



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

VYTVOŘENÍ STAVEBNÍ DOKUMENTACE HISTORICKÉ BUDOVY

CREATION OF BUILDING DOCUMENTATION OF HISTORICAL BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kateřina Justová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Vystavěl

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav geodézie
Studentka: **Bc. Kateřina Justová**
Vedoucí práce: **Ing. Ondřej Vystavěl**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: N0532A260001 Geodézie a kartografie

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Vytvoření stavební dokumentace historické budovy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na zadané lokalitě vybudujte síť pomocných měřických bodů a proveďte vhodnými metodami zaměření historické budovy, jehož výsledkem bude georeferencované mračno bodů. Dále vyhotovte část informačního modelu historické budovy. Z modelu bude poloautomatizovaně vygenerována výkresová dokumentace a následně konvertována do CAD formátů.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Vyhotovení rešerše tvorby stavební dokumentace historických budov.

Vytvoření informačního modelu části historické budovy.

Vytvoření výkresové dokumentace historické budovy.

Seznam doporučené literatury a podklady:

Štroner, M., Pospíšil, J., Koska, B., Křemen, T., Urban, R., Smítka, V., Třasák, P.: 3D skenovací systémy, Praha 2013

Novotná, H.: Základy BIM - Revit Architecture, Seznámení s programem, Brno 2014, ISBN 978-80-214-5023-3

Novotná, H.: Základy BIM - Revit Architecture, pokročilé kapitoly, Brno 2015, ISBN 978-80-214-5199-5

Erhart, D.: Autodesk Revit: stavařův průvodce Revitem, Praha 2023, ISBN 978-80-907740-8-7

ČSN 01 3420 Výkresy pozemních staveb - Kreslení výkresů stavební části, Praha 2004

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 5. 2023

L. S.

doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Ondřej Vystavěl
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá sběrem a zpracováním prostorových dat a následnou tvorbou stavební dokumentace části historické budovy fary v obci Újezd u Černé Hory. Sběr dat byl proveden zejména laserovým skenováním. Výstupy jsou vyhotoveny na podkladě mračna bodů. Hlavním výstupem práce je informační model části budovy vyhotovený v programu Revit a z něj vytvořené stavební výkresy. Výstupy práce zachycují skutečný stav stavby k červenci roku 2023.

KLÍČOVÁ SLOVA

BIM, laserové skenování, stavební dokumentace, Trimble RealWorks, Revit, mračno bodů

ABSTRACT

This diploma thesis focuses on 3D spatial data acquisition and processing and subsequent making of the construction documentation of the part of the historical building of the rectory in the village of Újezd u Černé Hory. Outputs are based on a point cloud, data acquisition was mainly done by laser scanning. The main outputs of the thesis include BIM (Building Information Modeling) model modelled in Revit software and construction drawings generated from the model. The outputs of this thesis represent the actual state of building as of July 2023.

KEYWORDS

BIM, laser scanning, construction documentation, Trimble RealWorks, Revit, point cloud

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JUSTOVÁ, Kateřina. *Vytvoření stavební dokumentace historické budovy*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/153132>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Ondřej Vystavěl.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Vytvoření stavební dokumentace historické budovy* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2024

Bc. Kateřina Justová

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěla vyjádřit poděkování vedoucímu mé diplomové práce Ing. Ondřeji Vystavělovi a Ing. Aleně Berkové za ochotu, cenné rady a čas, který mi věnovali. Dále bych ráda poděkovala společnosti GEOTRONICS Praha, s.r.o. za poskytnutí laserového skeneru Trimble X9. Díky patří v neposlední řadě i rodině a přátelům za podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

1	Úvod.....	11
2	Zájmová lokalita	12
2.1	Historie.....	13
2.2	Popis budovy.....	15
3	Informační modelování staveb (BIM)	18
3.1	Historie BIM	18
3.2	Co je to BIM	18
3.3	BIM v ČR.....	19
3.4	Míra podrobnosti a úroveň rozvoje.....	20
3.5	Heritage BIM	21
4	Terénní práce	22
4.1	Měřické vybavení	22
4.1.1	Terestrický laserový skener Trimble X9	23
4.2	Pomocná měřická síť	26
4.3	Zaměření vlícovacích a kontrolních bodů	26
4.4	Laserové skenování.....	27
4.4.1	Princip a přínos	28
4.4.2	Sběr dat pomocí laserového skenování.....	29
4.4.3	Vlícovací body	31
5	Zpracování dat	33
5.1	Zpracování klasického geodetického měření.....	33
5.2	Zpracování mračna bodů	33
5.2.1	Trimble RealWorks.....	33
5.2.2	Import dat.....	34

5.2.3	Registrace.....	34
5.2.4	Georeferencování.....	35
5.2.5	Ořezání, zředění mračna bodů	36
5.2.6	Průzkumný prohlížeč skenů.....	36
6	Tvorba 3D modelu v programu Revit.....	38
6.1	Zavedení souřadnicového a výškového systému v projektu.....	38
6.2	Připojení mračna bodů	40
6.3	Definování podlaží.....	41
7	Modelování	42
7.1	Zvolený postup	42
7.2	Tvorba základních komponent.....	42
7.2.1	Stěny	43
7.2.2	Podlahy	45
7.2.3	Klenuté stropy.....	46
7.2.4	Dveře.....	47
7.2.5	Okna.....	49
7.2.6	Schodiště a zábradlí	50
7.2.7	Střecha	54
7.2.8	Ostatní prvky.....	56
8	Výsledná dokumentace	59
8.1	Výkresová dokumentace	59
9	Posouzení geometrické přesnosti mračna a modelu	62
10	Závěr	64
11	Seznam použité literatury	65
12	Seznam obrázků.....	69

13	Seznam tabulek	72
14	Seznam použitých zkratk	73
15	Seznam příloh	74
15.1	Seznam tištěných příloh.....	74
15.2	Seznam elektronických příloh	74

1 Úvod

Toto téma diplomové práce jsem si vybrala, abych se seznámila s problematikou informačního modelování staveb (Building Information Modeling – BIM), která je v poslední době ve stavebnictví aktuálním tématem a myslím, že se postupem času stane aktuální i v oboru geodézie.

Diplomová práce se zabývá vyhotovením stavební výkresové dokumentace části historického objektu budovy fary v obci Újezd u Černé Hory na podkladě BIM modelu. Předmětem mé diplomové práce je vytvoření modelu druhého nadzemního podlaží (2NP) a půdy. Modelování prvního nadzemního podlaží (1NP) a sklepních prostor provedl Bc. Igor Kováč, se kterým probíhala spolupráce při sběru dat.

K dosažení cílů diplomové práce bylo provedeno geodetické měření v terénu, které zahrnovalo vybudování pomocné měřické sítě pro zaměření vřícovacích a kontrolních bodů a dále laserové skenování celého interiéru i exteriéru.

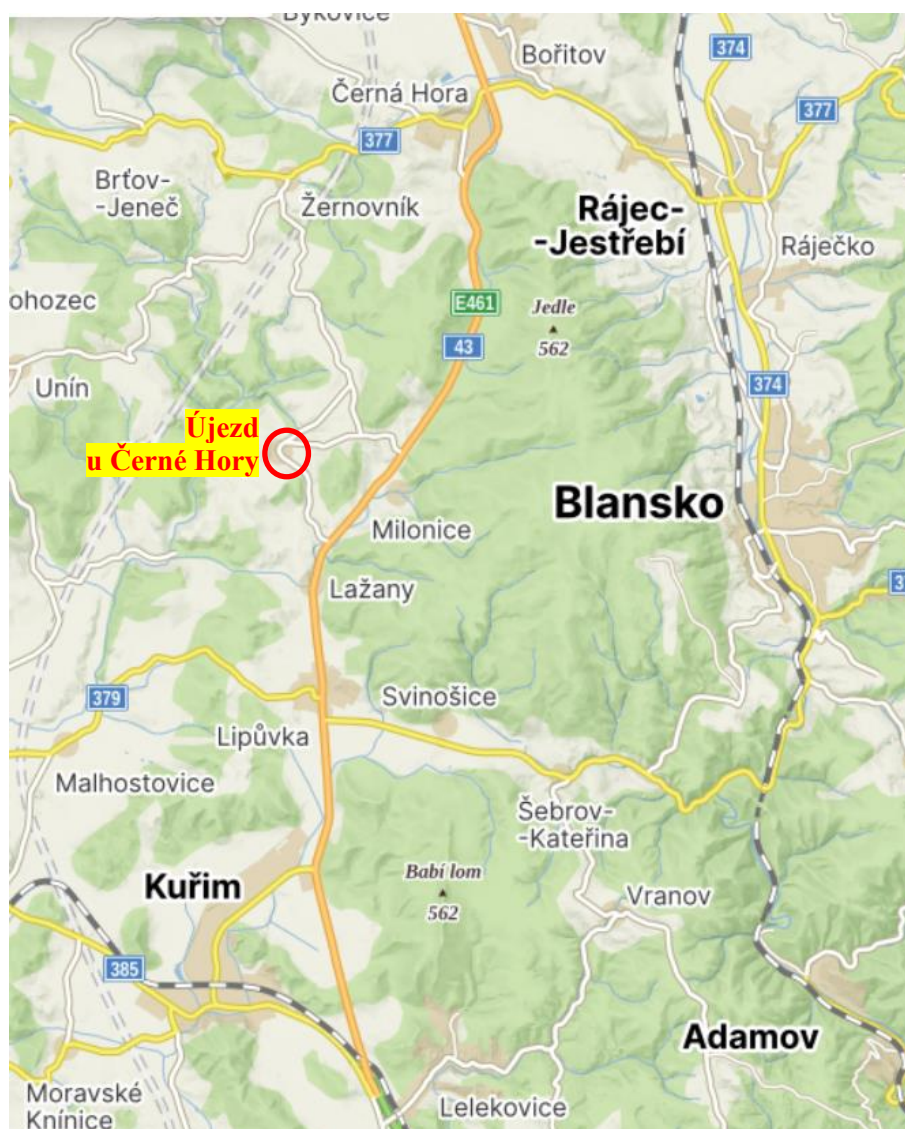
Práci lze rozdělit do tří základních fází: sběr dat geodetickými metodami a jejich zpracování, vytvoření 3D modelu BIM s využitím programu Autodesk Revit a vyhotovení 2D stavební dokumentace dle ČSN 01 3420 *Výkresy pozemních staveb – Kreslení výkresů stavební části*.

Text je rozdělen do jednotlivých kapitol popisujících problematiku této diplomové práce. V teoretické části je charakterizován informační model budovy. V praktické části jsou popsány jednotlivé úkony, které vedly k vytvoření finálního modelu. Je zde popsána problematika sběru dat a jejich zpracování ve vybraných programech a problematika samotného modelování v programu Revit.

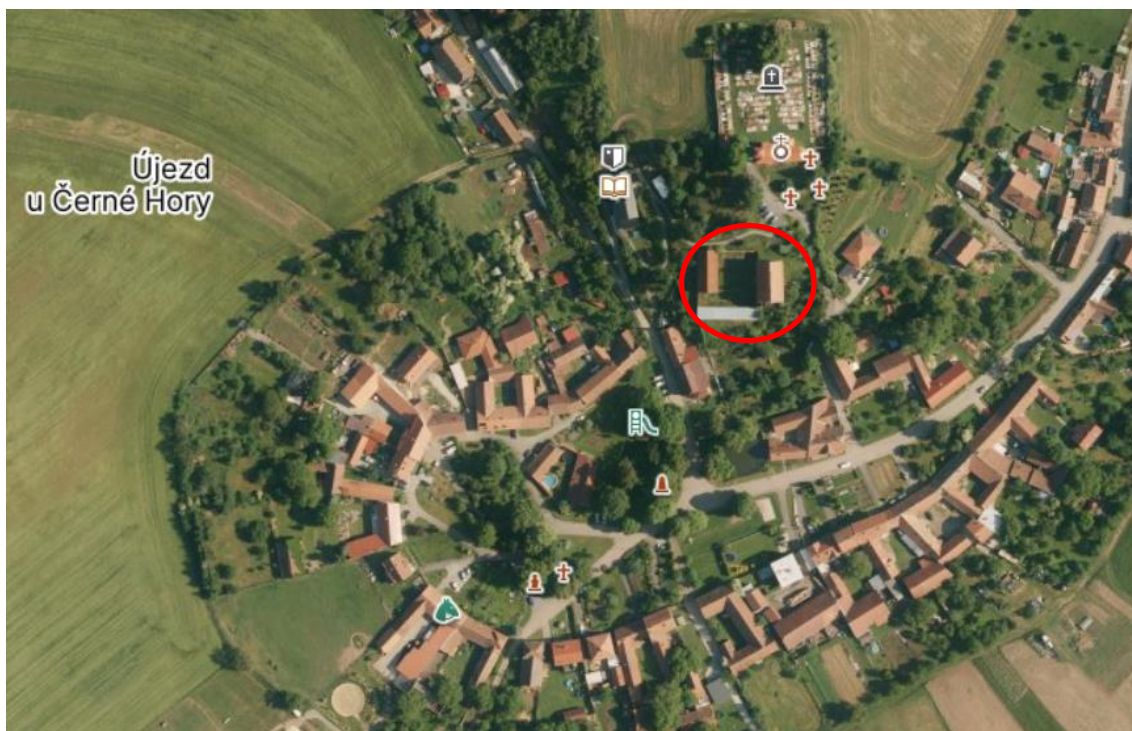
Práce má především ukázat skutečný stav historické budovy přenesený do podoby 3D informačního modelu, který může být využit spolu se stavebními výkresy ke správě budovy i k případným stavebním úpravám. V závěru práce je uvedeno posouzení účelnosti a kvality použitých postupů v kontextu historické stavby.

2 Zájmová lokalita

Fara nalezneme v malé obci Újezd u Černé Hory, která se nachází přibližně 7 km jižně od obce Černá Hora v okrese Blansko v Jihomoravském kraji (Obr. 1). Fara se nachází na vyvýšeném místě v těsné blízkosti kostela Všech svatých (Obr. 2). Ve znaku obce je vzpínající se zlatý kůň na zeleném pozadí. Před 50 lety bylo v obci více než 60 koní, což byl velký počet při osídlenosti cca 350 obyvateli. Celý námět zobrazuje koně jako velkého pomocníka člověka a symbolizuje vytrvalost a nebojácnost. [1]



Obr. 1: Újezd u Černé Hory [zdroj podkladu: mapy.cz]



Obr. 2: Poloha fary v obci Újezd [zdroj podkladu: mapy.cz]

2.1 Historie

Dříve přes obec vedla důležitá Trstenická obchodní stezka z Brna do Prahy. V 18. století byla obec rozdělena do několika panství např. panství blanenské, černohorské nebo boskovické. Část obce patřila křížovnickému řádu na Starém Brně.

Nejstarší písemná zmínka o Újezdu pochází z roku 1308 a je spojována s místním farářem kostela Všech svatých. Součástí kostelního areálu byla také farní budova s přílehlými hospodářskými stavbami. Jedna z nejstarších dohledaných schematických kreseb, kde je zobrazená i fara, je z roku 1727 (Obr. 3). [2]

V roce 1744 kostel s farou a většinou vesnice vyhořel a zůstal po dobu více než deseti let v pustém stavu. K opravě fary došlo až v 19. století. Stavební vývoj fary není doposud dořešen. Jan Knies tvrdí, že starší fara byla pouze dřevěná a v letech 1802 a 1803 byla nahrazena dnešní zděnou. Nelze ale vyloučit, že její sklepy mohou pocházet ze sídla postaveného na samém počátku dějin vesnice. Tuto možnost by mohl potvrdit podrobnější stavebně historický průzkum, založený na kvalitním zaměření budovy fary. V roce 1808 zde dnešní fara již stála, jak potvrzuje plán na přestavbu přílehlého farního

dvora z tohoto roku (Obr. 4). Ten zachycuje kromě nových budov dvora také část objektu stávající farní budovy. Nadzemní zdivo fary pochází z mnohem pozdějších přestaveb a vykazuje jednorázový vznik. [2]

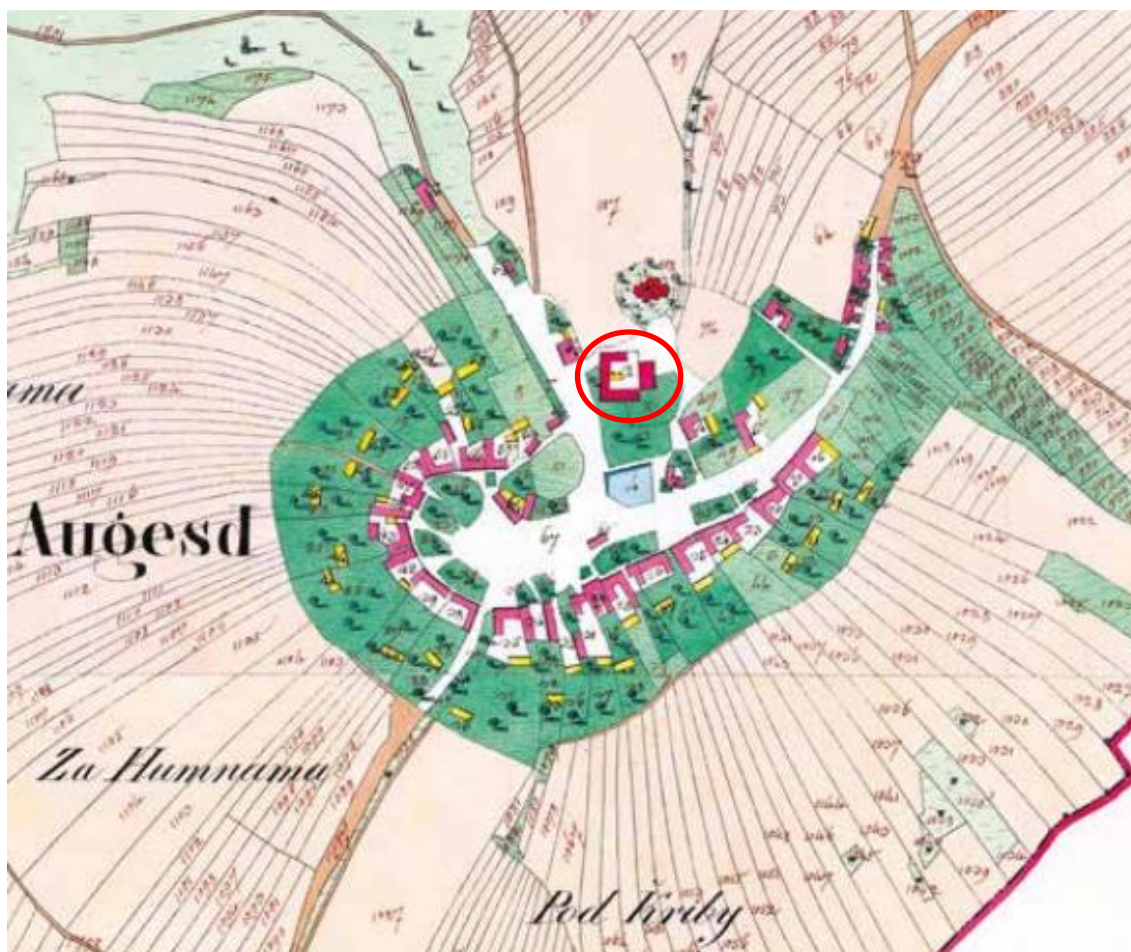


Obr. 3: Schematická kresba z roku 1727 [2]



Obr. 4: Plán na výstavbu farního dvora z roku 1808. Černě je vyznačena budova fary [2]

V mapě stabilního katastru z roku 1826 (Obr. 5) je zobrazeno rozložení obce v podobě obdobné jako v současnosti včetně fary v severní části Újezdu.



Obr. 5: Mapa stabilního katastru z roku 1826 s vyznačením fary [2]

2.2 Popis budovy

Budova je částečně podsklepená s podzemním tunelem vedoucím pod zahradou. Podlahy jsou hliněné nebo dřevěné a stěny jsou z cihel. K domu přiléhá dvůr obehnaný zdmi. Všechny čtyři rohy budovy jsou zaoblené. Okrasné prvky na exteriéru budovy jako je omítka, římsy, ozdobné prvky okolo oken atp. se nedochovaly, podle drobných pozůstatků viz Obr. 6, Obr. 7, Obr. 8 se ale můžeme domnívat, že tu takové prvky dříve mohly být.

Dům má dvě nadzemní podlaží a půdu pod sedlovou střechou. První nadzemní podlaží (1NP) tvoří hlavně místnosti určené pro společné užívání jako je kuchyň, koupelna, záchody, technická místnost a hlavní chodba, která umožňuje vstup do dvora a do podsklepené části. V druhém nadzemním podlaží (2NP) se nachází především

obytné pokoje a jedna technická místnost. V 1NP a nad schody se nachází klenuté stropy. V 2NP jsou stropy rovné s fabiony. Pravoúhlost stěn v domě i obvodových stěn není dodržena, což je vzhledem ke stáří domu pochopitelné.



Obr.6: Pohled na stavbu od kostela [zdroj: vlastní foto]



Obr. 7: Pohled na stavbu ze dvora [zdroj: vlastní foto]



Obr. 8: Pohled na stavbu z východní strany s hlavním vstupem [zdroj: vlastní]

Některé místnosti prošly stavebními úpravami v období, kdy po roce 1990 budovu fary využíval Orel župa Sedlákova jako školící a rekreační centrum. Jedná se především o sociální zařízení v 1NP a příčky v jednom z pokojů ve 2NP (Obr. 9 a Obr. 10).



Obr. 9: Příčky, pohled z pokoje [zdroj: vlastní foto]



Obr. 10: Příčky, pohled z haly [zdroj: vlastní foto]

3 Informační modelování staveb (BIM)

3.1 Historie BIM

První zmínky o BIM sahají až k roku 1975, kdy se v časopise AIA Journal objevil článek popisující pracovní prototyp od amerického profesora Charlese Eastmana. Jedná se o koncept kombinace popisných informací, pohledů a řezů v jednom dokumentu, kde se změna prvku automaticky projeví ve všech výkresech a je zde možnost generování sestav nákladů, materiálových požadavků a dalších funkcí. Tato první koncepce se poměrně dobře převedla do praxe a v dnešní době BIM prochází velkým vývojem. [3]

3.2 Co je to BIM

Informační modelování staveb (Building Information Modeling) je série procesů vedoucích k vytvoření digitálního modelu stavby. Zkratka BIM se začala prvně používat v roce 2002. V poslední době se jedná o velmi diskutovaný pojem jak ve světě, tak v České republice.

Je důležité rozlišovat BIM jako model a BIM jako proces, který využívá databáze BIM modelu za účelem výměny, správy i sdílení informací. BIM model obsahuje nejen geometrické, ale i negeometrické (tedy popisné) informace o objektu. Nechybí zde ani ekonomická data, výměry, jednotkové ceny, provozní náklady nebo harmonogram výstavby. Stále častěji se uplatňuje ve stavebnictví a stává se neoddělitelnou součástí moderní výstavby. BIM se týká především novostaveb, ale setkáváme se s jeho aplikací i při dokumentaci stávajících budov, dopravním, vodním a inženýrském stavitelství. Vede k urychlení a zefektivnění procesů při rekonstrukci a celkové správě objektu. [4]

Informační model stavby reprezentuje fyzický a funkční objekt s jeho charakteristikami. Jedná se o proces vytváření, správy dat a řízení informací o stavbě po celou dobu jejího životního cyklu, od počátku plánování a návrhu stavby, přes její realizaci, provoz až po demolici. Informační model umožňuje snadné a efektivní předávání informací mezi všemi účastníky stavebního procesu. [5]

V BIM filozofii je klíčová spolupráce osob z různých profesí, které přináší do projektu informace, na které se specializují. Investoři, architekti, projektanti, stavební inženýři, oboroví specialisté, geodeti, dodavatelé, správci staveb a další se podílejí na

tvorbě a správě BIM modelu ve všech fázích projektu. Vzhledem k důležitosti jednoduchého a funkčního sdílení informací bylo vytvořeno společné datové prostředí (Common Data Environment – CDE). CDE slouží jako centrální uložště, kde jsou soustředěny všechny informace spojené s projektem, jsou zde zaznamenané všechny provedené změny včetně komentářů od tvůrců a dalších potřebných informací. [6] Toto prostředí zahrnuje 3D model a jeho data, dokumenty, záznam komunikace mezi účastníky projektu a jejich procesy v jednotlivých fázích životního cyklu stavby. Aby byla spolupráce nad daty efektivní je důležitá jeho průběžná a včasná aktualizace, která by měla být provedena v co nejkratší době po změně v realitě. Jednotliví odborníci používají různé programy, ale pro komunikaci mezi BIM aplikacemi používají jednotný výměnný formát pro stavebnictví Industry Foundation Classes (IFC). Tento datový model splňuje technickou normu *ČSN EN ISO 16739*. Rozlišujeme otevřený formát a otevřená data, formát IFC je otevřený textový formát, který umožňuje publikovat otevřená data. [7]

3.3 BIM v ČR

Zavádění BIM souvisí především s legislativními změnami a požadavky v jednotlivých státech. Změnu přinesla *Směrnice 2014/24/EU, o zadávání veřejných zakázek*, která umožnila zadavatelům v celé Evropě požadovat použití BIM. 1. října 2016 vyšel v ČR v platnost *Zákon č. 134/2016 Sb., o zadávání veřejných zakázek*. [4] Ve stejném roce byl vládou ČR schválen dokument *Význam metody BIM pro stavební praxi v České republice* a návrh dalšího postupu pro její zavedení. [8]

Na základě *Usnesení vlády ČR č. 682/2017*, by měli veřejní zadavatelé zadávat a řídit své nadlimitní stavební zakázky (s cenou vyšší než 150 milionů korun) přístupem BIM. Cílem bylo vytvořit jednotné metodické prostředí, pro lepší kompletní předávání informací o veřejných stavbách a z toho plynoucí zjednodušení administrativy, zefektivnění využívání finančních prostředků a jejich optimalizaci. Prostřednictvím České agentury pro standardizaci (ČAS) jsou připravovány metodiky, standardy, návody a doporučení k různým opatřením koncepce. ČAS v roce 2018 spustila portál *KoncepceBIM.cz*, který obsahoval první etapu – pilotní projekty, interaktivní dokumenty a terminologický slovník pro BIM. V roce 2019 ČAS začala využívat formát IFC. V roce 2021 vláda schválila aktualizaci harmonogramu *Koncepce zavádění metody BIM v ČR*, především z důvodu vývoje v oblasti digitalizace stavebního odvětví. Stejného roku byl

vydán materiál *Analýza aktuálního stavu stavební praxe ve veřejné správě*, jako podklad pro *Metodiku informačního modelování staveb pro potřeby veřejných zadavatelů*, který obsahuje standardizované postupy pro přípravu, provádění a provoz stavby. [8] [9]

3.4 Míra podrobnosti a úroveň rozvoje

Level of Development (LOD) definuje obsah a úroveň rozvoje BIM projektu. Umožňuje odborníkům ve stavební praxi specifikovat a jasně naformulovat požadavky grafických a informačních podrobností na informační model stavby. Žádný zákon ani vyhláška nspecifikuje, co mají jednotlivé prvky obsahovat za informace. V každém projektu se může důležitost jistých informací a požadavky na úroveň jejich grafické podrobnosti lišit, proto je nutné tyto informace definovat pro každý prvek. [10]

Míra podrobnosti je jeden z parametrů, který nás u BIM projektů zajímá. LOD se skládá ze dvou složek LOG a LOI, které o modelu poskytují souhrnnou informaci v určitém časovém okamžiku. Level of Geometry (LOG) popisuje vizuální podobu a podrobnost geometrie prvků modelu, Level of Information (LOI) reprezentuje informační negeometrická data připojená k objektům BIM modelu (technická, cenová, časová). Tyto dvě složky určují úroveň detailu a rozvoje BIM modelu v průběhu jeho vývoje, postupně se rozšiřují a obohacují o další informace a detaily. [11] [12]

V rámci LOD rozlišujeme pět základních úrovní [11] (Obr. 11):

- LOD 100 (Symbolické zobrazení) – Základní model zobrazený pouze pomocí schématického zobrazení.
- LOD 200 (Obecný systém) – Obecné modely prvků, které jsou modelovány s přibližným množstvím, velikostí, tvarem, polohou a orientací. Ke geometrickým prvkům mohou být připojeny také negeometrické informace.
- LOD 300 (Specifický systém) – Modelovaný prvek je v modelu graficky znázorněn jako specifický systém, objekt nebo sestava z hlediska množství, velikosti, tvaru, umístění a orientace. Připojeny jsou podrobnější negeometrické informace.
- LOD 400 (Výroba) – Prvky modelu rozšířeny o detailní informace pro jejich výrobu, montáž nebo instalaci a podrobnější negeometrické informace.

- LOD 500 (Skutečné provedení stavby) – Modelovaný prvek je ověřenou reprezentací skutečné realizace. Zobrazuje skutečnou a přesnou velikost, tvar, polohu, množství a orientaci. Ke geometrickým prvkům jsou připojeny definitivní negeometrické informace.



Obr. 11: Úrovně LOD [11]

Těmito úrovněmi LOD je možné vyjádřit detail a obsažené informace BIM modelu v průběhu jeho vývoje od počátečního konceptu až po výslednou stavbu. Z pohledu geodeta není možné zcela vystihnout informační podstatu BIM modelu, jelikož nemáme potřebné nástroje na zjišťování různých materiálů a skladeb stěn či podlah a není to ani naší prioritou. Lze tedy říct, že BIM model vytvořený pouze geodetem spíše odpovídá dřívějšímu dělení pod pojmem Level of Detail, kde se posuzuje míra geometrické a vizuální podobnosti modelu. Díky mezioborové spolupráci by se tento problém mohl vyřešit. [13]

3.5 Heritage BIM

Informační modelování historických budov (HBIM) se zabývá použitím BIM za účelem správy, údržby, rekonstrukce, ochrany, restaurace a konzervace existující historické budovy. U HBIM jde především o přesnost geometrické reprezentace, ale neméně důležitá je znalost materiálového složení různých částí objektu. Z časového a ekonomického hlediska je modelování historických budov velmi náročné z důvodu unikátnosti a stáří prvků, které nejsou obsahem dnes používaných BIM knihoven. Tento problém nám mohou pomoci vyřešit různé aplikace, jako je např. as-built modelování. As-built model je digitální model objektu, který vzniká po dokončení stavby a obsahuje všechny potřebné informace, jako je materiál, umístění prvků atd. [14] [15]

4 Terénní práce

Zahrnují především přípravné a měřické práce. V rámci přípravných prací proběhla rekognoskace, díky ní můžeme odhadnout délku měřických i kancelářských prací, vybrat vhodné přístrojové vybavení a technologie měření. V terénu bylo naplánováno rozmístění bodů pomocné měřické sítě (PMS). Základní kostru PMS tvořily body 4001 až 4003. Síť byla dále doplněna body 4004 až 4008. Dále bylo naplánováno rozmístění vlíčovacích a kontrolních bodů pro 3D laserové skenování.

V okolí zájmové lokality se nenachází žádný bod výškového bodového pole. Polohové i výškové připojení do závazných geodetických referenčních systémů bylo zajištěno pomocí technologie GNSS.

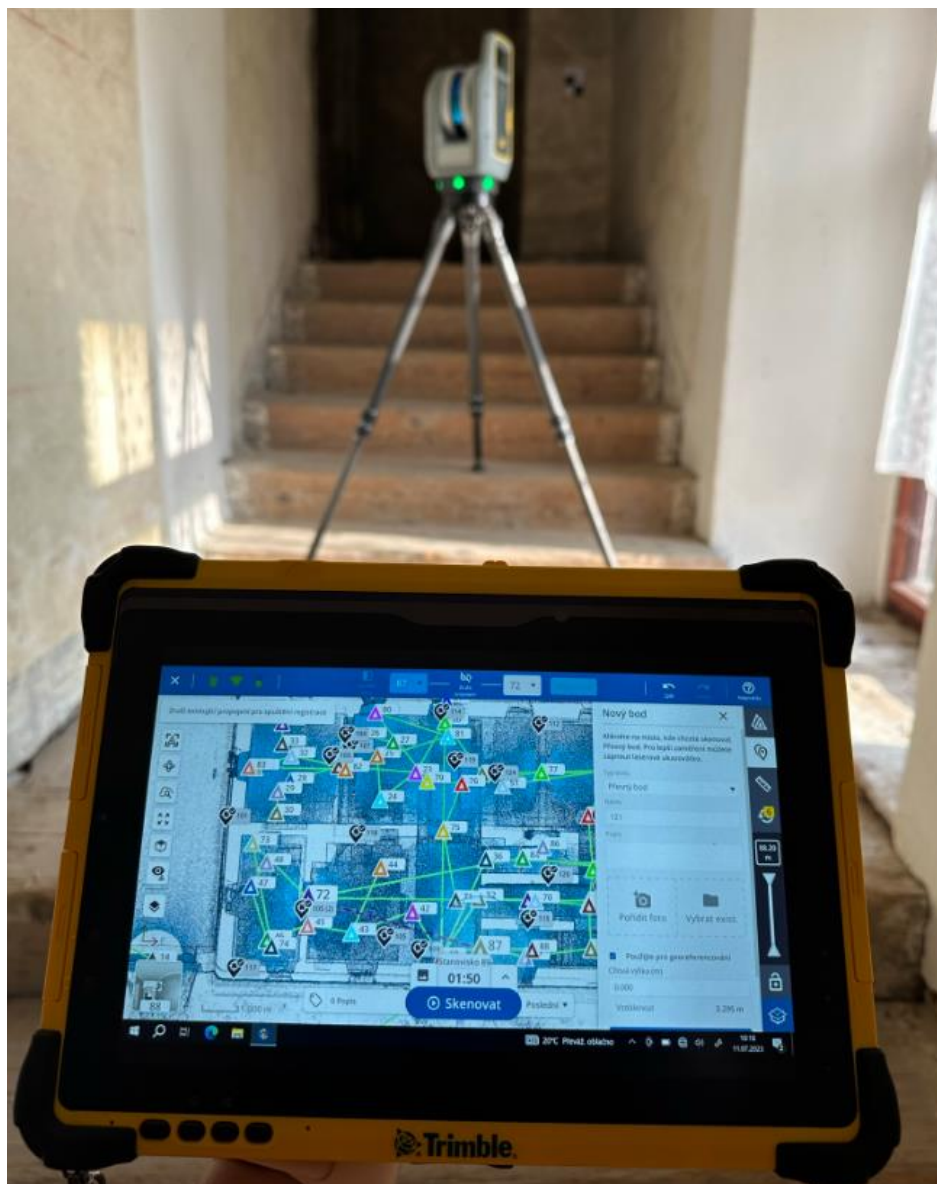
Měřické práce probíhaly od 10. do 12. července 2023 a zabraly přibližně 30 hodin. K určení souřadnic a výšek vlíčovacích a kontrolních bodů byla použita prostorová polární metoda z bodů PMS. Nakonec byl objekt naskenován pomocí terestrického laserového skeneru uvnitř i vně objektu. Kontrolní oměrné míry byly doměřeny dne 24. dubna 2024. Jejich rozmístění bylo voleno rovnoměrně po celém interiéru. Jelikož je budova nepravidelná byl veden pečlivý náčrt, aby bylo zajištěno změření délky na totožném místě ve skutečnosti, v modelu i v mračnu bodů. Terénní práce byly vykonány ve spolupráci s Bc. Igorem Kováčem.

4.1 Měřické vybavení

Pro námi realizované geodetické činnosti bylo využito následujících přístrojů. Jednalo se o GNSS aparaturu Trimble R8 a totální stanici Trimble S8, které byly vypůjčeny z majetku Ústavu geodézie FAST VUT. Dále byl využit 3D laserový skener Trimble X9, zapůjčený od firmy GEOTRONICS Praha, s.r.o.

4.1.1 Terestrický laserový skener Trimble X9

Terestrický laserový skener Trimble X9 (Obr. 12) je používán v sestavě s tabletem Trimble T10. Tato přístrojová sestava byla vybrána z důvodu vyzkoušení moderních technologií, které dnešní trh nabízí.



Obr. 12: Skener Trimble X9 s tabletem [zdroj: vlastní foto]

Tablet disponuje softwarem Trimble Perspective, který umožňuje automatickou registraci dat v terénu, vkládání anotací, měření vzdáleností v mračnu bodů a také georeferencování. Na Obr. 12 jsou na obrazovce tabletu zobrazeny automaticky spojené skeny, kde barevné trojúhelníky označují stanoviška skeneru a zelené spojnice znázorňují jejich propojení pomocí IMU. Černé terčičky znázorňují zaměřené kontrolní

body. Spojení tablet-skener fungovalo bez problému a data byla přenášena přes Wi-Fi velmi rychle. V Tab. 1 jsou uvedeny základní parametry skeneru. [16]

Tab. 1: Parametry skeneru Trimble X9 [16]

Výkonnost skeneru	
Vlnová délka laserového paprsku	1530-1570 nm (neviditelné)
Zorné pole	360° x 282°
Rychlost skenování	Až 1000 kHz
Princip měření vzdálenosti	Vysokorychlostní, digitální měření délek
Šum	< 1,5 mm na 30 m
Dosah	0,6 m-150 m
Délková přesnost	2 mm
Úhlová přesnost	< 16"
3D přesnost bodu	2,3 mm na 10 m; 3,0 mm na 20 m; 4,8 mm na 40 m
Rozlišení kamery	3840 x 2746 pixelů na každý snímek
Obecné specifikace	
Váha včetně baterie	6,045 kg
Rozměry	178 mm (Š) x 353 mm (V) x 170 mm (H)
Běžná výdrž	3,5 hodin na baterii
Provozní teplota	-20 °C až +50 °C

Skener má 3 koaxiální 10 Mpix kamery, které mohou snímat rychlostí 15 snímků za minutu (158 MP) / s HDR za 3 minuty. V kvalitnější módě může snímat 30 snímků za 2 minuty (316 MP) / s HDR za 6 minut. Automatický kompenzátor má rozsah $\pm 10^\circ$ s přesností urovnání $< 3'' = 0,3$ mm na 20 m. Pokud je skener urovnán svítí zelená dioda (Obr. 13), pokud je příliš nakloněný svítí červená dioda. [16]



Obr. 13: Zeleně svítící skener připravený na spuštění skenování [zdroj: vlastní foto]

Software koriguje odchylky horizontální, vertikální a záměrné osy, počítá s různou odrazivostí povrchů, jejich vzdáleností a dokáže optimalizovat výkon i podle atmosférických či světelných podmínek. Díky automatické kalibraci je přesnost skeneru neměnná. Ta by měla být provedena každých 15 skenů, nebo při výraznější změně teplot. Skener má velmi vysokou citlivost na různá odrazivá místa, je schopen ve standardním režimu se zachováním stejného času i stejné hustoty bodů kvalitně naskenovat místa s vysokou odrazivostí. [16]

Před začátkem skenování se v tabletu založí projekt. Vybíráme si z různých nastavení profilů skenování, které lze měnit před každým skenem. Po dokončení skenu probíhá přenos dat do tabletu pomocí Wi-Fi a automatická registrace k vybranému skenu. Automatická registrace zaručuje odchod z terénu s kvalitními daty, která vizuálně kontrolujeme v průběhu skenování. Software nabízí náhled na data jako mračno bodů ve 3D pohledu nebo pohledem ze stanoviska. Můžeme také kontrolovat, jaká místa nebyla

naskenována a případně je doskenovat vybráním konkrétní oblasti, nemusíme nechávat skenovat opět celé stanovisko. Při selhání automatické registrace lze vybrat referenční sken a ručně ho posunout a pootočit, případně skeny připojit k sobě pomocí shodnostní transformace přes místa dobře viditelná na obou skenech. Po registraci se zobrazí průměrná chyba a spolehlivost registrace vyjádřená procenty. [16]

Skener umožňuje měření vřícovacích a kontrolních bodů, před měřením je vhodné provést kalibraci. Měření bodů probíhá ve 2 polohách a je vhodné v momentě, kdy z mračna bodů nemusí být dobře rozpoznatelné dané body. Přímo v terénu můžeme po ukončení skenování upřesnit registraci a tím spojit všechny skeny se všemi a vyrovnat je do jednoho celku. Georeferencování můžeme také provést přímo v terénu, nahrajeme do tabletu souřadnice bodů v geodetickém systému a provedeme georeferencování. Exportovat data z tabletu můžeme do formátu *.tdx pro další zpracování v Trimble softwarech, případně *.e57 nebo *.rcp vhodné pro import do programů Revit, Recap atd. [16]

4.2 Pomocná měřická síť

Základní kostra pomocné měřické sítě byla vybudována okolo budovy pomocí technologie GNSS metodou RTK s korekčními daty ze sítě permanentních stanic Trimble VRS Now. Jednalo se o body 4001 až 4003, které byly určeny dvakrát nezávisle s odstupem minimálně jedné hodiny, jak stanovuje *Vyhláška č. 31/1995 Sb.* Protokol z určení bodů technologií GNSS je obsahem přílohy č. 5.3.1. Pomocná měřická síť byla doplněna terestricky o body 4004 až 4008, které se nacházely uvnitř budovy. Body byly dočasně stabilizovány kolíkem nebo nastřelovacím hřebem či barvou uvnitř objektu. Celá pomocná měřická síť byla navržena tak, aby z každého stanoviska bylo možné orientovat na minimálně dva známé body.

4.3 Zaměření vřícovacích a kontrolních bodů

Z bodů pomocné měřické sítě byly zaměřeny vřícovací body (VB) a kontrolní body (KB) pomocí prostorové polární metody (Obr. 14). Celkem bylo rovnoměrně rozmístěno a následně zaměřeno 26 bodů uvnitř i zvenčí objektu. Na půdě se vřícovací body nenacházely kvůli nehospodárnosti a obtížnému určení. Signalizace bodů byla provedena pomocí černobílých šachovnicových terčů nalepených na stěny pomocí pásky

(Obr. 15). Je důležité, aby byly terče z neodrazného materiálu, aby se neleskly a neodrážely tak světlo při skenování. Terče zajišťují jednoznačnou a automatickou identifikaci VB a KB na skenech. Tyto body jsou především určeny pro transformaci mračna bodů do systému JTSK a výškového systému Bpv. Body mohou být v případě selhání automatického spojení cloud-to-cloud použity také při vzájemném spojování jednotlivých skenů, tedy jako navazovací body. Šachovnicové terče mohou být použity i v případě navazovacích bodů, které slouží při registraci pro spojení více skenů do jednoho celku. Jako body navazovací můžeme použít i zřetelné přirozeně signalizované body na objektu.



Obr. 14: Zaměření VB v terénu pomocí totální stanice Trimble S8 [zdroj: vlastní foto]



Obr. 15: Vlíčovací bod signalizovaný šachovnicovým terčem [zdroj: vlastní foto]

4.4 Laserové skenování

Technologie laserového skenování byla vyvinuta koncem 20. století a s postupem času našla uplatnění v mnoha různých oborech. V dnešní době patří laserové skenování mezi nejefektivnější metody sběru velkého počtu bodů v relativně pravidelném rastru za relativně krátkou dobu. Přesnost dat klesá se vzdáleností od skeneru. [17]

4.4.1 Princip a přínos

Principem laserového skenování je bezkontaktní určování prostorových souřadnic. Z geodetického hlediska se jedná o prostorovou polární metodu.

Laserový paprsek je rozmítán pomocí rotujícího zrcadla nebo rotujícího hranolu. Hranol má tvar pravidelného n -úhelníku a je s ním možné dosáhnout vyšší rychlosti pohybu svazku paprsků. Zrcadlem je paprsek rozmítán v jedné rovině, dvěma zrcadly lze svazek vychylovat ve dvou směrech. V případě námi použitého laserového skeneru Trimble X9 se jedná o variantu se dvěma zrcadli. Dalšími způsoby je rozmítání svazku paprsků pomocí optických vláken nebo pomocí statického optického elementu, zde je uplatněno využití rotace zdroje záření ve dvou osách.

Měření délek funguje na principu pulsního dálkoměru nebo na principu měření fázového rozdílu. Pulzní dálkoměr funguje na základě měření tranzitního času mezi vyslaným a přijatým elektromagnetickým impulsem, kdy impuls urazí dvojnásobek měřené délky. Tranzitní čas je nutno měřit s vysokou přesností. Na tomto způsobu funguje i námi použitý laserový skener Trimble X9. Fázový dálkoměr funguje na základě měření fázového rozdílu mezi vysílaným a přijímaným signálem. [18]

Díky laserovému skenování můžeme získat relativně rychle bodové mračno s vysokou hustotou a přesností. Dokážeme zaznamenat detailní informace i o nepravidelných objektech. Metoda laserového skenování je bezkontaktní, což umožňuje zaměřit i těžko přístupná místa při jakýchkoliv světelných podmínkách. Krátký čas skenování na jednom stanovisku umožňuje práci za provozu nebo s minimální odstávkou. Měření má vysokou spolehlivost výsledků také díky eliminaci nepřesného měření způsobené měřičem. Při identifikaci a aproximaci hran a ploch může ovšem šum a falešné odrazy způsobit potíže. Hlavní nevýhodou laserového skenování je náročnost na hardwarové a softwarové vybavení a také časová náročnost při zpracování velkého množství dat.

Technologii laserového skenování lze využít nejen ve stavebnictví, ale také v dalších oborech jako jsou kriminalistika, doprava a lékařství.

Ve stavebnictví a inženýrské geodézii slouží pro vyhotovování digitálních modelů terénu, 3D modelů objektů, k výpočtu kubatur, dokumentaci skutečného stavu budov či přehradních hrází. Metoda laserového skenování velmi ulehčila tvorbu těchto výstupů.

V průmyslu a strojírenství se tato metoda využívá k detailnímu zaměření různých součástí nebo pro zaměřování složitých technologických celků a konstrukcí, jako jsou objekty s potrubními systémy a dalšími zařízeními. Mohou sem patřit podniky jako jsou ocelárny, tepelné a jaderné elektrárny či plošiny ropných vrtných věží.

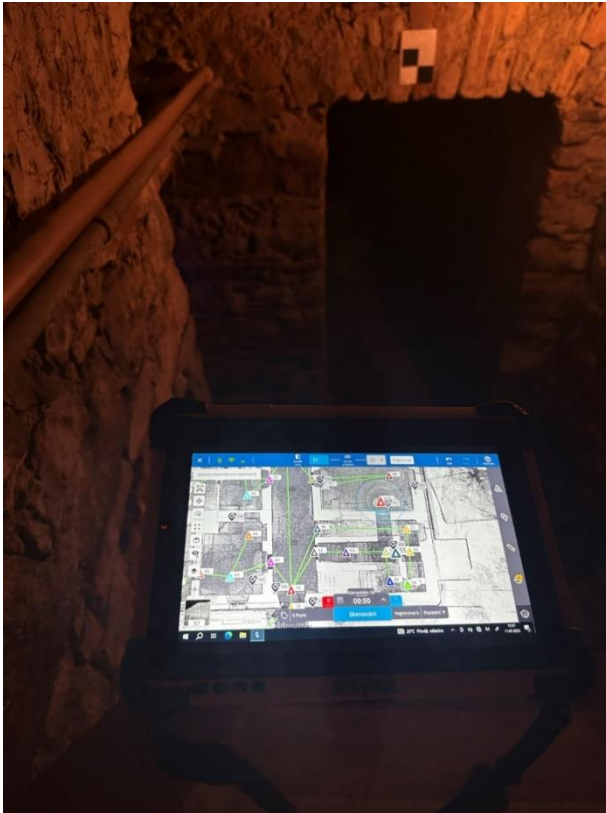
Laserové skenování lze použít také v dopravním stavitelství při výstavbě a rekonstrukcích silnic, dálnic, tunelů, železnic i mostů. Jedná se např. o využití při tvoření modelu pro projektovou dokumentaci, pro výkopové práce a výpočet kubatur, při dokumentaci průběžné a výsledné stavby.

Další využití laserových systémů může být v podzemním stavitelství, ať už se jedná např. o využití při ražbě tunelů a její dokumentaci kubatur, pro dokumentaci ostění, z kterých se následně vypočítává skutečná tloušťka ostění či dokumentaci krasových útvarů.

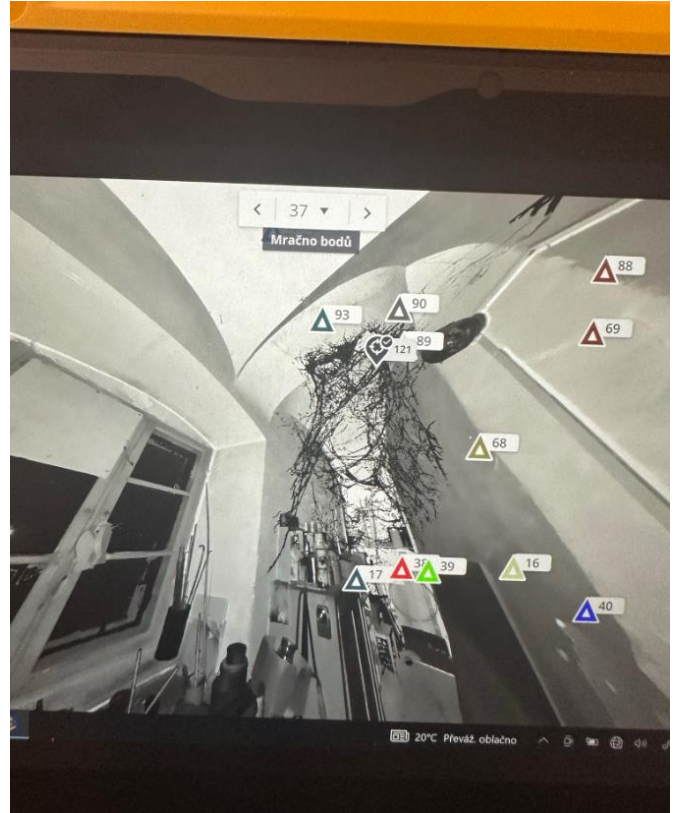
V dnešní době se laserové skenování často využívá pro dokumentaci historických objektů, kdy je velkým přínosem podrobné zdokumentování vzhledu složitějších fasád a jejich interiérů či jako podklad pro případnou rekonstrukci objektu. [18]

4.4.2 Sběr dat pomocí laserového skenování

Jedná se o neselektivní sběr prostorových dat, kdy je získáváno relativně rychle velké množství kvalitních dat a výsledkem je mračno bodů. [19] Pro skener není překážkou špatné osvětlení (Obr. 16), dokáže naskenovat i okem stěží viditelné prvky jako jsou např. pavučiny, jak můžeme vidět na Obr. 17.



Obr. 16: Obrazovka tabletu v průběhu skenování
[zdroj: vlastní foto]



Obr. 17: Sken s pavučinami [zdroj: vlastní foto]

Skenování probíhalo v interiéru i exteriéru. Propojení skenů na různých podlažích a v interiéru a exteriéru byla provedena přes schody, otevřená dveře či okna, spolehlivé napojení jednotlivých skenů docílíme dostatečně velkým překrytím jednotlivých skenů. Skener je postaven na karbonovém stativu s teleskopickými nohama. Zpravidla ho stavíme přímo do dveří a poté doprostřed místnosti, zároveň v blízké vzdálenosti k předchozímu postavení. Před spuštěním skeneru pomocí tabletu, jsme se snažili dostat z jeho dosahu, nejlépe za nějakou překážku, aby nedocházelo ke zkreslení obarvení mračna a zakrytí důležitých prvků. Skener Trimble X9 je schopen skenovat téměř 360°, není schopen naskenovat místo pod sebou a objekty bližší než 50 cm. V terénu jsme si mohli pomocí tabletu kontrolovat automatické napojování skenů, případně korigovat, na který sken se má nový sken napojit. Problém s automatickým napojením, který tablet ihned hlásil, nastal v podzemním tunelu a v zahradě. Při této situaci jsme na sebe skeny manuálně připojili pomocí jednoznačně identifikovatelných bodů, které se ideálně nenacházeli v těsné blízkosti, aby bylo napojení spolehlivější. Pomocí manuálního zacílení na tabletu jsme skenerem zaměřili vlíčovací a kontrolní body, což šetří práci

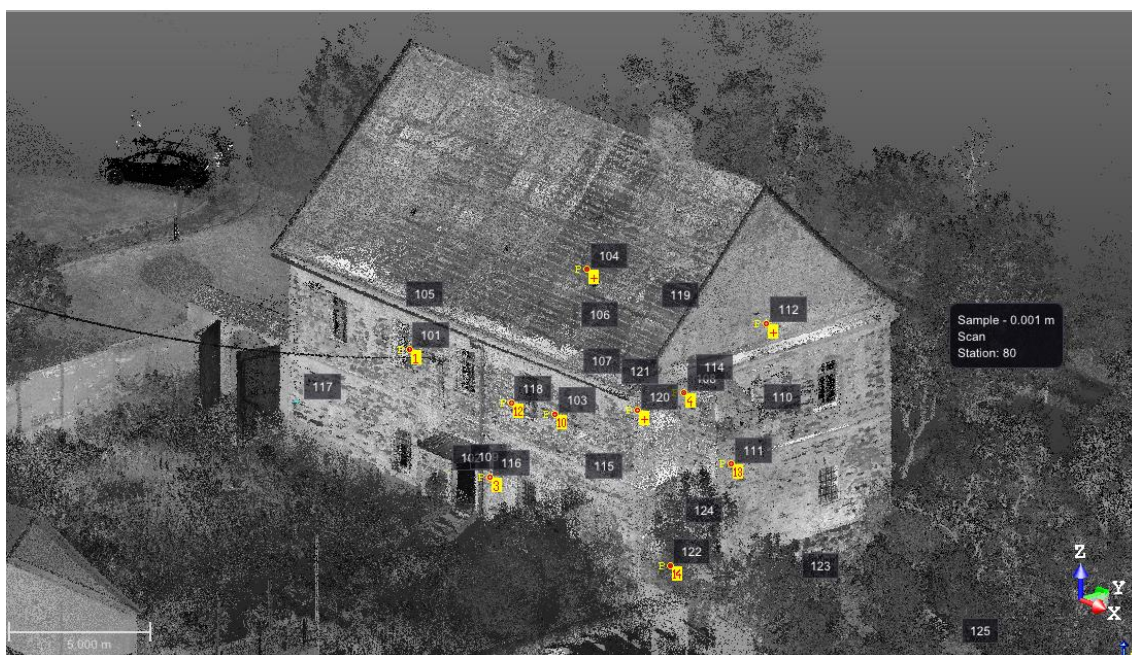
v kanceláři. V terénu je však nutné kontrolovat správné pojmenování bodů, aby si odpovídaly korektní body a nedocházelo k chybám, které by komplikovaly zpracování v kanceláři.

Následně v kanceláři došlo ke spojení jednotlivých skenů, zpřesnění projektu a exportu obarveného mračka do formátu *.tdx. Georeferencování jsme prováděli v kanceláři v programu Trimble RealWorks. Pro naskenování celé fary bylo realizováno 100 stanovišek.

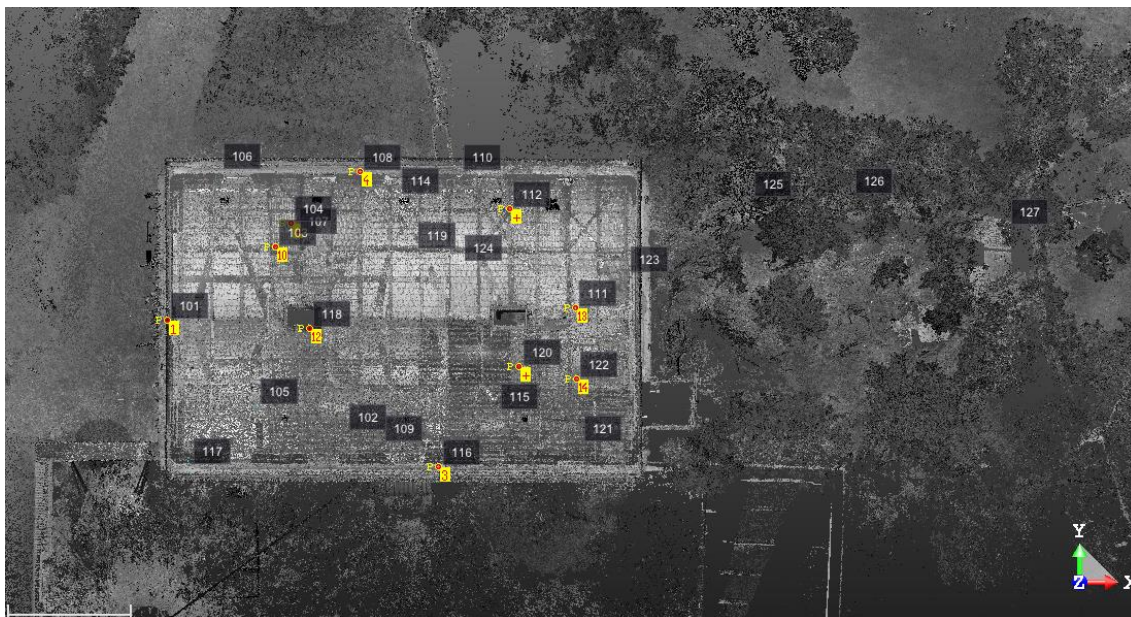
4.4.3 Vlícovací body

Vlícovací body se využívají především pro georeferencování neboli transformaci mračka bodů do závazných geodetických systémů (S-JTSK a Bpv). Zaměření vlícovacích bodů bylo provedeno z bodů pomocné měřické sítě nezávislých na stanovišcích skenování klasickými geodetickými metodami.

Měly by být použity cíle s nereflexním povrchem. Je důležité, aby identické body byly rovnoměrně rozmístěné. Rozmístění vlícovacích bodů je ukázáno ze dvou pohledů na Obr. 18 a Obr. 19 níže.



Obr. 18: Rozmístění vlícovacích bodů, pohled z jihovýchodu [zdroj: vlastní]



Obr. 19: Rozmístění vřícovacích bodů, pohled shora [zdroj: vlastní]

5 Zpracování dat

5.1 Zpracování klasického geodetického měření

Souřadnice bodů, které byly určeny technologií GNSS dvakrát s odstupem minimálně jedné hodiny, byly zprůměrovány. Data naměřená totální stanicí byla exportována do formátu zápisníku MAPA2, pro další práci v softwaru Groma. V tomto softwaru byly provedeny veškeré výpočetní úlohy jako je zpracování zápisníku, výpočet přibližných souřadnic, vyrovnání sítě a následný výpočet souřadnic bodů po vyrovnání sítě. Veškeré výpočty byly uloženy do protokolu a jsou společně s výslednými souřadnicemi bodů součástí přílohy číslo 5.3.2 a 5.4 této práce.

V terénu byly zaměřeny body 4001 až 4008. Jejich výsledné souřadnice byly určeny vyrovnáním pomocí softwaru Groma metodou nejmenších čtverců. Polohová i výšková složka sítě byla vyrovnána jako volná. Aposteriorní střední jednotková chyba vyrovnání je 1,14 mm. Vyrovnáním sítě bylo dosaženo průměrné střední chyby vyrovnané délky 1,7 mm, vyrovnaných směrů 34^{cc} a střední souřadnicové chyby 0,8 mm. Opravy výšek bodů sítě se pohybovaly v rozmezí od - 47,74 do 3,48 mm.

5.2 Zpracování mračna bodů

5.2.1 Trimble RealWorks

Software Trimble RealWorks poskytuje kompletní řešení pro registraci, georeferencování, analýzu, modelování a vytváření mračen bodů. Dalšími možnostmi softwaru jsou tvorba drátěných modelů, porovnání objektu se skutečným stavem, zpracování 2D výkresů fasád, vytváření vrstevnic, profilů, výpočty kubatur, export do Google Earth nebo vytváření videoprůletu objektem. Další užitečnou funkcí tohoto software je nástroj *Publish*, díky které můžeme vytvořit virtuální prohlídku s koncovkou *.exe, která umožňuje komukoliv prohlížet všechny skeny v internetovém prohlížeči, bez nutnosti vlastnit software Trimble RealWorks. [20]

Trimble RealWorks má dva pracovní módy – *Registration* a *Production*, import dat, vytvoření mračna bodů a georeferencování probíhá v módu *Registration* a zbylé práce v módu *Production*. [21]

5.2.2 Import dat

Import se provádí přes příkaz *Import* a při tom se vytvoří nový projekt. Před importem nám program nabídne změnu nastavení importovaných dat. Každé stanovisko software načte jako jednu složku. Každá složka obsahuje náhled skenu a my z nich musíme vytvořit mračno bodů, spuštěním funkce *Create Sampled Scans* na záložce *Home*. Můžeme tuto funkci použít na celý projekt po jeho označení nebo označit konkrétní skeny.

V této fázi si musíme zvolit mezi třemi možnostmi zředění bodů. *Sampling by Step*, *Spatial Sampling* a *Spatial Sampling (Keep Details)*. *Sampling by step*, zde volíme vzdálenost mezi pixely. *Spatial Sampling*, zde volíme vzdálenost mezi body. *Spatial Sampling (Keep Details)* spočívá v detekci hran, přičemž v jejich okolí ponechává větší rozlišení, určíme vzdálenost mezi body na rovných plochách. V mém případě byla použita možnost *Spatial Sampling* s hodnotou 1 mm.

Dále zde můžeme filtrovat body do určité vzdálenosti od stanoviska nebo filtrovat body v určité zóně. Zředění bodů lze provést i později, ale je vhodné ho provést v této fázi pro ušetření paměti a zrychlení práce s mračnem. [21]

5.2.3 Registrace

Pod pojmem registrace rozumíme spojování jednotlivých skenů do jednoho mračna bodů. Software nabízí 4 možnosti registrace. Automatickou přes navazovací body, automatickou přes společné plochy, manuální přes navazovací body a manuální mračno na mračno.

V mém případě byla zvolena metoda automatická cloud to cloud přes společné plochy, ta správně pospojovala skeny z interiéru a exteriéru, ale spojení těchto dvou skupin nebylo vyřešeno korektně. Manuální registrace mračno na mračno byla použita ke spojení skenů z interiéru a exteriéru. Tato metoda spočívá ve zvolení referenčního mračna a mračna se kterým budeme pohybovat. Byla využita funkce propojení mračna bodů díky dostačujícím překrytům, transformace byla vylepšena po zmáčknutí tlačítka *Refine* a potvrzena tlačítkem *Apply*. [21] Interiér byl zvolen jako referenční mračno, které nebude měnit svou polohu a exteriér jsme registrovali na toto mračno. Registrace byla prováděna nástrojem automatického odhadu, ten můžeme použít za předpokladu přibližného relativního výškového umístění skenů a dostatku jednoznačných ploch pro

napojení. [22] Pomocí tlačítka *Refine* program vyhodnotí umístění mračna na referenční mračno a pokud je spojení korektní můžeme mračna spojit pomocí tlačítka *Merge with reference*. Při této metodě bylo v budově dosaženo celkové směrodatné odchylky registrace 2 mm. Následně byly tyto skupiny spojeny manuálně mračno na mračno. Při tomto postupu bylo dosaženo celkové směrodatné odchylky registrace 3 mm. Tyto protokoly byly exportovány a jsou součástí přílohy č. 7.5 této práce.

5.2.4 Georeferencování

Když máme všechny skeny pospojované do jednoho mračna následuje jeho umístění do souřadnicového a výškového systému, v našem případě do S-JTSK a Bpv, pomocí prostorové transformace, jejíž parametry jsou určeny metodou nejmenších čtverců. Georeferencováním tedy rozumíme prostorovou transformaci dat. K tomu jsou potřeba minimálně tři vlíčovací body, jejichž souřadnice byly určeny geodeticky pomocí totální stanice, rozmístěné rovnoměrně po celé skenované oblasti.

V záložce *Registration – Home* vybereme možnost *Import – Open* a načteme seznam souřadnic vlíčovacích bodů upravený následovně *číslo bodu, -Y, -X, H*. V ideálním případě by mělo číslo bodu odpovídat číslu označeného vlíčovacího bodu, pokud neodpovídá, je možné jej ručně spojit s daným bodem (klikneme pravým tlačítkem na daný bod, vybereme možnost *Match with* a zvolíme číslo bodu). V softwaru zvolíme odpovídající formát souboru (typ souřadnic X, Y, Z) a jednotky souřadnic. V okně ve spodní části zkontrolujeme správné oddělení souřadnic a potvrdíme tlačítkem OK. Označíme celý projekt a zvolíme funkci *Georeferencing* na záložce *Registration*. Máme dvě možnosti georeferencování, pomocí šachovnicových terčů nebo pomocí jakéhokoliv zaměřeného bodu. Jelikož byly v našem případě použity šachovnicové terče, vybereme v seznamu název terče, klikneme na tlačítko *By Target* a z načteného seznamu souřadnic vybereme odpovídající souřadnice. Postupně tímto způsobem přidáme všechny vlíčovací body. V tabulce se zobrazí odchylky pro každý bod. Ten můžeme v případě neodpovídající přesnosti z výpočtu odstranit odškrtnutím check boxu. Když jsme spokojeni s počtem bodů i odchylkami provedeme transformaci pomocí tlačítka *Apply*. [24]

Pro umístění mračna do systémů S-JTSK a Bpv bylo použito 10 vřícovacích bodů a výsledná průměrná odchylka navřícování byla 4 mm (Obr. 20), což je vyhovující výsledek.

Name1	Name2	Error	Name1	Name2	Error	Name1	Name2	Error
<input checked="" type="checkbox"/> 101	101	0.021 m	<input checked="" type="checkbox"/> 104	104	0.006 m	<input checked="" type="checkbox"/> 103	103	0.003 m
<input type="checkbox"/> 117	117		<input type="checkbox"/> 105	105		<input type="checkbox"/> 102	102	
<input checked="" type="checkbox"/> 116	116	0.013 m	<input checked="" type="checkbox"/> 120	121	0.009 m	<input checked="" type="checkbox"/> 118	118	0.006 m
<input checked="" type="checkbox"/> 108	108	0.017 m	<input type="checkbox"/> 119	119		<input checked="" type="checkbox"/> 111	111	0.010 m
<input type="checkbox"/> 109	109		<input checked="" type="checkbox"/> 112	112	0.007 m	<input checked="" type="checkbox"/> 122	122	0.006 m
Average Error: 3.698 mm			Average Error: 3.698 mm			Average Error: 3.698 mm		

Obr. 20: Celková průměrná odchylka na vřícovacích bodech (Average Error) a odchylky na jednotlivých vřícovacích bodech (Error) [zdroj: vlastní]

5.2.5 Ořezání, zředění mračna bodů

Ořezání mračna bodů se provádí pro zmenšení objemu dat a pro lepší orientaci a práci s mračnem. V pracovním toku *Production*, v záložce *Edit* nalezneme funkci *Segmentation*, pomocí které se zředění a ořezání mračna bodů provádí. Zde si vybereme způsob označení oblasti (polygonální výběr, výběr obdélníkem či kruhem). Po výběru oblasti zvolíme, jestli chceme zachovat oblast uvnitř či vně. Po ořezání mračna do požadované podoby, a potvrzením pomocí tlačítka *Create*, se mračno bodů rozdělí na mračno s nežádoucími objekty a s žádoucími objekty. Funkci ukončíme tlačítkem *Close* a vymažeme tím nežádoucí objekty. Zájmová oblast byla exportována do formátu *.e57 a *.rcp.

Dále byla použita funkce *Sampling* na záložce *Edit* pro zředění mračna bodů na vzdálenost 0,005 m. Pro naši následující práci postačí vzdálenost mezi body 5 mm. Miliarda bodů se zredukovala přibližně na 1,75 milionů bodů.

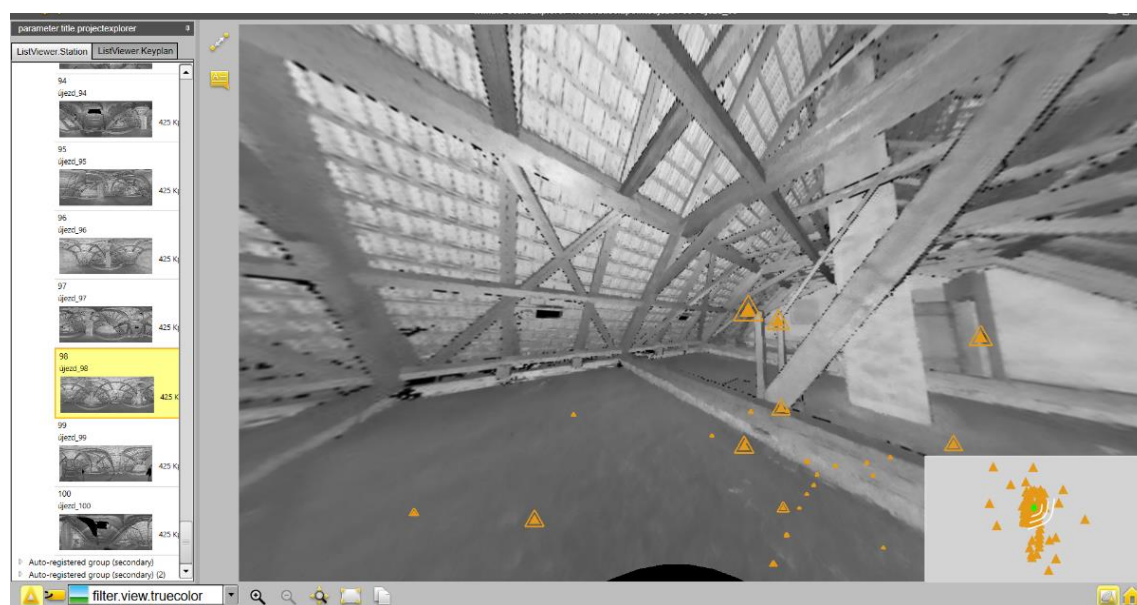
5.2.6 Průzkumný prohlížeč skenů

Pro lepší orientaci v mračnu bodů byla vyexportována prohlídka (Trimble Scan Explorer Viewer) z Trimble RealWorks pomocí nástroje *Publish*. Vytvořená prohlídka je v podobě aplikace *.exe, kterou lze spustit v prohlížeči bez potřeby speciálního softwaru. Prohlížečka umožňuje prohlížet panoramatické snímky pořízené skenerem. Jelikož jsou pod panoramatickými snímky uchována data z mračna bodů, můžeme v prohlídce měřit vzdálenosti (Obr. 21) nebo určovat souřadnice vybraných bodů. Prohlídkou lze procházet

po jednotlivých skenech označených oranžovými trojúhelníky, případně si v levém panelu vybrat určitý sken podle náhledu. Na orientaci v prohlídce můžeme použít i mapku v pravém dolním rohu, její používání ale není tolik přehledné. Máme čtyři možnosti zobrazení, *True Color*, což bylo používáno nejčastěji, *Gray Scaled Intensity* bylo používáno v případech silné intenzity světla ve snímcích, *Highlight Unmeasured Points* a *Color Coded Intensity*. Osobně jsem prohlídku využívala při tvorbě modelu, kdy z mračka bodů nebyly zřetelně jasné určité části modelovaných objektů (Obr. 22) nebo pro zjišťování materiálů povrchových úprav. Po dohodě se správcem objektu není prohlídka přílohou této práce.



Obr. 21: Měření vzdáleností ve vytvořené prohlídce [zdroj: vlastní]



Obr. 22: Půda ve vytvořené prohlídce, neobarvené skeny [zdroj: vlastní]

6 Tvorba 3D modelu v programu Revit

Pro tvorbu 3D modelu byl využit program Autodesk Revit 2021. Autodesk Revit je BIM software pro návrh, konstrukci a správu staveb. Uživatelům umožňuje vytvářet a upravovat modely budov, v nichž jsou propojeny informace o konstrukcích, materiálech, rozměrech. [23]

Podkladem pro modelování bylo georeferencované mračno bodů ve formátu *.rcp. Výhodou vstupního souboru jako mračna bodů je zachycení všemožných detailů, nepravidelností a tvarově složitých prvků budovy. Abychom mohli s Bc. Igorem Kováčem na našich diplomových pracích pracovat současně, bylo nutné vytvořit sdílení práce. To zahrnuje vytvoření centrálního modelu z existujícího modelu. Po otevření souboru se vytvoří nová místní kopie na vlastním počítači, ve které se provádějí místní úpravy. Po dokončení úprav uložíme soubor a provedené změny synchronizujeme do sdíleného projektu. Pro založení sdíleného projektu byla použita šablona vytvořená na Fakultě stavební, Vysokého učení technického v Brně. Šablona obsahuje základní nastavení prostředí, základní pohledy a rodiny či šablony pro jednodušší tvorbu výkresové dokumentace. Kvůli částem fary, které nejsou původní a prošly rekonstrukcí po roce 1990 bylo modelováno ve dvou fázích, a to ve fázi *Existující* a *Nová*.

6.1 Zavedení souřadnicového a výškového systému v projektu

Po nastavení jednotek projektu byl zaveden souřadnicový systém S-JTSK a výškový systém Bpv. Bylo tak docíleno možnosti určování souřadnic a výšek bodů přímo z modelu a hlavně možnosti připojení podkladů ve stejném souřadnicovém a výškovém systému. Tento krok je rozhodně důležitý především z důvodu další koordinace např. ve sdíleném datovém prostředí.

Revit vede celkem tři souřadnicové systémy, souřadnicový systém interní s vnitřním počátkem, souřadnicový systém projektu s počátkem v základním bodu projektu a souřadnicový systém zaměření s počátkem v bodě zaměření. Při vytvoření projektu jsou základní bod projektu i bod zaměření umístěny na vnitřní počátek, se kterým se nedá hýbat.

Základní bod projektu je zobrazen jako modrý kruh s křížem, systém může být využit například k určení úhlové odchylky mezi skutečným a projektovým severem. Jeho

umístění je unikátní pro každý model, udává relativní informace o poloze v daném modelu.

Bod zaměření je symbolizován modrým trojúhelníkem s křížkem a podává informace o poloze objektu v souřadnicovém systému např. S-JTSK. Slouží zejména k vytvoření systému sdílených souřadnic mezi propojenými soubory aplikací Revit a CAD. Skutečný sever pohledů je nastaven též podle tohoto bodu. [25]

K zavedení souřadnicového systému byl využit předem připravený CAD soubor s vlíčovacími body a půdorysem, ze kterého byl převzat polohový souřadnicový systém. Výkres ve formátu *.dwg byl připojen do defaultně vytvořeného půdorysu 1NP s volbou pozice střed na střed. Na kartě *Správa – Umístění projektu – Souřadnice* byla využita funkce *Získat souřadnice*. Po vybrání importovaného výkresu došlo k převzetí souřadnic a všechny následující podklady tak budou připojeny na základě sdílených souřadnic. Bod zaměření se nám tímto posunul a jsou k němu vztaženy souřadnice. Tento bod posuneme zpět k základnímu bodu a tím se tyto souřadnicové systémy sjednotí (Obr. 23).

Pro výškové umístění byl třeba provést posun základního bodu projektu do správné výšky, v našem případě výšky 1 NP. Na kartě *Správa – Umístění projektu – Poloha* byla použita funkce *Změnit polohu*. Jako absolutní výška relativní nuly byla zvolena výška 1NP 377,74 m n. m.



Obr. 23: Základní bod projektu a bod zaměření se stejným počátkem [zdroj: vlastní]

6.2 Připojení mračna bodů

Na kartě *Vložit* bylo referenčně připojeno mračno bodů ve formátu *.rcp (Obr. 24). Díky zavedení souřadnicového systému bylo mračno umístěno podle sdílených souřadnic a automaticky se narotovalo ke skutečnému severu. Při modelování je vhodnější, když je výkres tedy v první řadě mračno narotováno rovnoběžně s obrazovkou monitoru, stejně tak pro orientaci výsledných výkresů. Výkres byl tedy orientován podle projektového severu pomocí funkce *Otočit pohled*, vybráním úsečky, podle níž má být provedena rotace. Kvůli tomuto kroku byl v programu MicroStation vytvořen obvod budovy a nahrán do Revitu v podobě souboru *.dwg. V sekci *Vlastnosti* lze libovolně měnit orientaci ke skutečnému nebo projektovému severu. Pozici mračna bodů je vhodné zafixovat, aby nedošlo k nechtěnému posunutí či pootočení. To provedeme pomocí funkce připnutí připojených výkresů symbolizovanou přepínáčkem na kartě *Upravit*.



Obr. 24: Mračno bodů importované do Revitu [zdroj: vlastní]

Na Obr. 24 je vidět podzemní chodba, která vede ze sklepa fary pod zahradou do jiného sklepení, které má vchod na zahradě. Tato chodba je zazděná, tudíž není průchozí, ale díky skenování bylo zjištěno, že dva sklepy vážně propojuje. Více o modelování této části fary je obsaženo v diplomové práci Bc. Igora Kováče.

6.3 Definování podlaží

Před začátkem modelování byly stanoveny výškové úrovně jednotlivých podlaží dle svislého řezu mračnem bodů v Revitu. K těmto výškovým úrovním se budou vázat modelované objekty, jelikož všechny modelované objekty musí být vázány k nějakému podlaží. Jednotlivé výškové úrovně můžeme v průběhu modelování upravovat, připojené prvky se automaticky upraví s ní. Můžeme ovšem nastavit nepřipojenou výšku či odsadit daný objekt dle potřeby.

Výška základního bodu projektu byla zvolena ve výšce 1NP, to je tedy v relativní výšce 0,000 m a absolutní výšce 377,74 m n. m. K tomuto podlaží se budou vztahovat relativní výšky ostatních podlaží. Podlaží vytvoříme na kartě *Architektura – Srovnávací rovina – Podlaží* nakreslením vodorovné čáry ve svislém řezu mračnem bodů. Jednotlivým podlažím můžeme dát vlastní názvy, pro lepší orientaci v půdorysech, které se automaticky pro každé podlaží vytvoří. U popisku výšky podlaží si můžeme vybrat, zda se bude vztahovat k základnímu bodu projektu nebo k bodu zaměření, případně se popisek nemusí zobrazovat vůbec. Jako nejvhodnější byl zvolen způsob zobrazení relativních výšek. V rámci celého modelu bylo vytvořeno šest výškových úrovní (Obr. 25).



Obr. 25: Definovaná podlaží [zdroj: vlastní]

7 Modelování

7.1 Zvolený postup

Prvním krokem při modelování bylo umístění nosných konstrukcí jako jsou obvodové stěny. Druhým krokem je umístění ostatních stěn uvnitř objektu, a nakonec umístění stropů a podlah. Dalším krokem je tvorba rodin dveří a oken a modelování dalších komponent jako jsou schodiště, fabiony či výklenky ve zdech. Nakonec proběhlo modelování krovů a střechy. Obecně je nejvhodnější při modelování postupovat obdobně jako při skutečném stavění budovy. Když máme 3D model ve finální podobě můžeme začít s vyhotovováním výkresové dokumentace.

7.2 Tvorba základních komponent

Jedním ze základních pojmů v Revitu je rodina. Rodinou rozumíme knihovnu prvků, která má stejné vlastnosti neboli parametry. Druhy parametrů jsou pro jednotlivé rodiny rozdílné podle kategorie rodin. U rodiny dveří a oken se vyskytují parametry jako šířka a výška, u rodiny schodišť jsou to výška stupně, šířka ramene a podobně. [26]

Odlišujeme dva základní typy rodin, systémové rodiny a načitatelné rodiny. Mezi systémové rodiny řadíme základní stavební prvky, které jsou předem definovány a bývají součástí šablon, lze je ovšem duplikovat a upravovat podle potřeby. Jedná se například o stěny, podlahy a střechy. Načitatelné rodiny, někdy označovány jako uživatelské, jsou oproti systémovým uloženy v samostatných souborech s příponou *.rfa a musí být do projektu nebo šablony projektu načteny. Jedná se o zařízení objektu jako jsou okna, dveře a nábytek. Mezi načitatelné rodiny můžeme řadit i rodiny všech popisků. [26]

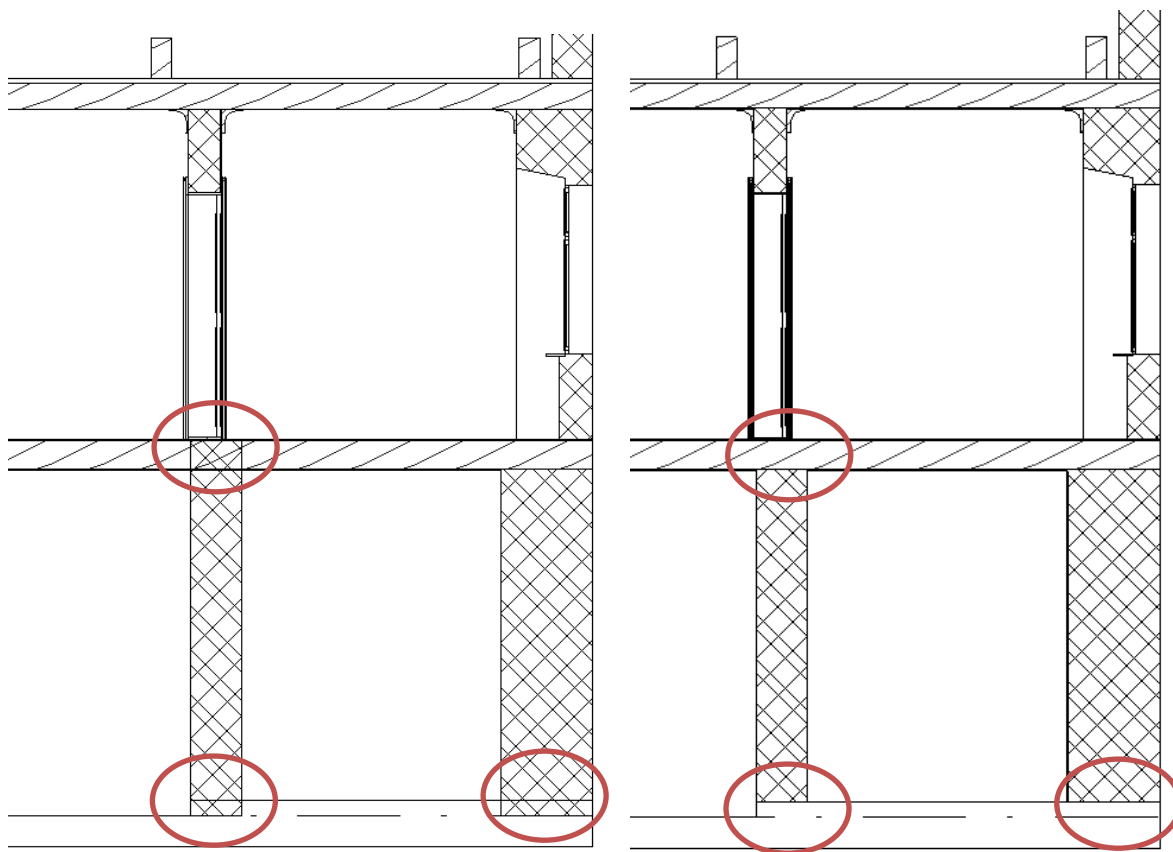
V rámci jedné rodiny se mohou vyskytovat různé hodnoty parametrů, a tím vznikají dílčí typy rodin. Důležité je zmínit i takzvané instance, což lze vnímat jako konkrétní výskyty rodiny určitého typu v projektu. Jednotlivé rodiny můžeme tvořit jako parametrické, nemusíme tedy vytvářet více rodin, například pro totožné dveře různé šířky, ale stačí pouze změnit parametr při vkládání dané rodiny do projektu. Změna se týká konkrétního objektu v projektu, změnou parametru se tedy nezmění všechny objekty tohoto typu, ale pouze objekt vybraný. Pokud bychom však přímo upravili vlastnosti typu, přenesou se tato změna do všech instancí tohoto typu umístěných v projektu. [26]

7.2.1 Stěny

Stěny tvoří základní svislé stavební konstrukce. Jejich umístění do modelu provedeme přes funkci *Stěna* na kartě *Architektura*. Duplikováním a úpravou šířky a skladby základní stěny v šabloně definujeme jednotlivé stěny, které se ve stavbě vyskytují. Název nově vytvořené stěny si změňme tak, abychom se v množství vytvořených stěn vyznali. Tloušťka jednotlivých zdí byla získána z půdorysů jednotlivých podlaží v Revitu, kde byly stěny rovnou kresleny. Kvůli špatnému stavu povrchu vnějších stěn budovy je v některých místech odchylka modelu od mračna až 10 cm.

Skladba stěn byla odhadnuta, jelikož se neprovádělo zjišťování sondou. V konstrukční části stěny byla definována cihla plná pálená doplněná o dokončovací vrstvy v podobě omítky o tloušťce 5 mm. V úpravě skladby byla vybrána i možnost dokončovacích vrstev při zalomení u vložených objektů, či nestandardním napojení stěn. Touto funkcí zajistíme zalomení omítek po vložení oken a dveří. V mém případě tato funkce nebyla velmi žádaná u vkládání oken, jelikož budova není z vnější strany pokrytá omítkou.

Při umístování stěn byla v panelu vlastností stěny zvolena horní a dolní vazba na příslušná podlaží, popřípadě odsazení od těchto podlaží (Obr. 27). Pokud by nebylo provedeno připojení k danému podlaží, mohlo by docházet k různým překrytům s podlahovou deskou, jak je vidět na Obr. 26. V případě nepřipojení horní vazby můžeme zadat libovolnou výšku stěny. Umístování stěn je nejvhodnější provádět v půdorysných pohledech. Při kreslení stěny si můžeme vybrat mód uchycení celkem z šesti variant. Lze kreslit osou stěny, osou její nosné části, plochou nosné nebo povrchové úpravy z vnější/vnitřní strany. V mém případě bylo nejčastěji využíváno režimu plochy povrchové úpravy.



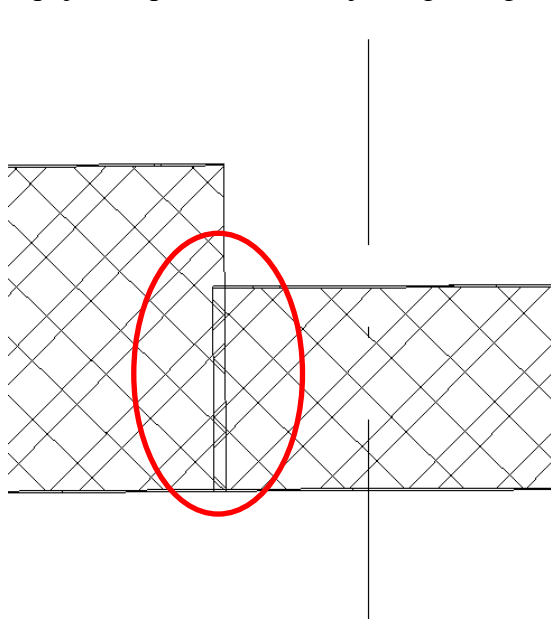
Obr. 26: Stěny nepřipojené k daným podlažím
[zdroj: vlastní]

Obr. 27: Stěny připojené k daným podlažím a
odsazené kvůli vyvýšené podlaze. [zdroj: vlastní]

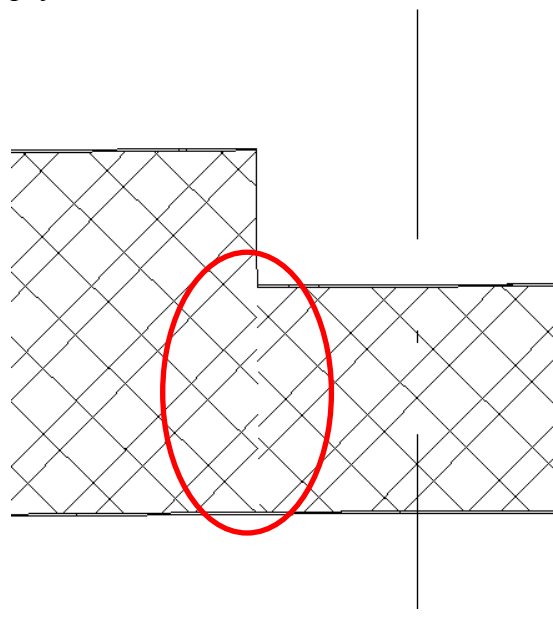
Po vytvoření obvodových stěn byly vymodelovány stěny uvnitř objektu. Otvory pro okna a dveře se nemodelují samostatně při vytváření stěny, ale vytvoří se automaticky po jejich vložení. Problém v Revitu nastává při modelování stěn, které svírají úhel, velmi blízký pravému úhlu. Revit automaticky nabízí kolmý nájezd a je velmi složité udělat stěnu podle skutečnosti. Totéž platí i při modelování šikmých stěn. Toto považuji za hlavní problém při modelování existujících, především starých historických budov v Revitu, kde stěny ve většině případů nejsou rovné ani nesvírají pravé úhly. Práci si můžeme ulehčit natočením půdorysu podle skutečného severu a zapnutím možnosti uchycení k existujícímu podkladu. Modelování novostaveb v tomto programu může být tedy výrazně méně časově náročné.

Ne všechny stěny se automaticky geometricky spojily a byly tedy v modelu nakreslené přes sebe (Obr. 28). Většinou se jednalo právě o nepravoúhlé spoje. Tento problém ve většině případů dokáže vyřešit nástroj *Připojit geometrii*, který lze po označení stěny najít na kartě *Upravit* (Obr. 29). Ten slouží k propojení geometrie

jednotlivých stěn i podlah se stěnami. Můžeme si vybrat z několika nabízených variant spojení, s použitím nástroje *Přepnout pořadí spojů*.



Obr. 28: Stěny před použitím funkce Připojit geometrii [zdroj: vlastní]



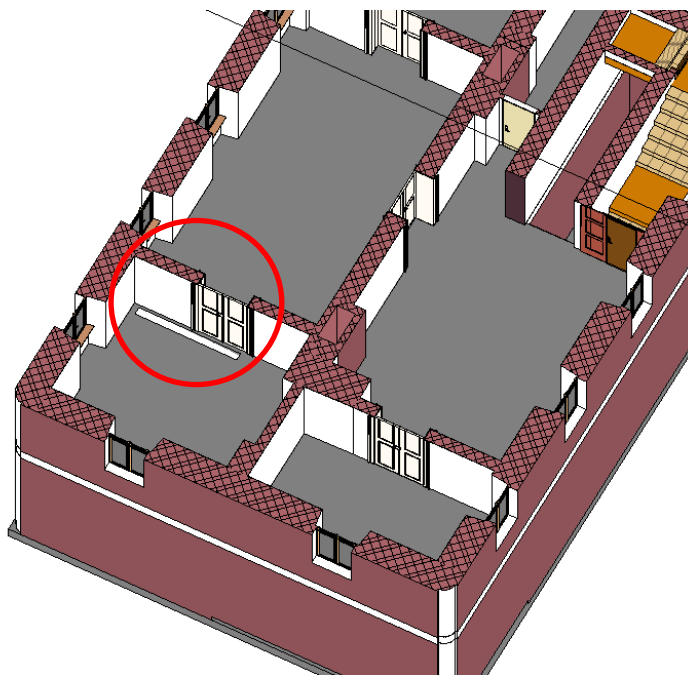
Obr. 29: Stěny po použití funkce Připojit geometrii [zdroj: vlastní]

7.2.2 Podlahy

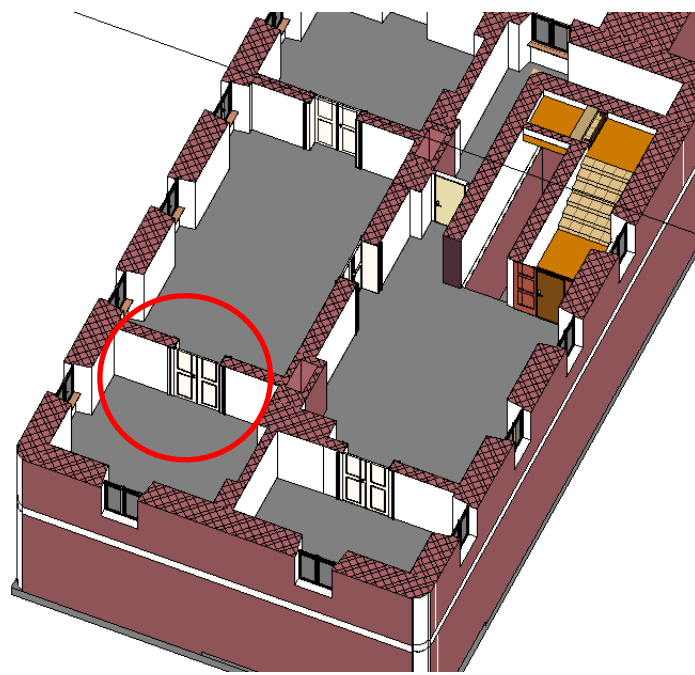
Základní horizontální konstrukce jsou podlahy, které tvoří konstrukční i nášlapnou vrstvu, tvoří tedy zároveň i strop. Jejich tloušťka mezi jednotlivými podlažími byla zjištěna ze svislého řezu mračnem bodů. Jelikož jsme neprováděli sondy, můžeme se pouze domnívat jaké je přesné složení jednotlivých vrstev v podlaze nebo způsob ukotvení ve stěnách.

Vzhledem ke stáří stavby byly zvoleny dřevěné podlahy přes celá podlaží s příslušnou povrchovou krytinou, jejíž materiál jsme odhadovat nemuseli. Celková tloušťka podlahy byla zvolena na 300 mm, tloušťka podlahy se mírně lišila v různých místech z důvodu stáří stavby a sedání konstrukcí. V 2NP je podlahová krytina tvořena PVC a dřevěnými latěmi v technické místnosti, na půdě je podlahová krytina tvořena dřevěnými latěmi. Tloušťka nášlapné vrstvy byla zvolena 15 mm. Podlahy byly umísťovány prostřednictvím funkce *Podlaha* na kartě *Architektura* v tom podlaží, ve kterém tvoříme konstrukční vrstvu podlahy. Nášlapná úroveň podlahy je zarovnaná na úroveň příslušného podlaží.

Výškové úrovně jednotlivých podlaží jsou stanoveny k nášlapným vrstvám. Podlaha se vytvoří podle trajektorie, kterou načrtneme pro konstrukční dřevěnou podlahu z vnější strany obvodových stěn. Otvory pro schodiště vytvoříme obkreslením otvoru uzavřeným útvarem. Díky nástroji *Připojit geometrii* došlo k propojení geometrie podlah a stěn. Obr. 30 znázorňuje geometrii před připojením stěny a podlahy, Obr. 31 znázorňuje stav po připojení geometrie, kdy už stěna z nižšího podlaží není viditelná.



Obr. 30: Nepřipojená stěna z INP viditelná v řezu 3D modelem [zdroj: vlastní]



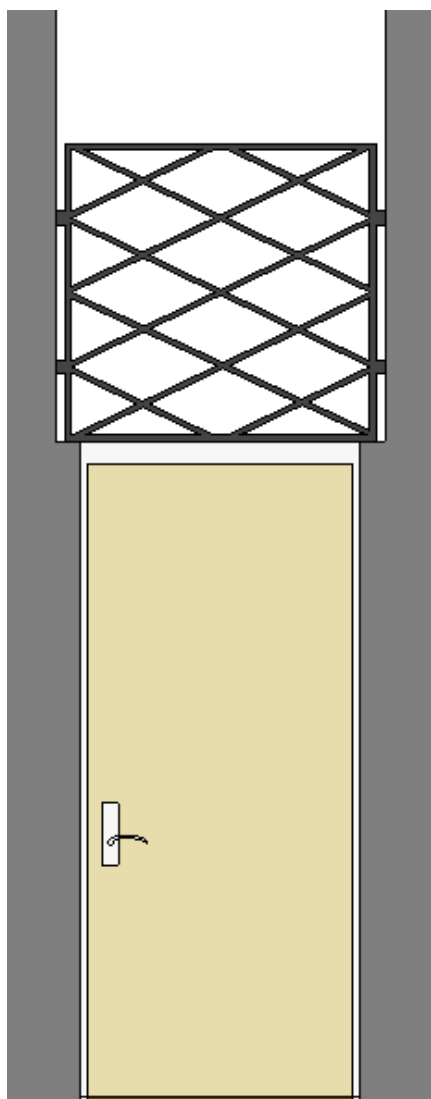
Obr. 31: Řez 3D modelem, žádná nepřipojená stěna z INP není vidět [zdroj: vlastní]

7.2.3 Klenuté stropy

V 2NP se klenuté stropy nacházely nad schodišti, jednalo se tedy nejčastěji o skloněné klenby. Pro jejich vytvoření Revit nemá žádnou speciální funkci, a proto byla použita funkce *Komponenta na místě*. Klenby byly vytvořené s využitím nástrojů jako je *Přechod tažením* a *Vysunutí*. Klenby s nepravidelnou křivostí se modelují podstatně složitěji. Takový složitý tvar lze vymodelovat pomocí několika komponent na místě. Konkrétně vytvořením komponenty na místě v podobě kvádrů stěny a pomocí dalších komponent na místě dutým tvarem došlo k vyříznutí klenby.

7.2.4 Dveře

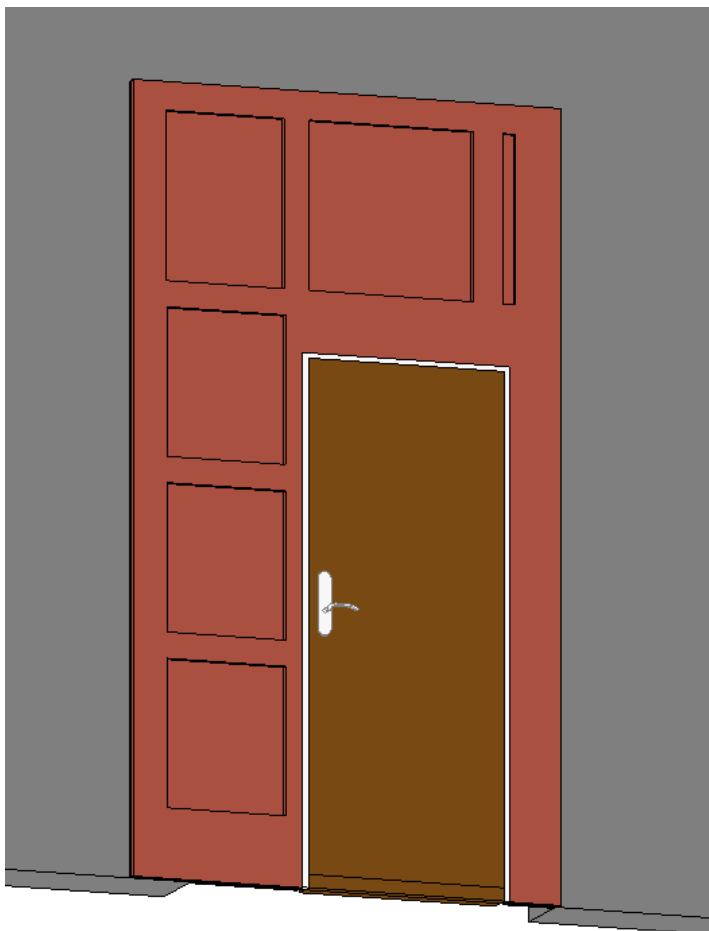
Celkem se v 2NP a na půdě nacházelo pět druhů dveří. Dřevěné dvoukřídlé do obytných místností v 2NP byly převzaty z diplomové práce Ing. Adama Kocourka [27] a byly upraveny do požadované podoby. Ostatní dveře byly kompletně vymodelovány s použitím šablony Metric Door.rft, dostupné na FAST VUT, obsahující parametry rozměru otvoru dveří a základní referenční roviny. Jedná se o dveře jednokřídlé v dřevěném obložení v 2NP, které zakrývá vstup na schodiště vedoucí na půdu, dvoje jednokřídlé dveře, jedny na podestě na schodech vedoucích na půdu a druhé na půdě zakrývající vstup na schodiště a dále jednokřídlé dveře s mříží nad nimi oddělující obytnou část a technickou místnost (Obr. 32 a Obr. 33).



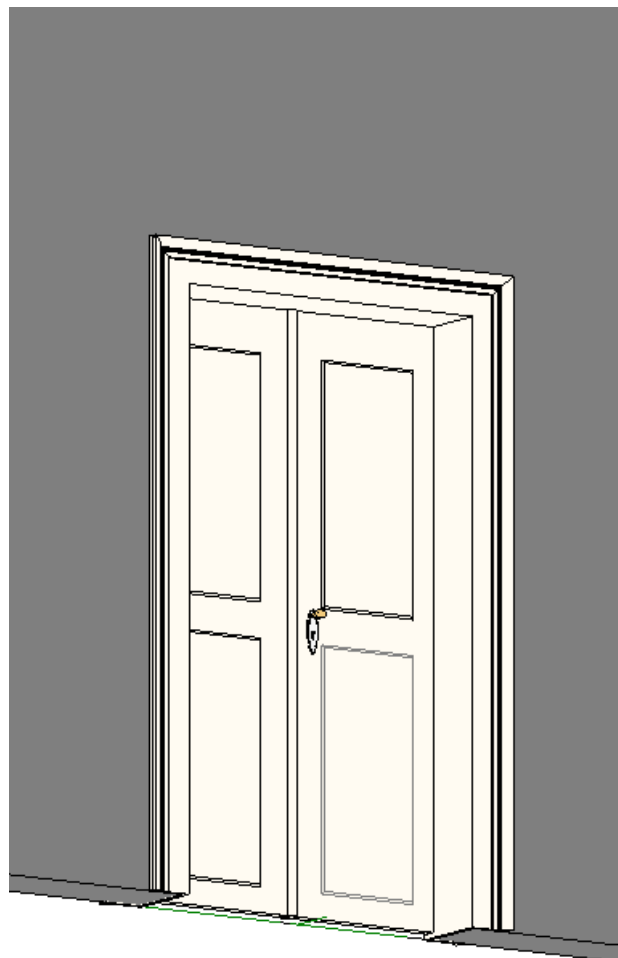
Obr. 32: Dveře do technické místnosti vymodelované v Revitu [zdroj: vlastní]



Obr. 33: Dveře do technické místnosti [zdroj: vlastní foto]



Obr. 34: Model dveří s dřevěným obložením
[zdroj: vlastní]



Obr. 35: Model dvoukřídlových dveří
[zdroj: vlastní]

Pro snazší kreslení jednotlivých částí dveří byly přidávány referenční roviny na základě rozměrů zjištěných v mračnu bodů, či z náčrtu vyhotoveného v terénu na základě oměrných měr. Množství referenčních rovin závisí hlavně na složitosti jednotlivých dveří. Referenční roviny jsou důležité především u tvorby dveří/oken, které budeme vkládat do různě širokých stěn nebo budeme měnit jejich šířku či výšku. Rozměry, které musí zůstat fixní se zafixují uzamčením kóty mezi referenčními rovinami. Kóty umísťujeme přes funkci na kartě *Poznámky*. Ke kótám můžeme přidat parametr rozměru definovaný ve vlastnostech typu dveří, přes funkci *Šítek*, díky kterému se rodina stane parametrickou a lze měnit určité její rozměry bez úprav rodiny, přímo ve vlastnostech typu rodin. Parametry jsou atributy, které můžeme použít taktéž k umístění do výkazů. Rozlišujeme dva typy parametrů, *Parametry typu* a *Parametry instance*. Při změně *Parametru typu*

v panelu *Upravit typ* dojde ke změně všech instancí daného prvku v modelu. *Parametr instance* použijeme, když chceme aplikovat změny pro konkrétní umístění prvky rodiny.

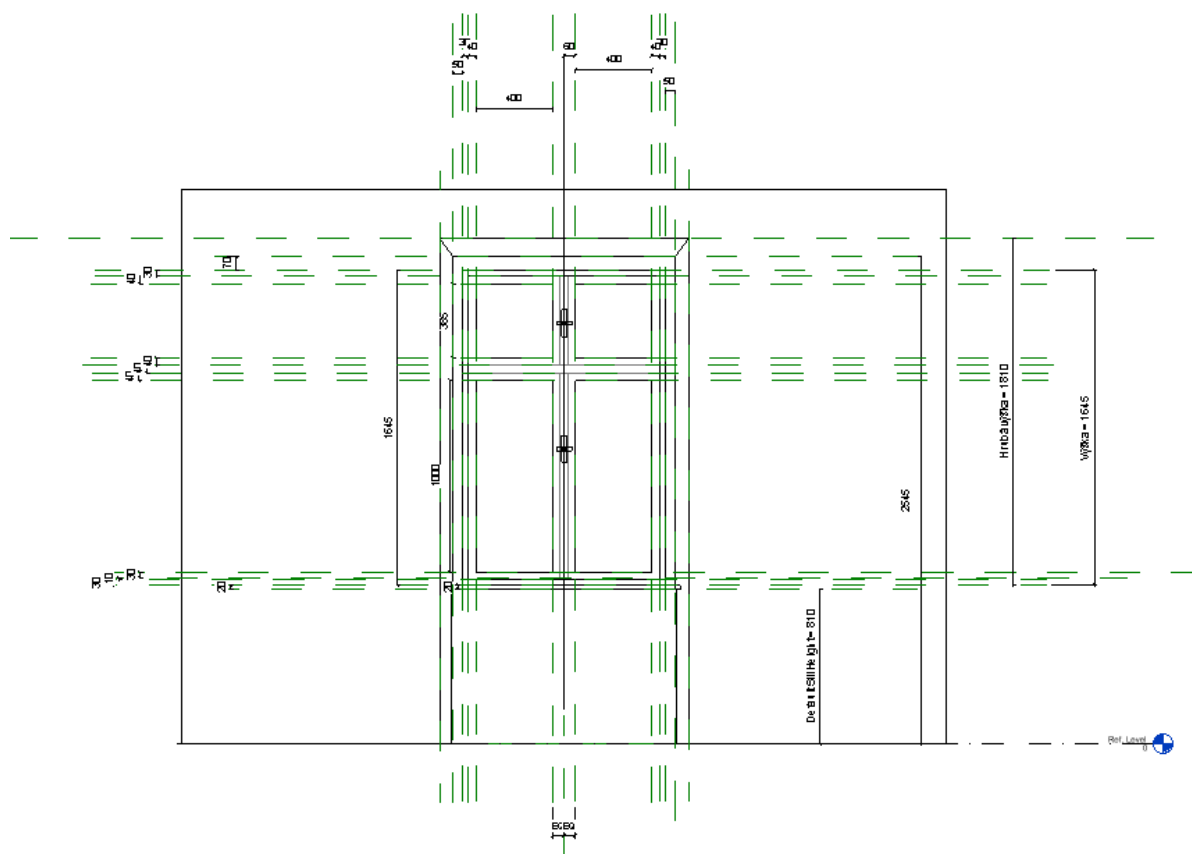
Po přípravě referenčních rovin následovalo modelování různých částí dveří, jako je rám, křídlo, výplně atd. pomocí funkce *Vysunutí*, *Tažení*, *Duté tvary*, které najdeme na kartě *Vytvořit – Tvary*. Modelování probíhalo v půdorysných a bočních pohledech, s uzamknutím k příslušným referenčním rovinám, pro zajištění správné polohy při parametrické změně rozměrů dveří. Nakonec byly vymodelovány kliky a ozdobné prvky dveří a prahy. Kliku můžeme vymodelovat jako samostatnou rodinu a vložit ji do rodiny dveří nebo ji můžeme vymodelovat přímo v rodině dveří. Konkrétním částem dveří byly přidány parametry materiálu a konkrétní materiály.

Rodiny dveří bylo třeba upravit pro zobrazení ve výkresové dokumentaci, tam není žádoucí vidět ozdobné prvky dveří, kliky, prahy atd. Pomocí nastavení viditelnosti jednotlivých částí dveří v konkrétních úrovních detailů byly nežádoucí prvky zneviditelněny. Pro dosažení požadovaného zobrazení dveří v půdorysech byly použity symbolické čáry znázorňující symboliku otevírání dveří.

7.2.5 Okna

V 2NP se nachází jeden druh dvoukřídlého dřevěného okna, u kterého byla případně upravována šířka ostění, či jiné potřebné parametry. Okna dvoukřídlá dřevěná byla převzata z diplomové práce Ing. Adama Kocourka [27] a byla upravena tak, aby co nejvíce odpovídala realitě. Použitá šablona *Metric Window.rft*, dostupné na FAST VUT, obsahuje definovaný otvor ve stěně a například i parametr výšky parapetu. Princip modelování oken je prakticky stejný jako při modelování dveří (Obr. 36).

Každá rodina potřebuje hostitelský prvek, což je v případě oken a dveří již vymodelovaná stěna. Hotová rodina byla tedy načtena do projektu a v půdorysném pohledu vložena do vytvořených stěn dle mračna bodů. Orientace oken a dveří jde po vložení měnit kliknutím na symbol dvojité šipky. Správné umístění prvků bylo kontrolováno v 3D pohledu nebo ve svislém řezu a v případě potřeby byla poloha upravena tažením prvku nebo pomocí průběžných kót.



Obr. 36: Ukázka vymodelovaného okna s referenčními rovinami [zdroj: vlastní]

7.2.6 Schodiště a zábradlí

V rámci této práce byly vymodelovány tři schodiště. Schodiště spojující 1NP s 2NP je ze dřeva stejně jako schodiště spojující 2NP s půdou (Obr. 37). Schodiště na půdě je montované dřevěné a vede pouze na krovky. Schodiště na půdě má jednoduché zábradlí z dřevěných latí a schodiště z 1NP na 2NP má zábradlí, které je uchyceno ve stěně, která je pokrytá dřevěným obložením. Schodiště do modelu umístíme přes kartu *Architektura – Komunikace – Schodiště*.

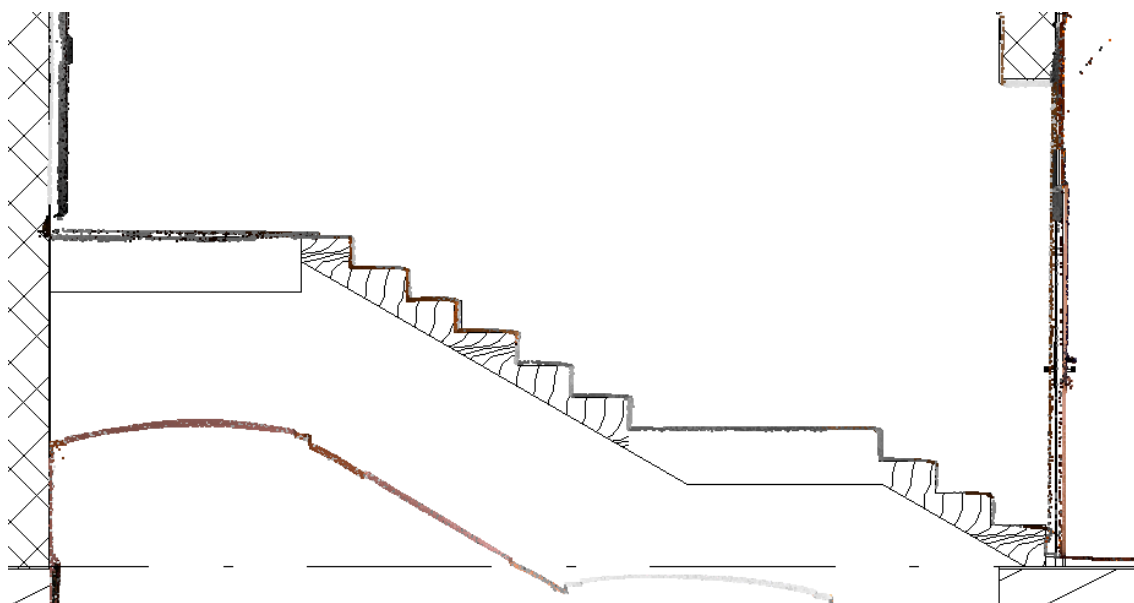


Obr. 37: Skenování schodiště vedoucího na půdu [zdroj: vlastní foto]

Pro tvorbu schodiště byl vytvořen duplikát již existujícího schodiště v šabloně projektu. Před umístěním schodiště do modelu byly ve vlastnostech schodiště zvoleny dolní a horní vazby, ke kterým má být schodiště připojeno, případně hodnoty dolního nebo horního odsazení od dolní či horní vazby. Vytvoření stávajících schodišť se odvíjí od počtu stupňů schodiště, šířky ramene, hloubky stupnice a výšky podstupnice, které měníme na panelu *Vlastnosti*. Tyto hodnoty byly určeny jako průměr ze zjištěných hodnot z řezů mračna bodů. Revit pro optimální sklon schodiště využívá výpočet podle Lehmanova vzorce, výpočet můžeme v případě potřeby vypnout. Vzorec má tvar $2 \times h + b = 630 \text{ mm}$, kde h je výška podstupnice a b je hloubka stupnice. [28]

Schodiště bylo do modelu umístěno pomocí ramene schodiště, po označení počátečního a koncového bodu došlo k jeho vytvoření. Výšky podstupnic se upravily tak, aby měly v průběhu celého schodiště stejnou výšku pro snadné uchycení na spodní a horní vazbu schodiště. Schodiště od podesty na půdu bylo vymodelováno pomocí návrhu

vlastní trajektorie schodiště. Na kartě *Kreslit* se vytvoří náčrt hranice schodiště, respektive pravá a levá část ramene. V potřebných rozestupech nakreslíme podstupnice spojující pravou a levou část ramena, a nakonec se nakreslí trajektorie schodiště. Vytvořená schodiště se ve výsledku celkem dobře přimykají bodovému mračnu viz Obr. 38. Maximální rozdíl mezi mračnem a modelem je 4 cm, převažuje ale rozdíl okolo 1 cm.



Obr. 38: Schodiště s bodovým mračnem [zdroj: vlastní]

Dřevěné montované schodiště na půdě bylo vytvářeno podobně jako předchozí schodiště. Nejvíce podobné schodiště z šablony bylo zduplikováno a upraveno, aby co nejvíce odpovídalo skutečnosti. V jeho spodní polovině na mračno dobře sedí, ale z důvodu klesání výšky horních stupnic jsou rozdíly mezi mračnem a modelem v řádu centimetrů. Obecně není naším úkolem modelovat časem vzniklé nedokonalosti na objektu. U dřevěného schodiště se na krajích schodiště nachází schodnice, které byly definovány u podpěr ve vlastnostech schodiště pomocí jejich rozměrů odměřených z bodového mračna. Dřevěné schodiště je bez podstupnic. Jeho umístění proběhlo stejně jako u předchozího schodiště.

Zábradlí můžeme vkládat do projektu rovnou se schodištěm nebo dodatečně samotné. Vložení zábradlí se provede na kartě *Architektura – Komunikace – Zábradlí – Načrtnout trajektorii / Umístit na schodiště / rampu*. Zábradlí můžeme vložit po označení schodiště nebo načrtnout jeho trajektorii. Při načrtnutí trajektorie lze vybírat hrany a nastavit potřebné odsazení, čímž docílíme požadované vzdálenosti od okraje schodiště.

Trajektorii lze uzamknout k hranám, aby se při změně šířky schodiště změnila i poloha zábradlí. Můžeme vybrat zábradlí z šablon již předpřipravených druhů zábradlí a upravit si je dle vlastních potřeb pomocí tlačítka *Upravit typ* nebo si vytvořit celé vlastní zábradlí.

Konstrukce zábradlí se skládá z horizontálních a vertikálních prvků. U horizontálních prvků definujeme příčle, jejich počet, výšku, tvar, materiál a případné odsazení od trajektorie. U vertikálních prvků se jedná o sloupky, jejich umístění, tvar, dolní a horní vazby, případné odsazení apod. [26]

Zábradlí na schodišti vedoucí z 1NP do 2NP bylo vymodelováno pomocí komponent na místě, z důvodu docílení větší vizuální podobnosti s realitou. Pomocí komponent na místě bylo vytvořeno také dřevěné obložení (Obr. 39).



Obr. 39: Schodiště s dřevěným obložením a zábradlím vymodelované v Revitu [zdroj: vlastní]

7.2.7 Střecha

Objekt je kryt sedlovou střechou, což je jeden z nejrozšířenějších typů střech. Střecha ve tvaru A se skládá ze dvou svažitých rovin, které se sbíhají v hřebeni. Na obou koncích se ke střeše přimykají stěny nazývané štíty. Střecha byla vytvořena pomocí funkce *Střecha* na kartě *Architektura*. V půdorysu půdy byl nakreslen obvod střechy a dělicí čára symbolizující hřeben. Lomovým bodům byla zvolena správná výška zjištěná z mračna bodů. S lomovými body můžeme pohybovat tak, aby se střecha co nejlépe přimykala k mračnu. Střešní plášť se skládá pouze z jedné vrstvy, a to z tašek, není zde žádná izolace ani jiná funkční vrstva. Stejně tak byly vytvořeny i stříšky nad komíny. Komíny jsou zaslepené tedy nefunkční s plnou stříškou, která zajišťuje ochranu před deštěm.

Následně byly vytvořeny otvory pro komíny a krovy. Krovy byly modelovány pomocí nástroje *Nosník* na kartě *Konstrukce*, kde byl vybrán vzhled, šířka, tloušťka a materiál. Nejdříve byly vytvořeny pozednice, což jsou trámy položené na nosné zdi podélně pod krovem, leží na něm tedy váha celé střešní konstrukce. Zatížení se tedy přes pozednici přenáší přes nosné stěny až do základů. [29] Přesné rozměry pozednice nemohly být zjištěny z mračna kvůli naskenování pouze z jedné strany. Šířka pozednice byla tedy změřena svinovacím metrem a její rozměry jsou 80x560 mm.



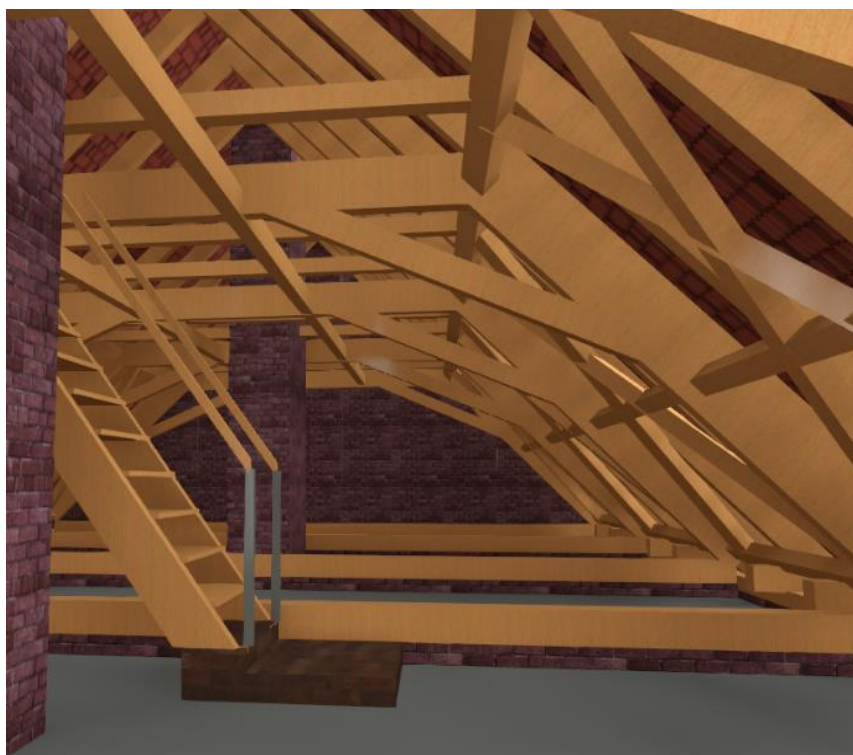
Obr.40: Krov vymodelovaný v Revitu, pohled bez střechy [zdroj: vlastní]

Konstrukce byla doplněna o krokve a hambalky, což jsou vodorovné trámy spojující dvě protilehlé krokve a celá konstrukce byla nakonec zpevněna pomocí pásek (Obr. 40). Rozměr krokví byl na základě oměrných měr zvolen 140x250 mm, rozměr hambalků 140x140 mm a 140x350 mm.

Na problém jsem narazila u funkce spojit geometrii, která v případě nosníků tak dobře nefunguje. Jednotlivé dřevěné hranoly se tedy navzájem překrývají. Vlivem stáří konstrukce střechy se trámy prohýbají, což se projevilo odchylkou až 10 cm mezi mračnem bodů a vymodelovanou střešní konstrukcí. Krovky byly vymodelovány celé až na latě, na které se zavěšují střešní tašky, to vzhledem k účelu modelu nebylo předmětem modelování. Porovnání skutečnosti (fotografie) a vymodelovaného krovu viz Obr. 41 a Obr. 42.



Obr. 41: Krov, focený z půdy [zdroj: vlastní]



Obr. 42: Krov vymodelovaný v Revitu [zdroj: vlastní]

7.2.8 Ostatní prvky

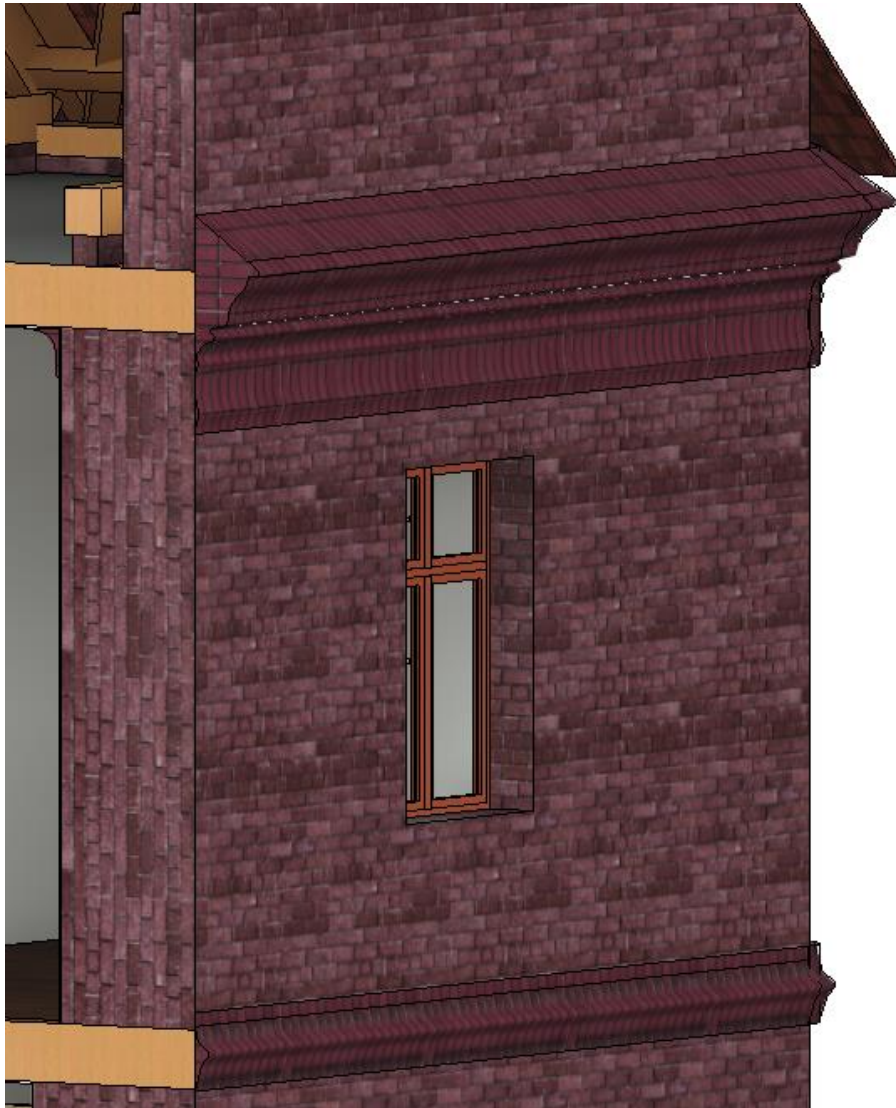
Z výše popsaných prvků bylo vymodelováno 2NP a půda fary. Model byl doplněn pomocí funkce *Komponenta na místě* o duté tvary pro komínové průduchy, výklenky ve stěnách nebo fabiony či zrcadla. Komíny byly vytvořeny jako jedno těleso, doplněné o dutý tvar uvnitř. Fabiony tvoří pozvolný přechod mezi stěnami a stropy a zrcadla jsou ozdobné prvky na stropu. viz Obr. 43.



Obr. 43: Fabiony a zrcadla vymodelovaná v Revitu [zdroj: vlastní]

Komponenty na místě bychom měli vhodně kategorizovat, abychom se vyvarovali situaci, kdy např. komponenta *Dutý tvar* nebude ořezávat stěnu, pokud nebude v kategorii stěna.

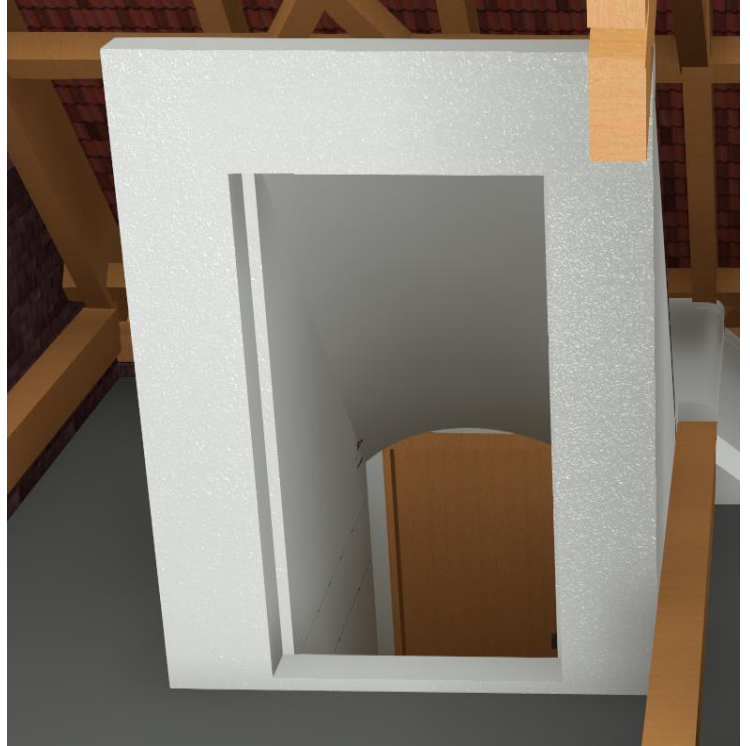
Pomocí komponent na místě, konkrétně pomocí funkce *Trajektorie – Tažení*, byly vytvořené také římsy jejichž pozůstatky jsou viditelné na fasádě (Obr. 44), a také vstup na půdu (Obr. 45 až Obr. 48), který se obecně neskládá z příliš pravidelných útvarů, jeho modelování bylo tedy časově náročnější. Stěny byly vytvořeny pomocí profilu a strop nad schodištěm pomocí komponent na místě, konkrétně pomocí funkce *Přechod a Tažení*.



Obr. 44: Římsy vymodelované v Revitu [zdroj: vlastní]



Obr. 45: Průchod na půdu [zdroj: vlastní foto]



Obr. 46: Průchod na půdu vymodelovaný v Revitu [zdroj: vlastní]



Obr. 47: Vstupní dveře na půdu [zdroj: vlastní foto]



Obr. 48: Vstupní dveře na půdu vymodelované v Revitu [zdroj: vlastní]

8 Výsledná dokumentace

Důležitou součástí měřické dokumentace je technická zpráva i výkresová dokumentace. Technická zpráva by měla poskytnout dostatek informací o objektu (rozsah a podrobnost zaměření), použitých metodách a měřického či softwarového vybavení, podmínkách při provádění měřických prací a o přesnosti výsledné dokumentace. Výkresová dokumentace se obvykle skládá z celkového situačního plánu, půdorysů všech podlaží, svislých řezů, ortogonálních pohledů na všechna průčelí a fasády, případně i detailů. [30]

Půdorysy se zobrazují jako pravoúhlé průměty myšlených vodorovných řezů objektem na půdorysnu nebo jako pohledy shora na zobrazovanou konstrukci. Vodorovný řez by měl vést tak, aby mohl zobrazit co nejvíce nosných a nenosných konstrukcí a bylo z něj poznat rozmístění dveřních a okenních otvorů. Tento pomyslný vodorovný řez by měl vést buď v jedné třetině výšky podlaží (nad úrovní parapetu) či pokud má objekt několik úrovní v rámci jednoho podlaží, tak 1 m nad zobrazovanou úrovní.

Svislé řezy se zobrazují jako průměty myšlených svislých řezů objektem na nárysnu. Rovina myšleného řezu se nevede v podélném směru tyčovými prvky (sloupy, trámy, průvlaky). Vede se zpravidla schodištěm, a to tak, aby poskytla možnost co nejúplnějšího zobrazení schodiště. Řezová rovina se podle potřeby může zalamovat, nesmí však vzniknout nelogický a nesouvislý obraz. [8]

Pohledy jsou boční pohledy na fasádu objektu ze všech stran. Pohledy zobrazují všechny viditelné hrany (dveře, okna, komíny, střechy, střešní okna). Půdorysy, svislé řezy a pohledy se vyhotovují dle normy *ČSN 01 3420 Výkresy pozemních staveb – Kreslení výkresů stavební části*.

Vyhotovení výkresové dokumentace by mělo být provedeno v odpovídajícím měřítku a rozsahu tak, aby byly zobrazeny veškeré prostorové a konstrukční souvislosti stavby. Pro vyhotovení těchto výstupů se používá nejčastěji měřítko 1 : 50 nebo případně 1 : 100. [31]

8.1 Výkresová dokumentace

Výsledná tvorba výkresové dokumentace proběhla též v programu Revit na základě vytvořeného 3D modelu. Jako první byly vyhotovovány půdorysné výkresy v měřítku

1 : 50 na papír A1 pro 2NP. Pro půdorys 2NP byly roviny řezu voleny ve výšce 1,3 m od výšky příslušného podlaží. Pro zobrazení prvků na zvoleném podlaží, které jsou pod nebo nad úrovní roviny řezu můžeme použít funkci *Zalomená výška pohledu*. Zalomená výška pohledu se v půdorysu zobrazí červenou přerušovanou čarou.

Jednotlivé půdorysy, řezy a pohledy, byly vygenerovány a dále doplněny o kóty, poznámky a další náležitosti do finální podoby s využitím šablon projektu. Hlavní snahou bylo, aby výkresy co nejvíce odpovídali normě ČSN 01 3420 *Výkresy pozemních staveb – Kreslení výkresů stavební části*. K popisu místností byla použita funkce *Místnost*, kterou se definují jednotlivé místnosti a současně vkládají i požadované popisky jako je číslo místnosti, její povrch a popis, druh podlahové krytiny atd. Revit automaticky rozpozná obvod jednotlivých místností na základě ohraničujících stěn. Pokud nabízený výsledek neodpovídá realitě, například když se do plochy místnosti započítá i plocha schodiště, použijeme funkci *Oddělovač místností*, kterým nakreslíme požadovanou hranici.

Do půdorysů byly umístěny pouze čísla místností, výška podlahy a světlá výška pro zachování přehlednosti. Jejich názvy, plochy a druhy podlahové krytiny jsou zaznamenány v tabulce výkazu místností, která vznikla automaticky v sekci výkazů v prohlížeči projektu, a poté byla upravena dle potřeby. Na konci tabulky je uvedena celková plocha všech místností v podlaží. Popisky schodišť, dveří a oken byly automatizovaně vytvořeny pomocí funkce *Popisky*. Správnost popisků se odvíjí od shodného nadefinování štítku v rodinách, v tabulkách i v popiskách.

Nakonec se provedlo kótování, pomocí funkce *Kóta* na kartě *Poznámky*. Kóty lze umisťovat zarovnanou kótou automaticky po označení stěn, které nejsou šikmé. U šikmých stěn je nutné přesně označit bod průsečíku stěn a poté vynést kótu. Kóty musí mít vždy počáteční a koncový bod a jsou pevně spojeny s objekty. Po změně rozměrů objektu dojde i k aktualizaci kóty. Kótováno bylo v centimetrech, jelikož přesnost modelu je v řádu centimetrů a ani z pohledu stáří stavby není důvod, aby byly výkresy kótované na milimetry.

Pro vytvoření finální podoby pro tisk byly založeny výkresy, kam se umístili jednotlivé pohledy a tabulky. Zde můžeme provádět změny po dvojkliku na půdorys, který se tímto aktivuje, po dvojkliku na výkres můžeme upravovat tabulky. Rodiny použitých výkresů obsahují popisovou tabulku, kde jsou uvedeny všechny potřebné základní informace o výkrese. Výkres půdorysu 2NP je obsahem přílohy č. 5.7.1.

Následovala tvorba celkem 2 řezů, ty se definují v půdorysných pohledech nakreslením trasy čáry řezu po zvolení příslušné funkce. První řez byl veden přes vstupní rameno schodiště a druhý řez byl volen kolmo na první řez přes výstupní rameno schodiště na půdu. Čáry symbolizující řez nevedeme přes půdorys, ale jen naznačíme začátek a konec, aby byla zachována přehlednost půdorysů. Vzniklé řezy byly doplněny o výškové a délkové kóty. Výsledné výkresy řezů jsou v měřítku 1 : 50 na formátu papíru A2. Jedná se o přílohy č. 5.7.2 a 5.7.3.

Nakonec proběhlo vyhotovení výkresů pohledů. Ty se v Revitu definují v půdorysném pohledu a jsou automaticky vytvořeny v ortogonálním pohledu na zvolený prvek budovy. Výsledné pohledy jsou zhotoveny ze všech stran objektu. V pohledech jsou znázorněny výšky jednotlivých podlaží, výška hřebene střechy a výška komínu. Pohledy byly vyhotoveny v měřítku 1 : 100 a jsou umístěny na papír formátu A1 v příloze č. 5.7.4.

Všechny uvedené výkresy byly doplněny o popisové tabulky, výkazy místností, oken a dveří, legendy, poznámky či severku. Výkresy byly uloženy ve formátu *.pdf a exportovány do formátů *.dwg, jsou součástí příloh této práce.

9 Posouzení geometrické přesnosti mračna a modelu

Ve výsledném modelu byla řešena především geometrie, o materiály a skladbu podlah či stěn se nám ve větší míře nejednalo, jelikož geodetický sběr dat nám tuto možnost ani neposkytuje. Model není doplněn o nábytek ani o prvky TZB. Kdyby se tímto chtěl později nějaký odborník zabývat, do BIM modelu je možné detailnější informace nebo prvky kdykoli přidat. Úrovní detailu model odpovídá kategorii LOD 300.

Přesnost výsledného modelu se dělí na absolutní a relativní. U absolutní přesnosti se jedná o přesnost umístění mračna do referenčního systému, je ovlivněna přesností výchozích bodů, přesností zaměření vřícovacích bodů, přesností identifikace identických bodů při zpracování mračna a přesností technologie laserového skenování. U relativní přesnosti posuzujeme geometrickou přesnost mračna, která je ovlivněna přesností technologie laserového skenování a přesností spojení mračen bodů. Udávají ji výsledné hodnoty při registraci skenů v Trimble RealWorks.

Pro kontrolu mračna celého objektu bylo použito 16 kontrolních bodů rovnoměrně rozmístěných po celém objektu. Body byly zaměřeny totální stanicí a při skenování laserovým skenerem. Porovnáním nebyly nalezeny žádné odlehlé hodnoty, vypočítaná střední prostorová chyba je 11 mm. Podrobný výpočet je součástí přílohy 5.8.

Přesnost výsledného modelu vzhledem ke skutečnému stavu, byla otestována porovnáním délek změřených ve skutečnosti a délek změřených ve vytvořeném modelu. Vzájemná kontrola přesnosti výsledného modelu a mračna bodů proběhla na základě odměření totožných oměrných měř jak v modelu, tak v mračnu. Stejně tak proběhla kontrola přesnosti mračna bodů vzhledem ke skutečnému stavu. Následně byly hodnoty délek porovnány v programu Microsoft Excel. Podrobný výpočet je součástí přílohy 5.8. Přesnost modelu vypočtena z rozdílů délek mezi modelem a skutečností je 2 cm viz Tab. 2.

Tab. 2: Porovnání oměrných měř z modelu, mračna bodů a skutečnosti [zdroj: vlastní]

Místnost	oměrná míra [m]			odchylky [m]		
	skutečnost	mračno	model	skutečnost - mračno	skutečnost - model	mračno - model
schody do 2NP	1,37	1,36	1,37	0,01	0,00	-0,01
	5,26	5,32	5,31	-0,06	-0,05	0,01
	3,14	3,14	3,14	0,00	0,00	0,00
hala 2NP	5,15	5,13	5,13	0,02	0,02	0,00
	7,29	7,27	7,27	0,02	0,02	0,00
	4,80	4,80	4,78	0,00	0,02	0,02
	1,69	1,71	1,73	-0,02	-0,04	-0,02
	0,59	0,59	0,59	0,00	0,00	0,00
	1,00	1,04	1,00	-0,04	0,00	0,04
	1,67	1,69	1,68	-0,02	-0,01	0,01
	0,32	0,33	0,33	-0,01	-0,01	0,00
pokoj 1	5,09	5,09	5,07	0,00	0,02	0,02
	2,83	2,84	2,85	-0,01	-0,02	-0,01
pokoj 2	4,22	4,22	4,21	0,00	0,01	0,01
	4,73	4,74	4,73	-0,01	0,00	0,01
	4,25	4,22	4,26	0,03	-0,01	-0,04
	0,87	0,87	0,86	0,00	0,01	0,01
pokoj 3	4,74	4,73	4,73	0,01	0,01	0,00
	4,93	4,90	4,94	0,03	-0,01	-0,04
	1,99	2,00	2,01	-0,01	-0,02	-0,01
	4,72	4,70	4,71	0,02	0,01	-0,01
	3,51	3,48	3,51	0,03	0,00	-0,03
	8,45	8,44	8,43	0,01	0,02	0,01
pokoj 4	4,26	4,25	4,25	0,01	0,01	0,00
	4,70	4,68	4,67	0,02	0,03	0,01
technická místnost	1,10	1,08	1,10	0,02	0,00	-0,02
	5,28	5,26	5,27	0,02	0,01	-0,01
	1,19	1,20	1,18	-0,01	0,01	0,02
schody na půdu	5,15	5,14	5,14	0,01	0,01	0,00
	1,47	1,47	1,45	0,00	0,02	0,02
půda	2,33	2,34	2,30	-0,01	0,03	0,04
	2,11	2,12	2,11	-0,01	0,00	0,01
	1,35	1,36	1,35	-0,01	0,00	0,01
	0,78	0,78	0,80	0,00	-0,02	-0,02

Střední chyba rozdílu délek [m]	0,02	0,02	0,02
Mezní střední chyba rozdílu délek [m]	0,03	0,03	0,03
Maximální hodnota rozdílu délek [m]	-0,06	-0,05	0,04
Minimální hodnota rozdílu délek [m]	0,00	0,00	0,00

červeně rozdíly délek co nesplňují mezní chybu rozdílu délek

10 Závěr

Výsledkem diplomové práce jsou stavební výkresy skutečného stavu části fary v Újezdu u Černé Hory k červenci roku 2023 v měřítkách 1 : 50 a 1 : 100 vzniklé na podkladě informačního modelu. Ty budou poskytnuty společně s ostatními výstupy správci fary a mohou být použity jako podklad pro tvorbu projektové dokumentace, jsou součástí příloh této diplomové práce.

V rámci zaměření skutečného stavu byla vybudována pomocná měřická síť pro zaměření vlícovacích a kontrolních bodů. Interiér a exteriér fary byl zdokumentován technologií laserového skenování, čímž bylo dosaženo získání kvalitních dat za relativně krátkou dobu. Vypočítané souřadnice vlícovacích bodů sloužily pro připojení mračna bodů do souřadnicového systému JTSK a výškového systému Bpv. Díky automatické registraci skenů v terénu docházelo ke kontrole v tabletu ihned po dokončení skenování na každém stanovisku.

Výpočetní práce byly provedeny v programu Groma. Mračna bodů byla spojována a georeferencována v programu Trimble RealWorks. BIM model zadané části fary, tedy 2NP, půda a schodiště z 1NP do 2NP, byl vytvořen v programu Autodesk Revit 2021 nad georeferencovaným mračnem bodů. Z důvodu práce na sdíleném modelu je přílohou 5.6 kompletní model fary vyhotovený k datu 20. 5. 2024. Řezy a pohledy jsou vyhotoveny též k tomuto datu. Odevzdání pouze mnou vymodelované části fary by neodpovídalo původní filozofii sdíleného modelu. Do modelu není zahrnuto zařízení, ani TZB a není řešena přesná skladba svislých ani vodorovných konstrukcí. Nepravidelnosti způsobené opotřebením působením času nebyly předmětem modelování. Tento BIM model byl základem pro generování výkresové dokumentace, která byla doplněna o potřebné náležitosti a následně exportována do formátu *.dwg a *.dgn.

Přesnost výsledného bodového mračna z porovnání měřených souřadnic totální stanicí a laserovým skenerem lze charakterizovat střední prostorovou chybou 11 mm, přesnost navlícování mračna je 4 mm. Přesnost modelu je charakterizována střední chybou 2 cm.

Vytvoření stavební dokumentace historické budovy na podkladě BIM modelu je velmi časově náročné a v rozsahu jako v této diplomové práci i neekonomické. Výhodou BIM modelu obecně je možnost budoucí aktualizace i doplňování informací z různých odvětví a oborů.

11 Seznam použité literatury

- [1] *Újezd u Černé Hory* [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.ujezducernehory.eu/o-obci/ms-7229/p1=7229>
- [2] SADÍLEK, Jaroslav. *Historie a vývoj osídlení obce* [online]. 2018 [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: https://www.ujezducernehory.eu/assets/File.ashx?id_org=17391&id_dokumenty=18383
- [3] MICHL, Vladimír. *Historie BIM*. Bimfo.cz [online]. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Historie-BIM.aspx>
- [4] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Koncepce zavádění metody BIM v České republice*. Online. 2017. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf>
- [5] *A co je vlastně ten BIM?* Online. Bim.Point. 26.11.2016. Poslední změna 11.5.2022. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.bim-point.com/blog/a-co-je-vlastne-ten-bim>
- [6] KUPSA, Tomáš. *Co je BIM*. Online. TZB-info. 16.12.2019. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bim-informacni-model-budovy/20007-co-je-bim>
- [7] *Stanovisko k využití formátu IFC v návaznosti na opatření č. 7 UV č. 682* [online]. Praha: Koncepce BIM ČR, 2019 [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: https://www.koncepcebim.cz/uploads/inq/files/Stanovisko%20k%20vyuziti%20formatu%20IFC_Agentura%20CAS.pdf
- [8] ČSN 01 3420. *Výkresy pozemních staveb – Kreslení výkresů stavební části*. Praha: Vydavatelství norem. 2004
- [9] *Informační model budovy*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Informa%C4%8Dn%C3%AD_model_budovy

- [10] ŠPALEK, Michal. BIM - Informační model budovy: Co znamená pojem LOD v BIM? Tzb-info.cz [online]. 2020 [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bim-informacni-model-budovy/20352-co-znamena-pojem-lod-v-bim>
- [11] What are LOD and LOIN in BIM and what are they for? Online. BibLus. 14.3.2022. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://biblus.accasoftware.com/en/what-are-lod-and-loin-in-bim-and-what-are-they-for/>
- [12] BIM Level of Development [online]. New York: SRINSOFT, 2015 [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://www.srinsofttech.com/bim-level-of-development-lod-300-400-500.html>
- [13] TUNKA, Lukáš. LOD – Level of Development. Bimfo.cz [online]. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/LOD-Level-Of-Development.aspx>
- [14] HBIM historic buildings. Accasoftware.com [online]. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://www.accasoftware.com/en/hbim-historic-buildings>
- [15] As-Built Model. Bimdictionary.cz [online]. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://bimdictionary.com/en/as-built-model/1>
- [16] GEOTRONICS PRAHA. Trimble X9 3D laserový skenovací systém: Technický popis. GEOTRONICS Praha. Westminster (Colorado, USA) [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: Trimble, c2019–2020. Dostupné také z: <https://geotronics.cz/trimble-x9/>
- [17] KŘEMEN, Tomáš. Laserové skenování – 1. přednáška. Online. Přednáška. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Katedra speciální geodézie. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/~kremen/LSK_1.pdf
- [18] ŠTRONER, Martin a POSPÍŠIL, Jiří, Terestriské skenovací systémy. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008, ISBN 978-80-01-04141-3
- [19] ŠTRONER, Martin. Teorie fungování terestrických skenovacích systémů. Fyzikální principy skenovacích systémů. Bezpečnost práce. Online. Přednáška. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Katedra speciální

- geodézie. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/LSK/index.html>
- [20] GEOTRONICS PRAHA, Trimble RealWorks Software. Geotronics Praha: Váš geoshop [online]. Praha: Trimble Software, 2016 [cit. 3.3.2024]. Dostupné z: <https://geotronics.cz/geodezie/software/trimble-realworks/>
- [21] Trimble Geospatial, Trimble RealWorks student guide:. Trimble Geospatial, Transforming the Way the World Works [online] 2024 [cit. 3.3.2024]. Dostupné z: <https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-realworks>
- [22] TRIMBLE. Trimble RealWorks: User Guide [online]. 12.0(A). Westminster (Colorado, USA): Trimble, 2021, 938 s. [cit. 2024-05-11]. Dostupné z: <https://trimblex7.ru/>
- [23] Nástroje informačního modelování budov (BIM) pro architektky. Autodesk.cz [online]. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/revit/architecture>
- [24] Trimble Geospatial, Trimble Real Works student guide:. Trimble Geospatial, Transforming the Way the World Works [online] 2021 [cit. 2024-3-9]. Dostupné z: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimblerealworks>
- [25] AUTODESK, INC. Autodesk Revit 2021: Souřadnicové systémy. Online. © 2023. [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2021/CSY/?guid=GUID-E67ED082-2556-475B-84A7-4605329F612F>
- [26] NOVOTNÁ, Helena. Základy BIM – Revit Architecture: seznámení s programem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014, 190 s. ISBN 978-80-214-5023-3.
- [27] KOCOUREK, Adam. Příloha diplomové práce [online]. 2023 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149883>
- [28] VYSTAVĚL, Ondřej. Model suterénu budovy v programu Revit. Brno, 2020. 42 s., 18 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Alena Berková.
- [29] TAJBROVÁ, Lenka. Pozednice jako důležitá součást střechy. Fachmani.cz [online]. 28.11.2020 [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://fachmani.cz/clanek292113-pozednice-jako-dulezita-soucast-strechy>

- [30] VESELÝ, Jan. Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči. V Praze: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště středních Čech v Praze ve spolupráci s Národním památkovým ústavem, generálním ředitelství, 2014. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav). ISBN 978-80-86516-79-0
- [31] BEZDĚK, Ladislav. Metodika pro elektronický pasport zpřístupněné památky. Praha: Národní památkový ústav, ústřední pracoviště, 2011. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav). ISBN 978-80-87104-87-3

12 Seznam obrázků

Obr. 1: Újezd u Černé Hory [zdroj podkladu: mapy.cz]	12
Obr. 2: Poloha fary v obci Újezd [zdroj podkladu: mapy.cz].....	13
Obr. 3: Schematická kresba z roku 1727 [2]	14
Obr. 4: Plán na výstavbu farního dvora z roku 1808. Černě je vyznačena budova fary [2]	14
Obr. 5: Mapa stabilního katastru z roku 1826 s vyznačením fary [2]	15
Obr. 6: Pohled na stavbu od kostela [zdroj: vlastní foto]	16
Obr. 7: Pohled na stavbu ze dvora [zdroj: vlastní foto].....	16
Obr. 8: Pohled na stavbu z východní strany s hlavním vstupem [zdroj: vlastní]	16
Obr. 9: Příčky, pohled z pokoje [zdroj: vlastní foto]	17
Obr. 10: Příčky, pohled z haly [zdroj: vlastní foto]	17
Obr. 11: Úrovně LOD [zdroj: https://biblus.accasoftware.com/en/what-are-lod-and-loin-in-bim-and-what-are-they-for/].....	21
Obr. 12: Skener Trimble X9 s tabletem [zdroj: vlastní foto].....	23
Obr. 13: Zeleně svítící skener připravený na spuštění skenování [zdroj: vlastní foto] ..	25
Obr. 14: Zaměření VB v terénu pomocí totální stanice Trimble S8 [zdroj: vlastní foto]	27
Obr. 15: Vlíčovací bod signalizovaný šachovnicovým terčem [zdroj: vlastní foto]	27
Obr. 16: Obrazovka tabletu v průběhu skenování [zdroj: vlastní foto]	30
Obr. 17: Sken s pavučinami [zdroj: vlastní foto].....	30
Obr. 18: Rozmístění vlíčovacích bodů, pohled z jihovýchodu [zdroj: vlastní]	31
Obr. 19: Rozmístění vlíčovacích bodů, pohled shora [zdroj: vlastní]	32
Obr. 20: Celková průměrná odchylka na vlíčovacích bodech (Average Error) a odchylky na jednotlivých vlíčovacích bodech (Error) [zdroj: vlastní].....	36
Obr. 21: Měření vzdáleností ve vytvořené prohlídce [zdroj: vlastní].....	37

Obr. 22: Půda ve vytvořené prohlídce, neobarvené skeny [zdroj: vlastní].....	37
Obr. 23: Základní bod projektu a bod zaměření se stejným počátkem [zdroj: vlastní]..	39
Obr. 24: Mračno bodů importované do Revitu [zdroj: vlastní]	40
Obr. 25: Definovaná podlaží [zdroj: vlastní]	41
Obr. 26: Stěny nepřipojené k daným podlažím [zdroj: vlastní].....	44
Obr. 27: Stěny připojené k daným podlažím a odsazené kvůli vyvýšené podlaze. [zdroj: vlastní]	44
Obr. 28: Stěny před použitím funkce Připojit geometrii [zdroj: vlastní].....	45
Obr. 29: Stěny po použití funkce Připojit geometrii [zdroj: vlastní]	45
Obr. 30: Nepřipojená stěna z 1NP viditelná v řezu 3D modelem [zdroj: vlastní].....	46
Obr. 31: Řez 3D modelem, žádná nepřipojená stěna z 1NP není vidět [zdroj: vlastní] .	46
Obr. 32: Dveře do technické místnosti vymodelované v Revitu [zdroj: vlastní]	47
Obr. 33: Dveře do technické místnosti [zdroj: vlastní foto]	47
Obr. 34: Model dveří s dřevěným obložením [zdroj: vlastní]	48
Obr. 35: Model dvoukřídlých dveří [zdroj: vlastní]	48
Obr. 36: Ukázka vymodelovaného okna s referenčními rovinami [zdroj: vlastní]	50
Obr. 37: Skenování schodiště vedoucího na půdu [zdroj: vlastní foto].....	51
Obr. 38: Schodiště s bodovým mračnem [zdroj: vlastní]	52
Obr. 39: Schodiště s dřevěným obložením a zábradlím vymodelované v Revitu [zdroj: vlastní]	52
Obr. 40: Krov vymodelovaný v Revitu, pohled bez střechy [zdroj: vlastní].....	54
Obr. 41: Krov, foceně z půdy [zdroj: vlastní].....	55
Obr. 42: Krov vymodelovaný v Revitu [zdroj: vlastní].....	55
Obr. 43: Fabiony vymodelované v Revitu [zdroj: vlastní]	56
Obr. 44: Římsy vymodelované v Revitu [zdroj: vlastní].....	57
Obr. 45: Průchod na půdu [zdroj: vlastní foto].....	58

Obr. 46: Průchod na půdu vymodelovaný v Revitu [zdroj: vlastní].....	58
Obr. 47: Vstupní dveře na půdu [zdroj: vlastní foto].....	58
Obr. 48: Vstupní dveře na půdu vymodelované v Revitu [zdroj: vlastní].....	58

13 Seznam tabulek

Tab. 1: Parametry skeneru Trimble X9 [35].....	24
Tab. 2: Porovnání oměrných měř z modelu, mračna bodů a skutečnosti [zdroj: vlastní]	63

14 Seznam použitých zkratk

BIM	Building Information Modeling / Management
Bpv	Výškový systém baltský – po vyrovnání
CAD	Computer Aided Design
CDE	Common Data Environment
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
GNSS	Global Navigation Satellite System
HBIM	Heritage Building Information Modeling
IFC	Industry Foundation Classes
IMU	Inertial Measurement Unit – inerciální měřící jednotka
LOD	Level of Development
RTK	Real Time Kinematic
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
VB	vřícovací bod(y)
1NP	první nadzemní podlaží
2NP	druhé nadzemní podlaží

15 Seznam příloh

15.1 Seznam tištěných příloh

Příloha č. 1 – Půdorys 2NP

Příloha č. 2 – Řez A – A‘

Příloha č. 3 – Řez B – B‘

Příloha č. 4 – Pohledy

15.2 Seznam elektronických příloh

5.1 Technická zpráva

5.2 Záznamy z měření

5.2.1 Job GNSS.job

5.2.2 Job TS.job

5.2.3 Zápisník TS.asc

5.3 Protokol o výpočtech

5.3.1 Protokol GNSS.txt

5.3.2 Protokol.pro

5.4 Seznam souřadnic.txt

5.5 Protokol o zpracování mračna bodů.rtf

5.6 3D model.rvt

5.7 Výkresová dokumentace (*.pdf + *.dwg)

5.7.1 Půdorys 2NP

5.7.2 Řez A – A‘

5.7.3 Řez B – B‘

5.7.4 Pohledy

5.8 Ověření přesnosti.xlsx