Ve *Vlastnostech typu* stěny byl upraven parametr *Skladba*, zde byly nastaveny funkce vrstev viz obr. 29 ovlivňující grafické spojení v řezu s více stěnami nebo s podlahou. *Funkce* vrstvy má pět priorit, kde nejnižší číslo (1) odpovídá nejvyšší prioritě při napojení. Každé vrstvě lze přiřadit *Materiál* volený obvykle dle dokumentace, v tomto případě byl zvolen dle provedeného zaměření a osobního uvážení zpracovatele. Celková tloušťka stěny je závislá na

jednotlivých tloušťkách vrstev (sčítají se). Dále je možné pro vložené objekty, např. okna, dveře aj., nastavit způsob zalomení vrstev, to se projeví v grafickém zobrazení půdorysu nebo řezu.

Upravit skladbu ×

Rodina: Základní stěna
 Typ: Atika 190 mm
 Celková tloušťka: 190.0 (Výchozí) Vzorová výška: 6000.0
 Odpor (R): 0.1723 (m²·K)/W
 Tepelná kapacita: 309.68 kJ/(m²·K)

Vrstvy

VNĚJŠÍ STRANA						
	Funkce	Materiál	Tloušťka	Zalomení	Konstrukční materiál	Proměnná
1	Dokončovací 2 [5]	Beton, pískový/cem	25.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Hranice nosné části	Vrstvy nad zalomení	0.0			
3	Konstrukce [1]	Beton, litý na místě	155.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Hranice nosné části	Vrstvy pod zalomení	0.0			
5	Dokončovací 2 [5]	Ocel, nátěr, modrý	10.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

VNITŘNÍ STRANA

Obr. 29: Nastavení skladby stěny

Pro umístění stěny byla ve *Vlastnostech* stěny zvolena *Čára umístění*, která definuje body pro vložení, jako je například *Plocha pourchové úpravy: Vnější* nebo *Vnitřní*, *Osa stěny* apod., čáru lze zadat geometrickými prvky (nejčastěji linií). Stěna byla modelována v příslušném půdorysu podlaží prokládáním mračna bodů, správnost byla jako u všech dalších prvků modelu kontrolována v řezech, pohledech a 3D pohledu, ve kterém se aproximace plochy mračnem kontroluje vizuálně nejlépe. Při modelaci stěn byla nastavena *Dolní vazba* dle příslušného podlaží a *Horní vazba* (výška stěny) dle podlaží následujícího. V některých případech lze zvolit *Horní vazbu* jako nepřipojenou a lze zadat přímo požadovanou výšku, toho bylo využito pro tvorbu atiky. Během vytváření stěn může nastat situace, kdy stěny na sebe navazují, ale nejsou geometricky správně spojeny, tudíž je zobrazována hrana mezi prvky. Tento problém lze vyřešit pomocí nástroje *Spojit geometrii*, čímž se vytvoří pevné spoje mezi prvky, poté je již stěna v půdorysech a řezech zobrazována správně. Toto řešení je možné aplikovat na jakékoliv modelované prvky, jimž je nutné spojit geometrii.

Princip vytvoření podlahy byl téměř totožný s tvorbou stěn. Duplikováním vznikl nový typ podlahy, kterému byla nastavena požadovaná *Konstrukce* s danou *Funkcí*, *Materiálem* a *Tloušťkou*. Hranice podlahy byla definována v náčrtu ve spodním půdoryse stavby zvolením hranice čáry existující stěny. Hranice podlahy lze upravit v módu náčrtu jako ostatní plošné prvky (podesta, střecha).

5.2.2 Dveře a okna

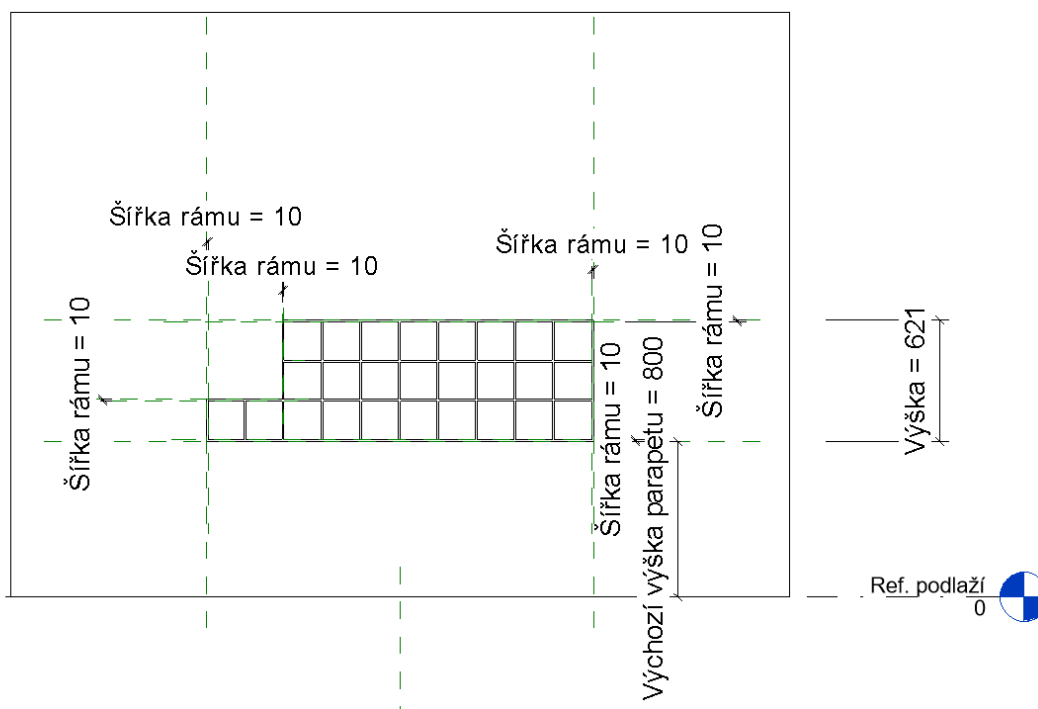
Pro modelaci dveří a oken je nutné mít hostitelský objekt, např. stěnu, do které se při vložení vytvoří automaticky otvor. Při odstranění okna nebo dveří otvor zaniká a stěna se vrátí do původního celistvého stavu. K samotné modelaci lze přistupovat dvěma různými způsoby. Prvním způsobem je použití již vytvořené rodiny z šablony projektu nebo z volně dostupných knihoven na internetu anebo rodiny Autodesk z cloudového prostředí. Druhým způsobem je vytvoření vlastní rodiny pomocí předem definované šablony. Tu lze zvolit na základě požadavku modelace konkrétního prvku, např. pro dveře existuje šablona *Dveře*, pro okno zase šablona *Okno*. Šablony pro tvorbu rodiny mají předem definované základní parametry (rozměry, materiál, analytické vlastnosti apod.) pro modelaci daného objektu, což značně usnadní práci.

Základním dveřím mohou být upraveny *Vlastnosti typu*, aby co nejvíce odpovídaly skutečnosti. Lze nastavit *Stavba (Funkce, zakončení stěny)*, *Materiály a povrchové úpravy (Materiál dveří a rámu)*, *Rozměry (Tloušťka, Výška, Projekce obložení, Šířka aj.)*, *Analytické vlastnosti a Identifikační data (Model, Výrobce, Cena apod.)*. Při vložení prvku lze nastavit jejich orientaci a směr otvírání. Použité dvoukřídlé dveře s ocelovou zárubní byly vybrány z Knihovny rodiny a šablon dle ČSN [27] a upraveny dle skutečného stavu.

V průčelí armaturní komory se nachází dvě okna sestavená z luxfer. Z důvodu jejich atypického tvaru bylo přistoupeno k vytvoření vlastní rodiny (obr. 30) dle přednastavené šablony s využitím nástrojů *Vysunutí*, *Referenční roviny* a modifikačních nástrojů (*Zarovnat*, *Odsadit*, *Oříznout* apod.). S použitím těchto nástrojů byla modelována převážná část vytvořených rodin v rámci projektu.

Při tvorbě rodiny dochází k založení nového externího souboru ve formátu RFA, který je nutné do projektu načíst. Vytváření nové rodiny probíhá v prostředí šablony, jejíž parametry jsou přednastaveny pro konkrétní typ rodiny jako například pro okno *Výška*, *Šířka*, *Šířka rámu*, *Výchozí výška parapetu* apod. Rozměry a kótování jsou dle zvyklostí udávány v milimetrech. Lze také nastavit úroveň detailu, kdy je prvek viditelný v projektu nebo zobrazen v patřičném pohledu (půdorys, řezy aj.). Při vytváření geometrických prvků lze jednotlivé části okótovat a přiřadit jim typové nebo instanční vlastnosti. Byly dodrženy standardní zásady pro tvorbu geometrických prvků (symetrie, pravoúhlost apod.). Takto vytvořeným

prvkům lze přiřadit odpovídající materiál, například zvlášť pro rám a výplň okna.

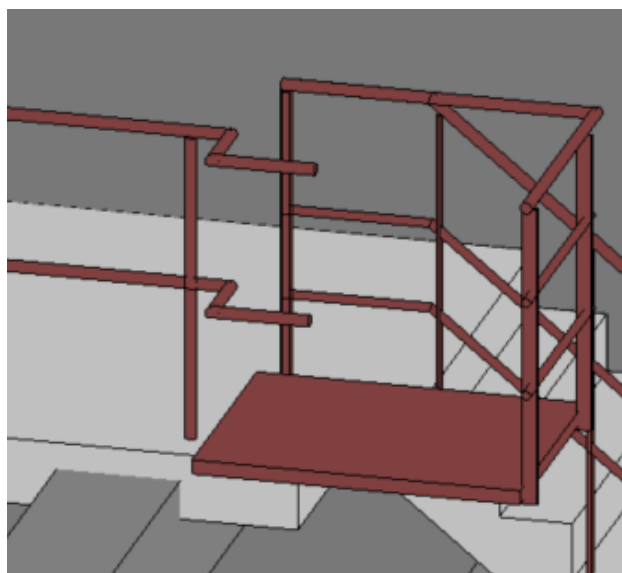


Obr. 30: Revit – ukázka z tvorby vlastní rodiny luxfer

5.2.3 Schodiště a zábradlí

Jedním z nejkomplicovanějších konstrukčních prvků bylo modelování vnitřního schodiště ve tvaru L, skládajícího se ze vstupní podesty, dvou mezipodest a tří ramen, dle skutečného stavu. Nejprve byla vybrána *Systémová rodina: Monolitické schodiště* a daný typ byl vytvořen duplikací. Pro správné vykreslení schodiště bylo zásadní nastavit parametry výpočtů schodiště (*Maximální výška podstupnice*, *Minimální hloubka stupnice* a *Minimální šířka*), jejichž hodnoty byly zjištěny z mračna bodů. Dále byl nastaven *Typ ramene*, který určuje konstrukční hloubku schodiště a specifikuje použitý materiál. Kromě toho byl nastaven také *Typ podesty*, jenž umožňuje volbu odpovídající hloubky a materiálu podesty. Schodiště bylo umístěno v půdoryse s vazbou *Podlažní základny* na spodní podlaží a s vazbou *Horní podlaží* na podlaží v úrovni hlavního vstupu budovy. Byla vytvořena přímá ramena schodiště s nastavením automatické podesty a šířky ramene dle úseku schodiště. Jednotlivé komponenty, z nichž se schodiště skládá, je možné poté upravit. Toto bylo provedeno pro všechny podesty, aby odpovídaly skutečnému stavu. Dle uvedeného postupu bylo vytvořeno také venkovní schodiště.

Důležitým bezpečnostním prvkem, vyskytujícím se ve velkém množství v armaturní komoře, bylo zábradlí, které je možné umísťovat nejen na ramena a podesty schodiště, ale i na podlahy nebo střechy. Při vytvoření schodiště byl prvek zábradlí automaticky vygenerován na plochách ramen a podest. Následně byla schodišti v příslušném půdorysném pohledu upravena jeho trajektorie. Vzhledem ke členitostem, proměnlivému typu a velikosti madel, příčlí a sloupků byla trajektorie zábradlí rozdělena na několik úseků, přičemž prvkům zábradlí byly vymodelovány nové rodiny profilů, které reprezentují jejich tvar. Aby bylo docíleno co nejdůstojnější stavby zábradlí, byla nastavena skladba příčlí, horní madlo udávající výšku a rozmístění sloupků (počet, profil, materiál apod.). Spolu se zábradlím a schodištěm byly vytvořeny také bezpečnostní lávky (obr. 31), jež slouží k obsluze přírubových šoupat.



Obr. 31: Revit – ukázka bezpečnostní lávky se zábradlím

5.2.4 Střecha

Modelace střechy byla provedena funkcí *Střecha v půdorysu*. Obrys střechy byl načrtnut v půdorysném pohledu výškové úrovně střechy jako uzavřený obrazec dle obvodových zdí. Poté byl přední hraně střechy definován přesah a sklon. Parametr *Skladba* střechy lze nastavit stejným způsobem jako u střechy (*Funkce, Materiál, Tloušťka* aj.). V rámci střechy byla vymodelována i atika, pro kterou byl vytvořen speciální typ stěny, kdy pomocí funkce *Přídavky* byla přidána vytvořená rodina profilu znázorňující kovové oplechování. Spojení geometrie atiky (bez horní vazby) a obvodového zdiva se střechou bylo provedeno pomocí *Připojit nahore/dole*.

Funkcí *Střecha: okap* byla označena přední horní hrana střechy a byl vytvořen okap s vymodelovanou rodinou profilu dle předdefinované šablony. Stropní konstrukce (podhled) je tvořena železobetonovou skořepinou, jejíž skladba byla modelována pomocí nosníků v podélném a příčném směru, přičemž tvar nosníků byl upraven dle řezu mračnem.

5.2.5 TZB a ostatní prvky

Při tvorbě 3D modelu byla důležitá nejen modelace konstrukčních prvků, ale také technického zařízení budovy a ostatních předmětů uvnitř objektu, neboť ty představují klíčové komponenty pro správný provoz armaturní komory. Pokud nejsou známy přesné parametry objektů (výkresová dokumentace součástí) nebo nejsou-li přímo vytvořeny rodiny pro dané prvky, je třeba provést výraznou generalizaci některých prvků, jelikož z mračna bodů nelze vymodelovat jejich přesnou kopii obsahující veškeré informace a rozměry.

K modelaci TZB a zařizovacích předmětů bylo přistupováno čtyřmi způsoby. Prvním byla tvorba vlastních rodin dle šablon s typovými nebo instančními vlastnostmi, druhým bylo vytvoření komponenty na místě na kartě *Systémy – Model – Vytvořit na místě*, třetím bylo použití již existující systémové rodiny v projektu s úpravou jejích vlastností a čtvrtým, nejméně používaným způsobem, bylo stažením rodiny z volně dostupné internetové knihovny s následným upravením rodiny pomocí *Editoru rodiny*.

Hlavní potrubní systém armaturní komory s profilem DN 800 a DN 500 spolu s ostatními potrubími byly modelovány na základě *Díl výroby*, což je systémová konfigurace, kterou lze načíst do projektu. Služba výroby obsahuje různé druhy konfigurací, např. pro tvorbu vzduchotechniky, elektrických lávek a potrubí. Při modelaci byl zvolen typ potrubí, jmenovitý průměr a referenční podlaží. Poté byl dílec v půdorysném pohledu ve výšce trasy vložen s kontrolou polohy v několika podélných a příčných řezech vedených mračnem bodů. Díl lze dále modifikovat různými způsoby, jako je otočení, přepínání spojky nebo nastavení číselné hodnoty sklonu. Potrubní systémy byly doplněny o příruby, kolena a uzavírací ventily. Pomocí dílů výroby byly modelovány také kabelové lávky nacházející se na stěnách objektu.

Byla provedena modelace řady vlastních rodin instalačních a jiných objektů, kdy postup základních prací byl velmi podobný. Nejprve byly změřeny základní rozměry prvku v řezech a pohledech se zapnutým mračnem

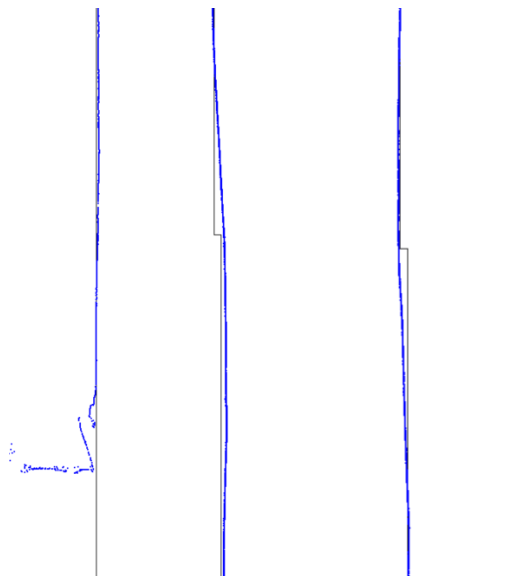
bodů, následně byla založena rodina s patřičným druhem šablony. Z důvodu snadnější manipulace s mračnem bodů a jeho prohlížením byl preferován software ReCap, který je pro tyto úkony vhodnější než software Revit. Pro modelaci detailů byla kromě mračna z laserového skenování využita také fotodokumentace, což představuje významné doplnění informací při pracích v takovýchto prostorách. Pomocí modifikačních nástrojů byla vytvořena příslušná rodina. Takto bylo postupováno například při tvorbě rozvodných skříní, nástěnného rozvaděče, ovládacích panelů, osvětlení, konstrukcí nesoucí potrubí, bezpečnostních mříží apod. Dále byl prvek načten do projektu a umístěn v půdorysu nebo v pohledu do prostoru, přičemž byla upravena jeho orientace např. otočením a zarovnáním ke stěně v patřičné výšce.

Několik prvků bylo vytvořeno pomocí *Model – Komponenta – Vytvořit na místě*, tím byla vymodelována jedinečná komponenta v rámci projektu. Oproti rodině se odlišuje v tom, že nebyl vytvořen samostatný soubor ve formátu RFA, který se do projektu načítá, ale existuje pouze soubor v projektu, jenž nelze do jiného projektu načíst. Tvorba komponenty byla provedena stejným způsobem jako tvorba rodin s nastavením pracovní roviny přímo v projektu (volba šablony, stejné modifikační nástroje aj.). Takto byla vymodelována například přírubová šoupata, pracovní deska, okapový kotlík apod.

5.3 Komplikace a míra generalizace

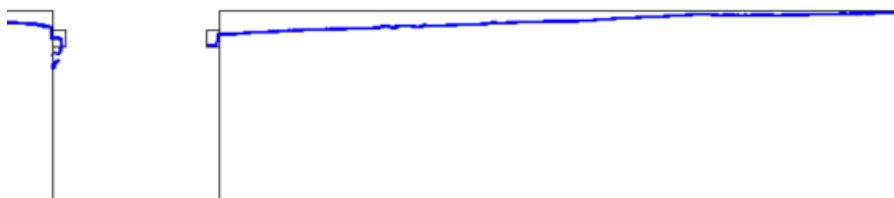
Při modelaci skutečného stavu budovy na podkladech mračna bodů z laserového skenování v programu Revit bylo nezbytné provést generalizaci některých konstrukčních prvků, neboť dochází k prokládání mračna bodů geometrickými objekty, a změnu křivosti prvků, nedokonalosti vzniklé výstavbou nebo degradací materiálu nelze ve výsledném modelu správně zachytit, protože program je především určen pro projekty nových staveb a princip modelace je při nich odlišný. Avšak zjednodušení může představovat určité problémy, jako je ztráta podrobnosti nebo přesnosti vzhledem k mračnu bodů, proto bylo důležité najít kompromis mezi mírou generalizace a dodržáním přesnosti. V rámci modelování konstrukčních prvků bylo naráženo na mnoho komplikací, které musely být vyřešeny generalizací. Záměrem bylo co nejlépe vystihnout reálný stav, což ovšem v některých případech nebylo možné a byly provedeny kompromisy mezi zobrazením skutečného stavu a úrovní generalizace. Dále budou uvedeny některé nesoulady mezi modelem a zaměřeným skutečným stavem armaturní komory.

V určitých místech budovy byla proměnlivá tloušťka stěny. S cílem co nejvýstižněji proložit mračno bodů stěnou a zároveň zohlednit měnící se tloušťku stěny byla v těchto místech stěna modelována odsazením od zdi navazující, čímž vznikl zub, který na stěně ve skutečnosti není. Zub je znázorněn na obr. 32, kde je mračno bodů modrou barvou a modelovaná stěna černou. Nesoulad byl tímto zmenšen na 2 až 3 cm.



Obr. 32: Komplikace – snaha o co nejvýstižnější proložení mračna (vzniklý zub)

Spodní podlaží má dle zaměřeného skutečného stavu proměnlivý charakter. Nejprve byla snaha vymodelovat podlahu s měnícím se sklonem a jinou výškou, ovšem program Revit neumožňuje modelování podobných situací. Proto bylo přistoupeno ke generalizaci a podlaha byla vymodelovaná jako rovná deska aproximující mračno bodů, přičemž se nejvíce přimyká uprostřed budovy. Odchyly podlahy v okrajových částech objektu dosahují oproti mračnu hodnot 5 až 7 cm viz obr. 33 a obr. 34. Tato generalizace měla vliv i na tvorbu schodiště, neboť je v přímé návaznosti na podlahu, spodní poloha schodiště je tudíž o 5 cm níže než ve skutečnosti (obr. 34).

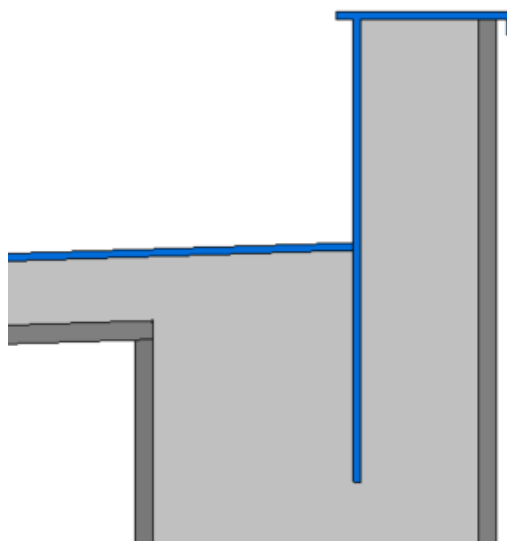


Obr. 33: Komplikace – proměnlivý charakter podlahy



Obr. 34: Komplikace – proměnlivý charakter podlahy a návaznost schodiště

Se snahou o modelaci atiky s oplechováním vznikl problém s napojením atiky na střešní desku a na spodní stěnu. Oplechování bylo vytvořeno jako funkce stěny, ale v řezech s úrovní detailu *Střední* a *Jemný* zasahuje oplechování i do spodních vrstev viz obr. 35. Správně by oplechování mělo odpovídat úrovni oplechování střechy. Tento problém se projevil i ve výkresové dokumentaci.



Obr. 35: Komplikace – chybné napojení oplechování atiky na střešní plášť

5.4 Vizualizace, dokumentace a export dat

Po dokončení modelace prvků armaturní komory bylo provedeno znázornění terénu především kvůli požadavkům na vyhotovení vizualizace, která vytvoří lepší prostorový obraz stavebního objektu vůči zemnímu náspu, do nějž je vodárenské zařízení umístěno. K modelaci terénu lze přistoupit několika způsoby. Manuálně vytvořit terén na základě umístění bodů o známé výšce přímo v programu Revit, další možností je vytvoření terénu ze souboru bodů, jejichž souřadnice jsou uloženy v textovém souboru nebo ve formátu CSV anebo lze terén vytvořit na podkladě vrstevnic vyhotovených v jiném softwaru, jako např. AutoCAD Civil 3D. Pro účely vizualizace byl terén vytvořen první zmíněnou možností, a to zadáním výškových bodů, kdy konkrétní výška bodů v projektu byla zjištěna z mračna bodů nahraných v projektu. Při zadávání výšky bodu je nutné pamatovat na správné nastavení jednotek, jelikož byl model vytvořen v milimetrech. Kontrola byla

provedena v řezech, aby nedocházelo k výrazným odchylkám terénu oproti skutečnému stavu.

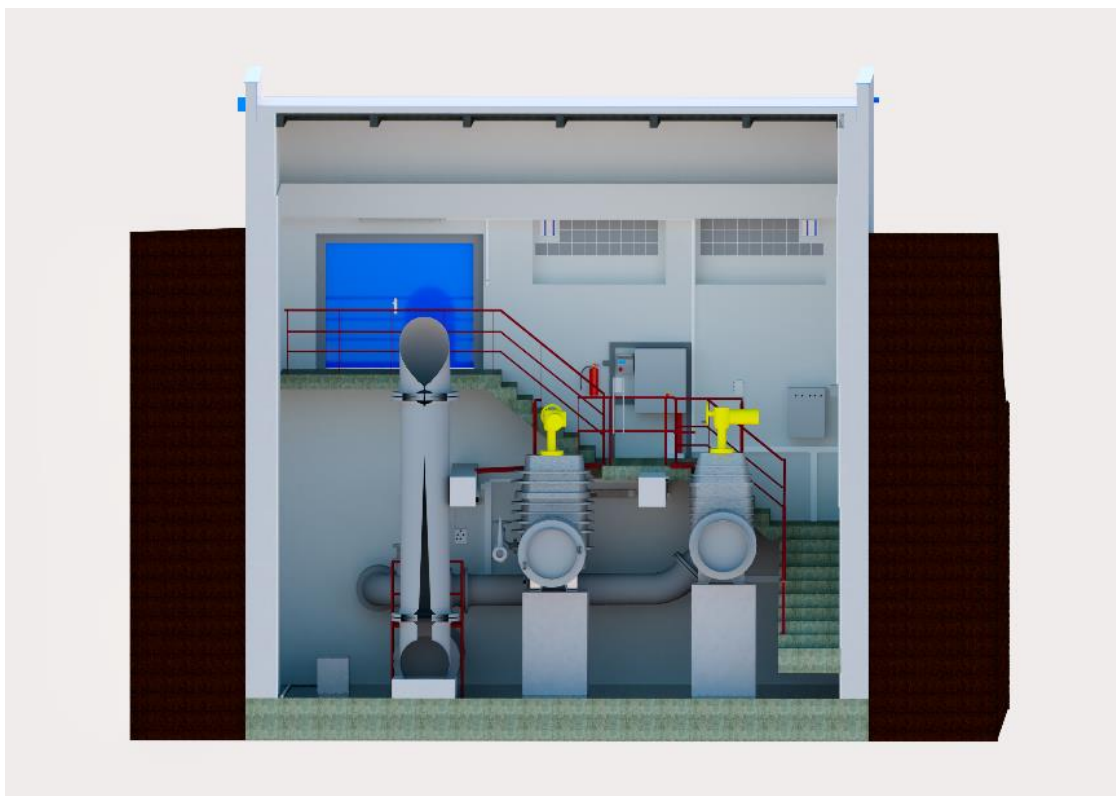
Dalším důležitým aspektem pro tvorbu vizualizace je přiřazení odpovídajících materiálů stavebním a ostatním prvkům modelu. Barva a povrch materiálů mají výrazný vliv na vizuální prezentaci výsledného 3D modelu, která byla vytvořena pomocí nástroje *Rendrovat*. Tento nástroj slouží k vytvoření fotorealistického obrazu modelu budovy s předem nastavenými pohledy a parametry *Rendrování* (lze nastavit výslednou kvalitu, rozlišení, osvětlení, pozadí aj.). Ukázky z výsledné vizualizace jsou uvedeny na konci této kapitoly.

V programu Revit byla vyhotovena výkresová dokumentace obsahující pouze konstrukční prvky armaturní komory. Tento přístup byl zvolen s ohledem na přehlednost a srozumitelnost výkresů, protože výkresy by byly jinak velice nepřehledné a hlavní myšlenka tvorby 3D modelů by postrádala význam. V připraveném půdoryse a řezech bylo provedeno okótování konstrukčních rozměrů a přiřazení výškových kót v systému Bpv. Následně byl proveden export výkresů dle vytvořené výkresové šablony ve formátu PDF.

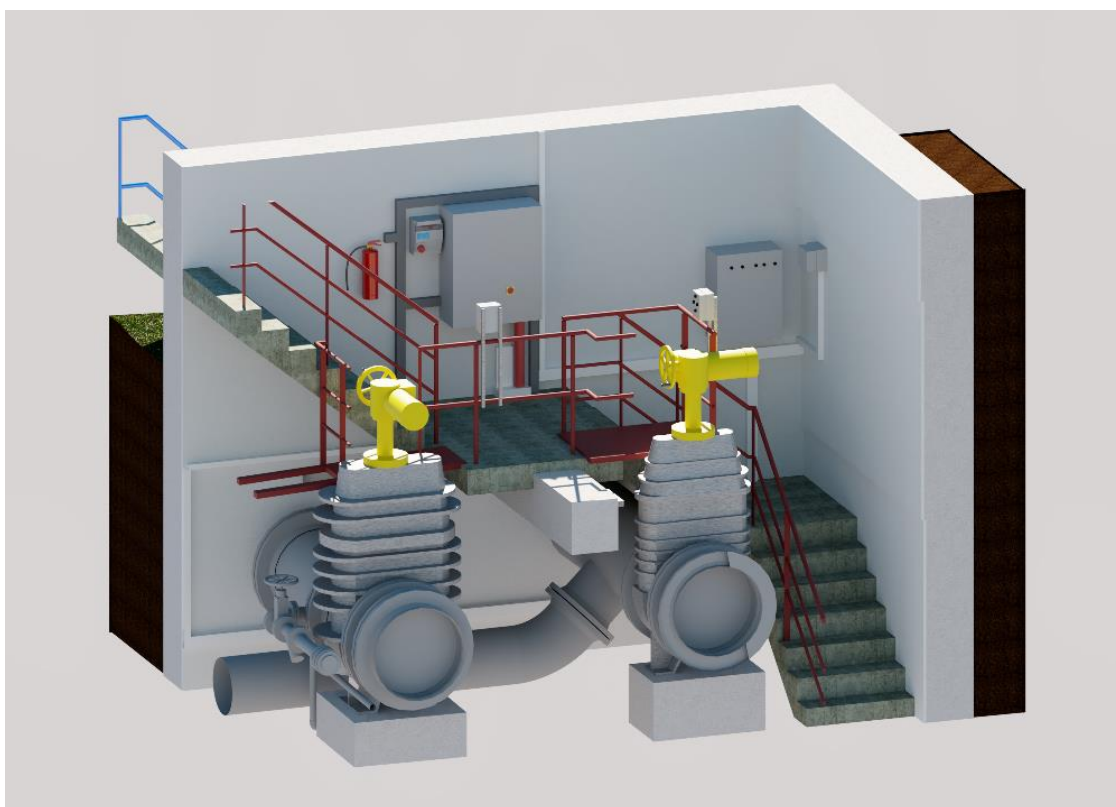
Výsledný 3D model armaturní komory byl na závěr exportován ve formátu IFC s nastavením *IFC 2x3 Coordination View 2.0* a *IFC Design Transfer view*, který lze otevřít ve všech univerzálních BIM prohlížečích. Dále byl model předán v nativním formátu RVT.



Obr. 36: Vizualizace – čelní pohled



Obr. 37: Vizualizace – řez objektem



Obr. 38: Vizualizace – detail armaturního zařízení

6 Ověření přesnosti

6.1 Kontrolní body

V rámci této práce byla armaturní komora zaměřena metodou laserového skenování. Na základě zpracovaného mračna bodů z této metody byl vyhotoven 3D model v souřadnicovém systému JTSK a výškovém systému Bpv pro použití v BIM v prostředí softwaru Revit. Pro ověření přesnosti mračna bodů z laserového skenování a z něj vytvořeného 3D modelu bylo provedeno kontrolní měření vybraných konstrukčních prvků rozmístěných po celém objektu (venkovní i vnitřní prvky budovy) pomocí prostorové polární metody s připojením na vybudovanou síť bodů v areálu vodojemu, přičemž bylo zaměřeno celkem 42 kontrolních bodů. Tyto kontrolní body byly zvoleny z důvodu porovnání tak, aby byla možná jejich jednoznačná identifikace jak v mračnu bodů, tak i ve 3D modelu, proto body odpovídají rohům stavebních elementů objektu.

Jelikož byl 3D model armaturní komory modelován aproximací mračna bodů z laserového skenování geometrickými parametrickými objekty, je nutné provést ověření přesnosti a zjistit, do jaké míry se model a mračno shodují a zda porovnání splňuje požadovanou přesnost. Neboť kvalita modelování nezávisí pouze na exaktním prokládání geometrických těles mračnem bodů, ale i na přesnosti samotného zaměření jednotlivých bodů metodou laserového skenování, byla přesnost této metody ověřena nezávislou metodou, a to prostorovou polární metodou, kterou byla též ověřena přesnost 3D modelu.

Bylo porovnáno 42 kontrolních bodů vypočtených polární metodou, 42 identických bodů získaných z mračna bodů, přičemž jejich výsledné souřadnice byly určeny v programu ReCap, (každý bod v mračnu identifikován vícekrát s ohledem na spolehlivé určení souřadnic) a 42 odpovídajících bodů ze 3D modelu získaných pomocí funkce *Výpis sdílených souřadnic* přímo v prostředí Revit. Tyto tři sady o počtu 42 bodů byly mezi sebou vzájemně porovnány viz přílohy. V tabulkách jsou vždy uvedeny souřadnice porovnávaných bodů, souřadnicové rozdíly a jejich průměrné hodnoty a prostorová vzdálenost vyjadřující rozdíl mezi nimi. Pro jednotlivé složky souřadnicových rozdílů a z nich vypočtené prostorové vzdálenosti byly určeny charakteristiky přesnosti uvedené v tabulkách č. 1, 2 a 3 dle příslušného porovnání. Konkrétně byly vypočteny výběrové

směrodatné odchytky jednoho bodu pro složky Y, X, Z a pro prostorovou vzdálenost d_{yXZ} dle vzorce:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum i^2}{n-1}},$$

kde $n = 42$, $i = dY, dX, dZ, dd_{yXZ}$.

Dále byla vypočtena směrodatná odchytky průměru pro prostorovou vzdálenost d_{yXZ} dle vzorce:

$$\sigma_{d_{yXZ}} = \sqrt{\frac{\sum d_{yXZ}^2}{n * (n - 1)}},$$

kde $n = 42$.

Tab. 1: Porovnání souřadnic z prostorové polární metody a laserového skenování

Maximální prostorová délka $d_{YXZ_{max}}$	20,3 mm
Minimální prostorová délka $d_{YXZ_{min}}$	1,0 mm
Průměrná prostorová délka $d_{YXZ_{\emptyset}}$	10,6 mm
Výběrová směrodatná odchytky průměru $\sigma_{\emptyset_{d_{YXZ}}}$	1,75 mm
Výběrová směrodatná odchytky pro Y σ_Y	5,37 mm
Výběrová směrodatná odchytky pro X σ_X	7,48 mm
Výběrová směrodatná odchytky pro Z σ_Z	6,67 mm
Výběrová směrodatná odchytky jednoho bodu pro vzdálenost d_{YXZ}	11,37 mm

Tab. 2: Porovnání souřadnic z prostorové polární metody a 3D modelu z prostředí Revit

Maximální prostorová délka $d_{YXZ_{max}}$	70,4 mm
Minimální prostorová délka $d_{YXZ_{min}}$	8,0 mm
Průměrná prostorová délka $d_{YXZ_{\emptyset}}$	32,8 mm
Výběrová směrodatná odchytky průměru $\sigma_{\emptyset_{d_{YXZ}}}$	5,61 mm
Výběrová směrodatná odchytky pro Y σ_Y	23,61 mm
Výběrová směrodatná odchytky pro X σ_X	18,96 mm
Výběrová směrodatná odchytky pro Z σ_Z	20,05 mm
Výběrová směrodatná odchytky jednoho bodu pro vzdálenost d_{YXZ}	36,32 mm

Tab. 3: Porovnání souřadnic z laserového skenování a 3D modelu z prostředí Revit

Maximální prostorová délka $d_{YXZ_{max}}$	77,5 mm
Minimální prostorová délka $d_{YXZ_{min}}$	4,6 mm
Průměrná prostorová délka $d_{YXZ_{\emptyset}}$	32,5 mm
Výběrová směrodatná odchylka průměru $\sigma_{\emptyset_{d_{YXZ}}}$	5,63 mm
Výběrová směrodatná odchylka pro Y σ_Y	22,94 mm
Výběrová směrodatná odchylka pro X σ_X	20,27 mm
Výběrová směrodatná odchylka pro Z σ_Z	19,83 mm
Výběrová směrodatná odchylka jednoho bodu pro vzdálenost d_{YXZ}	36,48 mm

Vzhledem k nevznesení požadavku na konkrétní hodnotu mezní odchylky pro zaměření objektu byla kritéria pro určení přesnosti převzata z odborného dokumentu Asociace podnikatelů v geomatice – Metodika prostorového určení interiéru a exteriéru budov [28]. Zde je pojednáváno o mezní odchylce 15 až 20 mm, proto lze na základě hodnoty vypočtené výběrové směrodatné odchylky jednoho bodu viz tab. 1 konstatovat, že provedené zaměření pomocí metody laserového skenování odpovídá očekávané přesnosti. Hodnota výběrové směrodatné odchylky jednoho bodu pro vzdálenost d_{YXZ} mezi bodem z laserového skenování a ze 3D modelu odpovídá přesnosti dosažené z porovnání prostorové polární metody a 3D modelu viz tab. 2 a tab. 3. V souvislosti se způsobem modelace 3D modelu na podkladě mračna bodů by mohl být předpokládán větší soulad než u prostorové polární metody a 3D modelu, avšak zde je třeba brát v úvahu několik proměnných. Model vznikl aproximací mračna bodů se snahou, aby plocha konstrukčních prvků co nejvýstižněji prokládala mračno bodů, nikoliv se snahou o nejvyšší přesnost rohů budovy, které vstupovaly do porovnání. Porovnání mohlo být také ovlivněno určením přesné polohy kontrolního bodu v mračnu bodů, a protože se jedná o shluk bodů a rohy stavebních konstrukcí nejsou jasně definovány, je výběr daného bodu ovlivněn i nahodilou chybou. Ve výsledku mohou být hodnoty výběrové směrodatné odchylky jednoho bodu pro vzdálenost mírně zavádějící, neboť porovnání prostorové polární metody a 3D modelu vykazuje vyšší přesnost než porovnání laserového skenování a 3D modelu.

Při tvorbě 3D modelu pro zavedení BIM u existující stavby je obecně nezbytné předat projektantovi či objednateli nejen 3D model, ale i mračno bodů, neboť při tvorbě modelu dochází ke generalizaci jednotlivých

geometrických prvků stavby. Takto vzniklý model nedokáže zachytit přesné rozměry jaké jsou ve skutečnosti. Ovšem v případě, kdy je model doplněn o mračno bodů z laserového skenování, získává projektant lepší představu o skutečném stavu objektu a má tak možnost pracovat s vyšší přesností a spolehlivostí při návrhu a úpravách stavebního projektu. Je třeba mít na paměti, že vytvoření 3D modelu nebo BIM modelu s přesností na úrovni LOD 500 je finančně velmi náročné a vyžaduje značné množství času.

6.2 Laserové skenování a fotogrammetrie

Zpracováním laserového skenování a fotogrammetrického zaměření byla získána dvě mračna bodů. Aby byla ověřena jejich přesnost a případná vhodnost použití fotogrammetrické metody pro zaměření armaturní komory a pro modelaci, bylo provedeno porovnání mračen v programu Leica Cyclone 3DR.

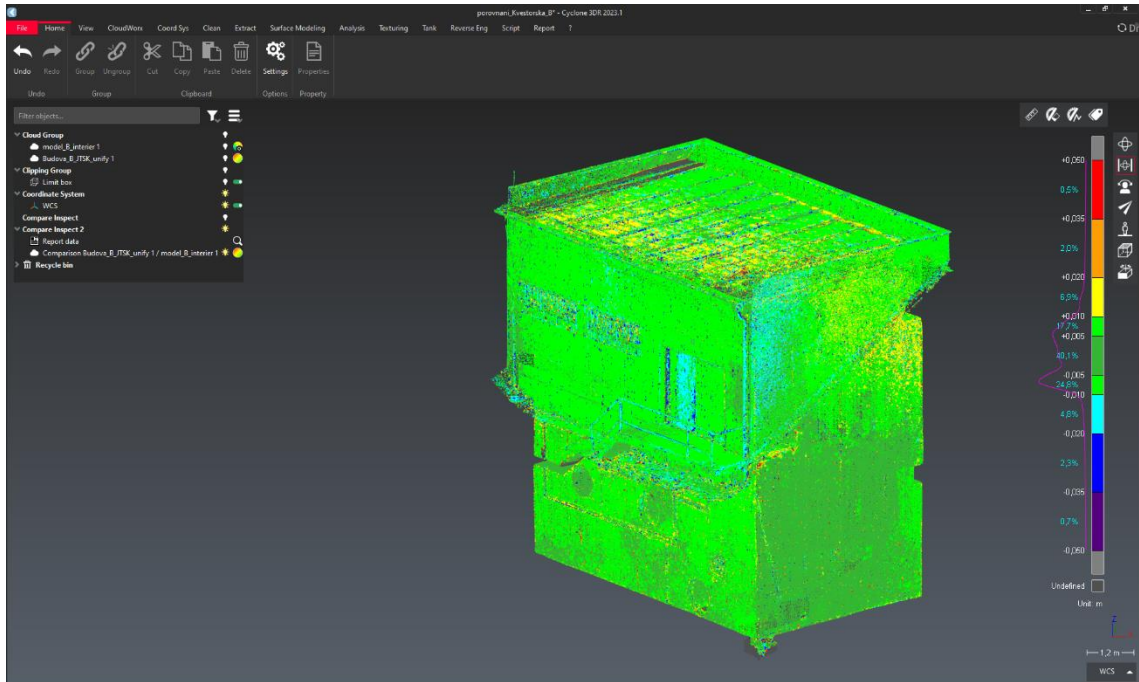
Mračno z laserového skenování bylo v programu oříznuto o irelevantní body okolí, aby byla porovnána pouze budova a výsledek nebyl zkreslován vegetací. Pro porovnání byla použita funkce *Inspect Cloud vs Cloud*, kde za referenční mračno bylo zvoleno mračno bodů z laserového skenování a za porovnávané (*Measure*) mračno bodů z fotogrammetrického zpracování.

Na základě četnosti odchylek porovnávaných mračen byla zvolena odpovídající stupnice, která byla vizualizována pomocí barevné hypsometrie viz obr. 39. Barevná škála reprezentuje mezní hodnoty odchylek, konkrétně tmavě zelená barva udává rozpětí -5 mm až 5 mm zahrnující $40,1$ % odchylek, světle zelená ± 5 mm až ± 10 mm a celkem $42,5$ % odchylek se nachází v těchto interval, což je nejčastější rozdíl mezi porovnávanými mračny. Světle modrá barva reprezentuje interval -10 až -20 mm, žlutá 10 až 20 mm, tmavě modrá -20 až -35 mm, oranžová 20 až 35 mm, fialová -35 až -50 mm a červená 35 až 50 mm. Světle šedá a tmavě šedá barva znázorňují oblasti, jejichž hodnoty jsou mimo definovanou škálu, případně se nevyskytují v obou porovnávaných mračnech bodů (celkem $0,2$ % viz obr. 39).

Nejvyšší odlehlosti se vyskytují v oblasti střechy a stropu armaturní komory, neboť plechová střecha byla v den zaměření mokrá a v některých místech byly vytvořeny malé louže, což mělo vliv na kvalitu provedeného zaměření. Odchytky vzniklé na stropě byly s nejvyšší pravděpodobností způsobeny pořízením snímků z větší vzdálenosti. Vyšších odchylek též dosahují potrubí a zábradlí s relativně malým průměrem. Dveře byly

v průběhu měření otvírány a zavírány, z tohoto důvodu mračna obsahují rovněž nepřesnosti.

Celkem 82,6 % odchylek se nachází v intervalu -10 až 10 mm, z toho lze usuzovat, že přesnost použitých metod se v zásadě shoduje, proto byla fotogrammetrická metoda shledána jako využitelná pro tento typ objektu, avšak při implementaci této metody je třeba brát na zřetel její možná úskalí při pořizování snímků členitého potrubního systému.



Obr. 39: Leica Cyclone 3DR – porovnání mračen z laser. skenování a fotogrammetrie

7 Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vytvoření 3D modelu vodárenského zařízení pro použití v BIM v prostředí Autodesk Revit, jenž byl vyhotoven z mračna bodů získaného laserovým skenováním.

Armaturní komora nacházející se v areálu zemního vodojemu Kvestorská, který spravuje společnost Pražské vodovody a kanalizace, a. s., byla zaměřena několika vybranými geodetickými metodami, přičemž zaměření exteriéru a interiéru stavebního objektu bylo provedeno pomocí metody laserového skenování a s využitím principů pozemní fotogrammetrie. V rámci měření byla nejprve vybudována měřická síť, jejíž body byly zaměřeny metodou GNSS a dále sloužily k transformaci měřených dat do závazných referenčních systémů JTSK a Bpv. Vzhledem k použití fotogrammetrické metody byly prostorovou polární metodou zaměřeny vlíčovací body s rovnoměrným rozmístěním po celém objektu, a zároveň byly stejnou metodou zaměřeny i body měřické sítě spolu s kontrolními body.

Data byla následně zpracována v příslušných softwarech, kdy zpracováním metody GNSS byly získány souřadnice vlíčovacích bodů v systémech JTSK a Bpv. Body zaměřené prostorovou polární metodou byly vyrovnány a poté transformovány do uvedených systémů. Byla vytvořena dvě mračna bodů zachycující skutečný stav armaturní komory. Mračno bodů pocházející z laserového skenování bylo registrováno v programu Leica Cyclone, druhé, vytvořené ze snímků pořízených digitální zrcadlovkou, bylo zpracováno v programu RealityCapture. V prostředí Autodesk Revit byla provedena modelace armaturní komory, která zahrnovala nejen její konstrukční prvky, ale i technická zařízení a blízké okolí.

Výsledkem práce je 3D model armaturní komory zemního vodojemu, který lze použít jako základ pro budoucí BIM model. Dalšími výsledky jsou vizualizace a výkresová dokumentace modelu, ověření přesnosti konstrukčních prvků 3D modelu geodetickými metodami, mračna bodů v S-JTSK a Bpv a jejich porovnání.

Závěrem lze říci, že problematika vytváření 3D modelů pro již existující vodárenské stavby na základě geodetického zaměření skutečného stavu je v dnešní době stále poměrně nové téma a má svá specifika. Proto je potřeba se jím i nadále zabývat a v budoucnu stanovit jasná pravidla a ucelené postupy pro vytváření 3D modelů již existujících staveb a obecně s nimi

spojené principy zavádění BIM metodiky. Na vytvoření kvalitního a přesného 3D modelu stávající stavby respektující principy zavádění BIM metodiky by se měl podílet nejen geodet, ale i specialista z příslušného stavebního nebo ze souvisejícího technického oboru. Jelikož výsledný model této diplomové práce není přímo BIM model, ale pouze 3D model sloužící pro možné BIM použití, nelze hovořit o úrovni podrobnosti z hlediska BIM a LOD, ale lze pouze zhodnotit dosaženou geometrickou úroveň neboli LOG. Proto se v rámci práce může pojednávat o LOG 300 až 350, přičemž některá vodárenská zařízení musela být značně generalizována dle autorova uvážení, protože zatím není jasně daná norma pro modelaci těchto zařízení a určení konkrétní úrovně podrobnosti. Pokud bychom měli hovořit o úrovni podrobnosti z hlediska BIM a LOD, což ovšem není správně, pak se vytvořený 3D model armaturní komory pohybuje mezi úrovněmi LOD 100 až LOD 200.

Použité zdroje a literatura

- [1] *Geoportál ČÚZK: Prohlížečská služba WMS – ZM 50* [online]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM50_PUB/WMSservice.aspx
- [2] *Geoportál ČÚZK: Prohlížečská služba WMS – Ortofoto* [online]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx
- [3] PRAŽSKÉ VODOVODY A KANALIZACE, A. S. Výroční zpráva 2019 [online]. Praha: Pražské vodovody a kanalizace, a. s., 2019. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/res/archive/213/240714.pdf?seek=1661253909>
- [4] RŮŽIČKA, Zdeněk. *Optimalizace tlakových poměrů ve vodovodní síti v lokalitě Pankrác ve vazbě na hospodárné provozování distribuční sítě v podmínkách centrální části Prahy, zpracování provozních zkušeností pro koncepční řešení generelu zásobování problémového území* [online]. Olomouc, 2010 [cit. 2023-05-18]. Bakalářská práce. Moravská vysoká škola Olomouc, o.p.s. Vedoucí práce Ing. Jaroslav VÁŇA. Dostupné z: <https://theses.cz/id/umid91/>
- [5] ČERNÝ, Martin. *BIM příručka*. Praha: Odborná rada pro BIM, 2013. ISBN 978-80-260-5296-8.
- [6] WERNEROVÁ, Eva, František KUDA a Michal FALTEJSEK. *Zavádění BIM u existujících staveb*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2018. ISBN 978-80-248-4238-7.
- [7] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Koncepce zavádění metody BIM v České republice* [online]. Praha: MPO, 2017. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf>
- [8] BIMMDA. *Life Cycle of an Enterprise*. In: *BIMMDA* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://bimmda.com/en/what-is-bim>
- [9] FUNTÍK, Tomáš. *Building Information Modeling: informačné modelovanie stavieb*. Bratislava: Eurostav, 2018. ISBN 978-80-89228-56-0.

- [10] *TZB-info: BIM – Informační model budovy* [online]. [cit. 2023-05-18].
Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bim-informacni-model-budovy>
- [11] CDE. In: *Technický týdeník: TT* [online]. 2020 [cit. 2023-05-20].
Dostupné z:
https://www.technickytydenik.cz/rubriky/poutaky/metodika-bim-se-opira-o-vzdalenou-tymovou-spolupraci_50295.html
- [12] *Bim.Point: 7 základních BIM zkratk, na které narazíte v každém projektu* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.bim-point.com/blog/bim-zkratky>
- [13] BIBLUS. LOD – Level of Development. In: *BibLus* [online]. 2020 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://biblus.accasoftware.com/en/what-are-lod-and-loin-in-bim-and-what-are-they-for/>
- [14] KŘEMEN, Tomáš. *Materiály pro přednášky z Laserového skenování* [online]. [cit. 2023-5-21]. Dostupné z:
https://k154.fsv.cvut.cz/~kremen/LSK_1.pdf
- [15] ŠTRONER, Martin a kol. *3D skenovací systémy*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05371-3.
- [16] KÝHOS, Martin. *Využití blízké fotogrammetrie v podzemních prostorách spojené s moderními metodami vizualizace* [online]. Praha, 2021 [cit. 2023-05-20]. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Karel PAVELKA. Dostupné z:
https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/95915/F1-DP-2021-Kyhos-Martin-DP_2021_Kyhos_text.pdf?sequence=-1&isAllowed=y
- [17] ŠTRONER, Martin. *Měření při účelovém mapování a dokumentaci skutečného provedení budov* [online]. [cit. 2023-5-15]. Dostupné z:
https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GEY2/pred_5_Metrologie_Ucelove_mapovani.pdf
- [18] KOSTELECKÝ, Jakub. *Materiály pro přednášky z Teoretické geodézie 2* [online]. [cit. 2023-5-15]. Dostupné z:
https://geo.fsv.cvut.cz/gwiki/155TGD2_Teoretick%C3%A1_geod%C3%A1zie_2#P.C5.99edn.C3.A1.C5.A1ky
- [19] GEFOS, a. s. Leica ScanStation P30/40. In: *GEFOS a. s.* [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: https://www.gefos-leica.cz/data/original/skenery/p40/leica_scanstation_p30-p40_cz.pdf

- [20] *Canon: Canon EOS 6D Mark II Specifikace* [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.canon.cz/cameras/eos-6d-mark-ii/specifications/>
- [21] *Canon: Canon EF 28mm f/2.8 IS USM* [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.canon.cz/lenses/ef-28mm-f-2-8-is-usm-lens/>
- [22] CEWE Fotolab. Canon EOS 6D Mark II (tělo). In: *CEWE Fotolab* [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: [https://www.fotolab.cz/produkt/canon-eos-6d-mark-ii-\(t%C4%9Blo\)](https://www.fotolab.cz/produkt/canon-eos-6d-mark-ii-(t%C4%9Blo))
- [23] Megapixel. Canon EF 28 mm f/2,8 IS USM. In: *Megapixel* [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/canon-ef-28mm-f28-is-usm>
- [24] GEFOS, a. s. Leica Nova MS60. In: *GEFOS, a. s.* [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/data/original/totalni-stanice/leica-nova-ms60-ds-933430-0220-cs-lr.pdf>
- [25] Leica Geosystems. Leica Viva GS16 GNSS rover. In: *Leica Geosystems* [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/smart-antennas/leica-viva-gs16>
- [26] *RealityCapture* [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.capturingreality.com/>
- [27] *Revit 3D Blog: Autodesk Revit – Knihovna rodin a šablona dle ČSN* [online]. [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.revit3dblog.cz/autodesk-revit-knihovna-rodin-a-sablona-dle-csn/>
- [28] ASOCIACE PODNIKATELŮ V GEOMATICE a VÚGTK, v. v. i.: Metodika prostorového určení interiéru a exteriéru budov [online]. Praha: VÚGTK, v. v. i., 2018. Dostupné z: https://uploads-ssl.webflow.com/606c36cbbc62f458e6ceeee9/606c5bf394edde3e1bd6f178_apg-vugtk-metodika-mereni-interieru-a-exterioru-budov.pdf

Seznam tabulek

Tab. 1: Porovnání souřadnic z prostorové polární metody a laserového skenování..... 61

Tab. 2: Porovnání souřadnic z prostorové polární metody a 3D modelu z prostředí Revit... 61

Tab. 3: Porovnání souřadnic z laserového skenování a 3D modelu z prostředí Revit..... 62

Seznam obrázků

Obr. 1: Lokalita objektu [1]	11
Obr. 2: Areál vodojemu Kvestorská, poloha armaturní komory [2]	12
Obr. 3: Průčelí armaturní komory	13
Obr. 4: Severozápadní pohled na armaturní komoru	14
Obr. 5: Životní cyklus stavby z pohledu BIM [8]	16
Obr. 6: Společné datové prostředí (CDE) [11]	18
Obr. 7: Grafické znázornění úrovní podrobnosti [13]	21
Obr. 8: Princip neselektivního sběru dat [14]	25
Obr. 9: Leica ScanStation P40 [19].....	28
Obr. 10: Canon EOS 6D Mark II [22], Canon EF 28mm f/2.8 IS USM [23].....	28
Obr. 11: Multistanice Leica Nova MS60 [24]	29
Obr. 12: Leica Viva GS16 [25].....	29
Obr. 13: Stabilizace bodů – nastřelovací hřeb a dřevěný kolík.....	30
Obr. 14: Přehledka bodů zaměřených metodou GNSS [2]	31
Obr. 15: Stabilizace venkovních a vnitřních vlíčovacích bodů (vlevo), stabilizace bodů s označením 220x1 až 220x12 (vpravo)	32
Obr. 16: Zaměření kontrolních bodů TS	34
Obr. 17: Zaměření armaturní komory laserovým skenerem.....	35
Obr. 18: EasyNET – Nastavení vyrovnání sítě.....	38
Obr. 19: EasyNET – Základní informace o vyrovnání sítě	39
Obr. 20: Visual Registration – horizontální pohled.....	41
Obr. 21: Visual Registration – vertikální pohled.....	41
Obr. 22: Leica Cyclone – registrované mračno bodů	43
Obr. 23: Leica Cyclone – oříznuté mračno bodů	43
Obr. 24: Prostředí programu RealityCapture	44
Obr. 25: RealityCapture – spojovací body	45
Obr. 26: RealityCapture – husté mračno bodů interiéru	46
Obr. 27: RealityCapture – husté mračno bodů exteriéru	46
Obr. 28: Nastavení souřadnic Základního bodu projektu v S-JTSK a Bpv.....	48
Obr. 29: Nastavení skladby stěny.....	50
Obr. 30: Revit – ukázka z tvorby vlastní rodiny luxfer	52
Obr. 31: Revit – ukázka bezpečnostní lávky se zábradlím.....	53
Obr. 32: Komplikace – snaha o co nejvýstižnější proložení mračna (vzniklý zub)	56

Obr. 33: Komplikace – proměnlivý charakter podlahy.....	56
Obr. 34: Komplikace – proměnlivý charakter podlahy a návaznost schodiště	57
Obr. 35: Komplikace – chybné napojení oplechování atiky na střešní plášť	57
Obr. 36: Vizualizace – čelní pohled.....	58
Obr. 37: Vizualizace – řez objektem	59
Obr. 38: Vizualizace – detail armaturního zařízení	59
Obr. 39: Leica Cyclone 3DR – porovnání mračen z laser. skenování a fotogrammetrie	64

Seznam příloh

- Příloha 1: Zápisníky měření z totální stanice
- Příloha 2: Protokoly měření a zpracování GNSS
- Příloha 3: GNSS – výsledné souřadnice
- Příloha 4: Protokol vyrovnání
- Příloha 5: Protokol transformace
- Příloha 6: Seznam souřadnic vyrovnaných a transformovaných bodů
- Příloha 7: Kontrolní body – seznam souřadnic, protokol o výpočtu
- Příloha 8: Mračna bodů – laserové skenování a fotogrammetrie
- Příloha 9: Protokol o registraci mračna (Leica Cyclone)
- Příloha 10: Přesnost vlíčovacích bodů – RealityCapture
- Příloha 11: Vizualizace armaturní komory
- Příloha 12: Výkresová dokumentace
- Příloha 13: Porovnání použitých metod a 3D modelu
- Příloha 14: Grafické porovnání mračen
- Příloha 15: Výsledný 3D model