ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

STUDIJNÍ OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

DOMY HAVELSKÁ Č.P. 506/507 (PRAHA 1) – FOTOGRAMMETRICKÁ DOKUMENTACE PODLOUBÍ

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

Katedra geomatiky

květen 2021

Anna Tichá

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Tichá Jméno: Anna Osobní číslo: 487739

Zadávající katedra: Katedra geomatiky - K155

Studijní program: Geodézie a kartografie - B3645

Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika - 3646R011

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Domy Havelská č.p. 506/507 (Praha 1) - fotogrammetrická dokumentace podloubí

Název bakalářské práce anglicky: Havelská houses No. 506/507 (Prague 1) - photogrammetric documentation of archway

Pokyny pro vypracování:

- ve spolupráci se zadavatelem proveďte rekognoskaci zaměřovaného prostoru a definujte typ a parametry výstupů projektu,
- navrhněte vhodné měřické metody a technologické postupy pro vytvoření definovaných výstupů,
- proveďte měřické práce v zájmovém prostoru v nezbytném rozsahu s důrazem na možnosti kontroly přesnosti,
- zpracujte pořízená data do podoby výstupů,
- shrňte dosažené výsledky a zhodnoťte jejich přesnost a vypovídací schopnost v kontextu dalšího využití zadavatelem.

Seznam doporučené literatury:

JÁKL, Martin. Dům U Sixtů Kamzíková 7 (Praha 1) - fotogrammetrická dokumentace vybrané části. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2019.

KUČERA, Petr. Dům Truhlářská 1113/8 (Praha 1) - fotogrammetrická dokumentace vybrané části. bakalářská práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2020.

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 ředitelstvím, 2014. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav).

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2021 Termín odevzdání bakalářské práce: 16. května 2021

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

[redacted]
Podpis vedoucího práce

[redacted]
Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

18. 2. 2021
Datum převzetí zadání

[redacted]
Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá fotogrammetrickou dokumentací podloubí domů Havelská čp.506/507 na Praze 1. V práci je popsán průběh od terénních a kancelářských prací až po tvorbu výsledných výstupů. Těmi je výsledný 3D model celé dokumentované části objektu a z něj vytvořená dílčí ortofota zpracovaná do výkresů v měřítku 1:20.

Klíčová slova

Fotogrammetrie, 3D model, ortofoto, domy Havelská č.p.506/507, podloubí, Agisoft Metashape, MicroStation

Abstract

This bachelor thesis is about photogrammetric documentation of a house's archway at Havelská č.p.506/507, Prague 1. The thesis describes work in the field as well as the necessary work in the office, results included. The results are partial orthophotos and drawings in scale 1:20 and a 3D model of the whole object

Key words

Photogrammetry, 3D model, orthophoto, houses Havelská č.p. 506/507, archway, Agisoft Metashape, MicroStation

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Domy Havelská č.p. 506/507 (Praha 1) – fotogrammetrická dokumentace podloubí“ vypracovala samostatně.

Veškerou použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne ....

Podpis

Poděkování

Velké poděkování patří hlavně vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jindřichu Hodačovi, PhD. za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi při zpracování práce věnoval.

Dále bych ráda poděkovala mému spolužákovi Martinu Bouškovi, který mi byl nápomocen při práci v terénu.

Obsah

Úvod 8

1 Popis objektu 10

2 Volba metody 11

3 Použité přístroje 12

3.1 Fotoaparát Nikon D7100 12

3.2 Objektiv Sigma 13

3.3 Totální stanice Leica TS06 14

3.4 Nivelační přístroj 15

4 Použitý software 16

4.1 FastStone Image Viewer 16

4.2 Groma 16

4.3 Agisoft Metashape 17

4.4 CloudCompare 17

4.5 MicroStation 18

5 Práce v terénu 19

5.1 Snímkování 19

5.2 Geodetické měření 21

5.3 Výškové připojení 22

6 Kancelářské práce 23

6.1 Zpracování geodetického měření 23

6.2 Fotogrammetrické zpracování 24

6.2.1 Kontrola kvality snímku 25

6.2.2 Orientace snímků – řídké mračno 25

6.2.3 Definování vlícovacích bodů 27

6.2.4 Filtrace spojovacích bodů 29
6.2.5 Výpočet mračna bodů – husté mračno 31
6.2.6 Filtrace hustého mračna 37
6.2.7 Tvorba Ortofota 39
6.2.8 Tvorba výkresů 40
6.3 Porovnávání mračna 41
7 Zhodnocení výsledků 50
Závěr 53
Použité zkratky 54
Seznam zdrojů 55
Seznam obrázků 56
Seznam tabulek 58
Seznam příloh 59
A Tištěné přílohy 60
B Seznam vyhotovené dokumentace 61
C Obsah DVD 62

Úvod

Předmětem této bakalářské práce je fotogrammetrická dokumentace podloubí domů Havelská č.p.506/507 v Praze 1. Cílem je tak vytvoření 3D modelu zájmového území a následná tvorba dílčích ortofot a jejich výkresů v měřítku 1:20.

Nejdříve se text práce věnuje danému objektu a území, ve kterém se nachází. Dále je věnována kapitola rekognoskaci terénu a volbě vhodných výstupů podle požadavků zadavatele. Na základě toho byla zvolena vhodná metoda pro zpracování.

Pro vyhotovení této dokumentace tak byla zvolena fotogrammetrická metoda s polohovým připojením ve vlastní soustavě s matematickou orientací os a výškovým připojením v Bpv. Kapitola třetí a čtvrtá popisuje použité přístroje pro snímkování a geodetické měření a programy, které byly použity pro následné zpracování. Nato navazuje kapitola pátá, která se věnuje následnému snímkování objektu a geodetickému měření.

Šestá kapitola je věnována podrobnému popisu kancelářského zpracování, které tvoří největší část této práce. Je zde popsáno zpracování geodetického měření a zpracování pořízených snímků do podoby 3D modelu a dílčích ortofot až po výsledné výkresy v měřítku 1:20. Tato kapitola také obsahuje provedené porovnání mračna bodů vytvořeného pomocí fotogrammetrické metody s mračnem bodů z laserového skenování. Metoda laserového skenování nebyla z časových důvodů námi prováděna. Proto bylo toto mračno získáno z paralelně probíhající diplomové práce.

Poslední, sedmá kapitola je věnována zhodnocení dosažených výsledků v průběhu celého měření a zpracovávání. Nakonec je celá práce shrnuta v závěru.

Cíle bakalářské práce:

- Volba vhodné metody zpracování
- Volba výsledných výstupů
- Sběr dat v terénu
- Vytvoření prostorového modelu
- Vytvoření dílčích ortofot
- Zhodnocení výsledné přesnosti

1 Popis objektu

Domy Havelská č.p. 506/507 se nacházejí na známém pražském Havelském trhu v Praze 1 na Starém Městě. Na obrázku 1 je zobrazena jejich poloha. Domy jsou zvláštní tím, že mají dvě popisná čísla, ale je to vlastně jeden dům, který byl v minulosti asi rozdělen a následně zase propojen. Díky tomu je každá strana domu jiná. To je vidět hlavně v jejich loubí, jejichž postupný stavební vývoj probíhal u každého jinak. Jak je vidět na obrázku 2, pravá strana domu má v loubí plochý strop, zatímco levá strana má strop klenutý.

Obrázek 1: Poloha Domů Havelská č.p. 506/507 [1]

Obrázek 2: Domy Havelská č.p.506/507

2 Volba metody

Ze všeho nejdříve musela být provedena rekognoskace zadaného objektu. Spolu se zadavatelem, kterým je doc. Ing. Michael Rykl, PhD byl zadaný objekt projit a byly ujasněny výsledné výstupy. Těmi je 3D model zadaného objektu, na základě toho tvorba dílčích ortofot a z nich vytvořené výkresy v měřítku 1:20, případně 1:50 pro přední část objektu.

Na základě těchto požadavků byla zvolena vhodná metoda zpracování. Tou byla fotogrammetrická metoda, která je nenáročná na dobu pořizování dat. Mračno bodů pořízené touto cestou ovšem nedosahuje tak velké kvality. Proto bylo jako další uvažováno o metodě laserového skenování. Pořizování dat při této metodě sice zabere více času, ale výsledné mračno bodů je vzhledově ,,čistší‘‘. Právě z časových důvodů nebyla tato metoda nakonec použita.

Jelikož byla námi pořízená data předávána dále architektům, byla snaha dodat tyto podklady v co největší kvalitě. Jak je zmíněno v úvodu, mračno bodů z laserového skenování tak bylo získáno z paralelně probíhající diplomové práce ve stejné lokalitě.

3 Použité přístroje

V této kapitole budou popsány přístroje, které byly použity při pracích v terénu. Bylo použito dvou přístrojů pro geodetickou část a jednoho přístroje pro část fotogrammetrickou.

3.1 Fotoaparát Nikon D7100

Pro pořízení snímků byl využit digitální fotoaparát Nikon D7100 (obrázek 3). Tento digitální fotoaparát je vyroben Japonskou firmou Nikon. Využívá obrazový snímač CMOS formátu DX s 24,1 milionem pixelů a zachycuje tak s vysokou ostrostí i nejjemnější struktury. Digitální fotoaparát je odolný proti prachu a klimatickým vlivům, je vybavený horním a zadním krytem z hořčíkové slitiny. Nabízí sériové snímání s frekvencí 6 obr./s, inovativní funkci výřezu 1,3x z formátu DX a vysokou citlivost ISO s nastavením v rozmezí ISO 100–6400 pro vynikající výsledky za špatného osvětlení. Fotoaparát je vybaven automatickým zaostřováním, které nabízí vysokou rychlost a přesnost. Umožňuje fotografovat také s využitím hledáčku nebo živého náhledu. [2]

Obrázek 3: Digitální fotoaparát Nikon D7100 [2]

3.2 Objektiv Sigma

Pro fotoaparát Nikon D7100 bylo použito objektivu Sigma 17-50 mm f/2,8 EX DC OS HSM (obrázek 4). Jedná se o standardní zoom objektiv s optickým stabilizátorem obrazu proti rozmazání snímků. Objektiv je ideální pro focení krajiny, skupinových fotografií, architektonických snímků nebo pro cestovní fotografie. Kontinuální vysokou intenzitu zajišťuje optimální světelný výstup a umožňuje tak vysokou rychlost závěrky, aby se minimalizovalo riziko rozostření fotoaparátu. Ohniskovou vzdálenost je možné nastavit mezi 17 až 50 mm s minimální zaostřovací vzdáleností 28 cm. Objektiv má světelnost f/2,8. [3]

Obrázek 4: Objektiv Sigma [3]

3.3 Totální stanice Leica TS06

K zaměření vlícovacích bodů a bodů pro spolupracující architekty byla použita totální stanice Leica TS06 v.č.1342473 (obrázek 5). Tato totální stanice je produktem švýcarské firmy Leica Geosystems. Její úhlová přesnost je v jedné skupině 0,6 mgon. Při měření délek na hranol má dosah až 3500 m a přesnost je 1,5 mm + 2 ppm. Přesnost délek při bezhranolovém měření je do 500 m 2 mm + 2 ppm, na delší vzdálenosti je to 4 mm + 2 ppm. [4]

Obrázek 5: Totální stanice Leica TS06

3.4 Nivelační přístroj

Pro výškové připojení technickou nivelací byl použit nivelační přístroj Carl Zeiss Jena NI020A vč. 006726 (obrázek 6). Nivelační přístroj pochází z německé firmy Carl Zeiss. Tento přístroj není vybaven klasickými stavěcími šrouby, ale pro urovnání do vodorovné polohy je využito stavěcích klínu, kterými se stroj urovnává pohybem obou klínů současně k sobě nebo od sebe. K přístroji byla použita skládací nivelační lať a podložka.

Obrázek 6: Nivelační přístroj

4 Použitý software

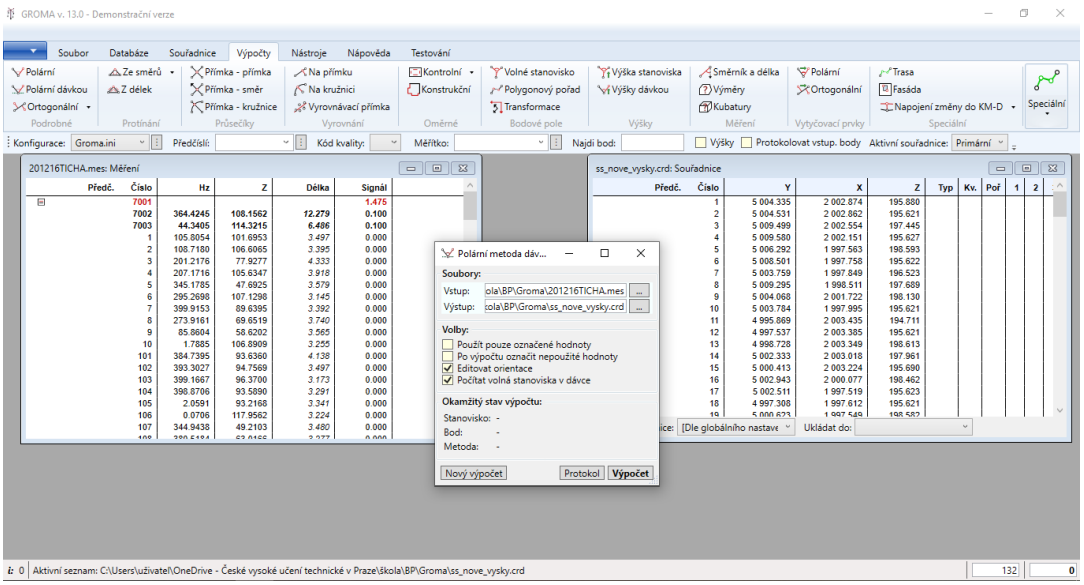
Pro zpracování získaných dat bylo použito mnoho softwarů, které budou v této kapitole podrobněji popsány.

4.1 FastStone Image Viewer

FastStone Image Viewer je klasický prohlížeč obrázku pro OS Microsoft Windows. Mimo základní prohlížení ale obsahuje i nástroje pro úpravu obrázků. Některé z pořízených snímků, byly upraveny právě pomocí tohoto programu.

4.2 Groma

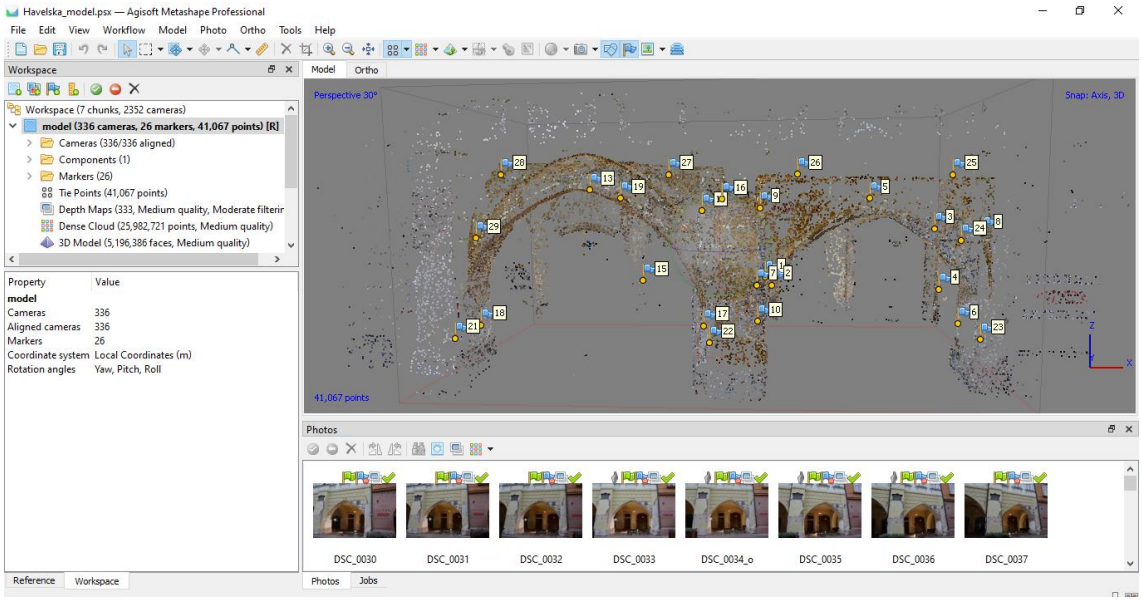
Pro výpočet souřadnic zaměřených bodů byl využit program Groma (obrázek 7). Tento program je vyvíjen českou firmou Geoline. Pracuje v prostředí OS Microsoft Windows a je určen ke geodetickým výpočtům. Lze v něm řešit všechny základní geodetické úlohy, a navíc obsahuje i možnost zobrazení jednoduché grafiky pro lepší orientaci při práci. Do programu je možné naimportovat všechny běžné formáty souřadnic i záznamníků měření. [5]



Obrázek 7: Prostředí programu Groma

4.3 Agisoft Metashape

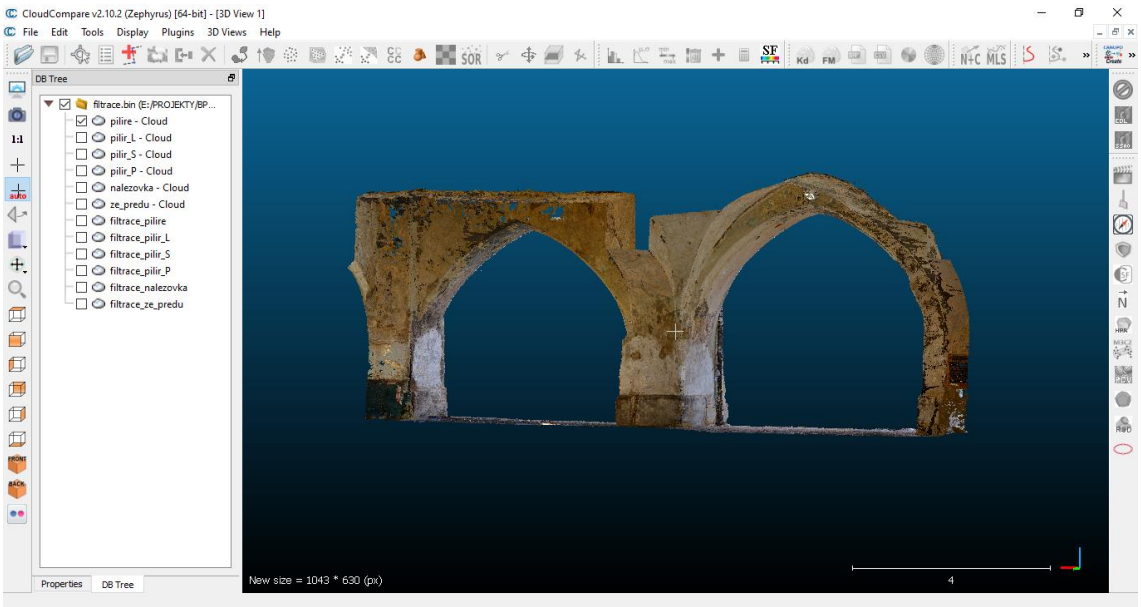
Největší část fotogrammetrického zpracování probíhala v programu Agisoft Metashape (obrázek 8). Tento program je určen pro fotogrammetrické zpracování digitálních snímků do podoby 3D dat, ortofot a mnoha dalších výstupů. Data lze využívat při práci v GIS aplikacích, pro dokumentaci kulturního dědictví, nebo při tvorbě vizuálních efektů. [6]



Obrázek 8: Prostředí programu Agisoft Metashape

4.4 CloudCompare

K porovnávání mračen bodů (kap.6.3) a také filtraci dílčích částí mračna (kap.6.2.6) byl použit program CloudCompare (obrázek 9). V tomto programu lze zobrazovat a upravovat 3D mračna bodů vytvořená z laserového skenování nebo fotogrammetrickým zpracováním. V programu byly použity funkce na již zmíněné porovnávání a filtraci mračna. Dále program umožňuje ořezávání mračna o nechtěné části nebo vyříznutí určitých části mračna. Také v něm byly tvořeny řezy při porovnávání mračen (kap.6.3). Výstupem z tohoto programu může být například mračno bodů ve formátu las nebo ply, ale také může být uložena skupina mračen do formátu bin.



Obrázek 9: Prostředí programu CloudCompare

4.5 MicroStation

Pro tvorbu výsledných výkresů z vytvořených ortofot byl zvolen program MicroStation Vi8. Program patří do rodiny CAD systémů. Pracuje v prostředí Microsoft Windows. Jako základní formát vektorových dat používá formát DGN, ale umí využít i jiné běžné formáty jako DWG nebo DXF. Snadno do něj lze importovat ale i jiné formáty, například pomocí raster manageru formát JPG, kterého také bylo využito.

5 Práce v terénu

V této kapitole budou popsány práce, které probíhaly v okolí Havelského trhu v Praze 1 na Starém Městě.

5.1 Snímkování

Snímkování zadané lokality proběhlo 16.12.2020. Jako první byla provedena rekognoskace zadané lokality. Spolu se zadavatelem, kterým je doc. Ing. Michael Rykl, PhD., byly zvoleny požadované výstupy. Na základě toho byl rozvržen průběh snímkování. Kvůli špatnému osvětlení v prostorách podloubí bylo instalováno doplňkové osvětlení. Snímky byly pořizovány ve formátu jpg s nastavením, které zachycuje tabulka 1. Samotné snímkování probíhalo nejdříve z venku a poté zevnitř. Snímky byly voleny tak, aby se co nejvíce vzájemně překrývaly. Vzhledem ke zvoleným výstupům byl objekt snímkován jako celek, ale i s většími detaily. Ukázku průběhu snímkování zachycuje obrázek 10 a 11. Celkem bylo pořízeno 354 snímků. Všechny pořízené snímky jsou v součástí přiloženého DVD (složka Fotogrammetrické zpracování).

Tabulka 1: Nastavení fotoaparátu

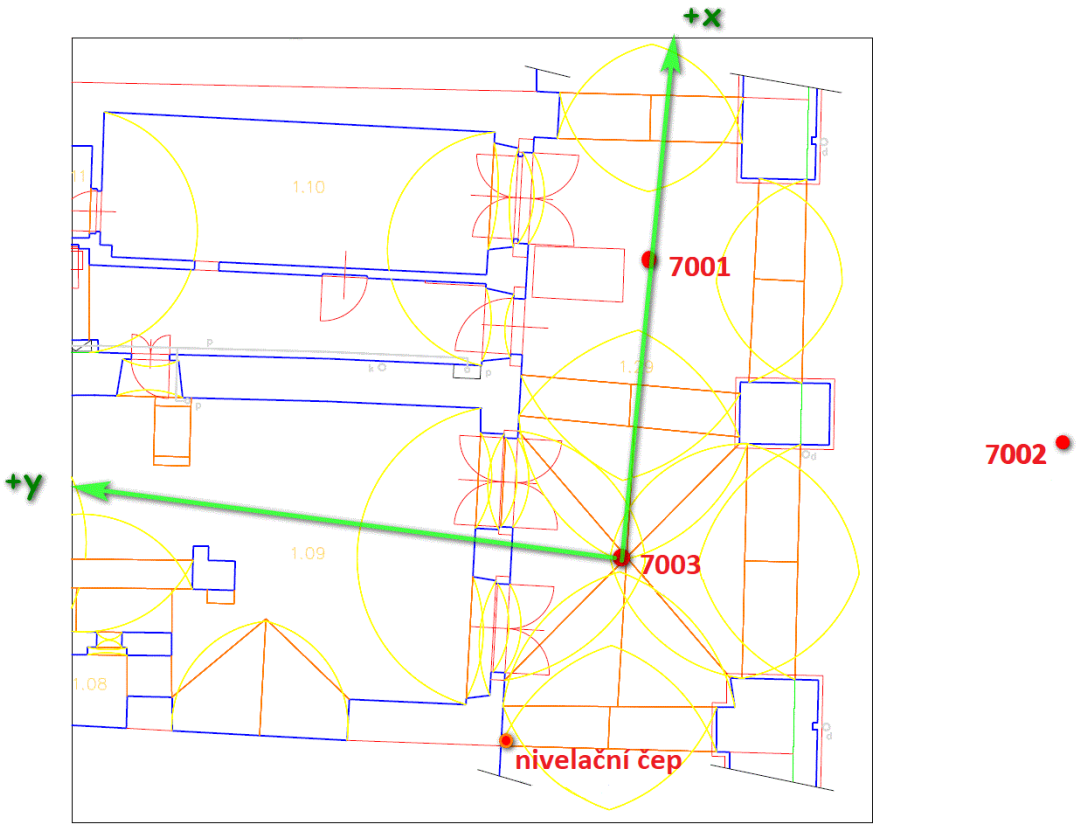
Číslo clony	f/9
Citlivost ISO	ISO 1000
Ohnisková délka	17 mm

Obrázek 10: Ukázka snímku celé stěny

Obrázek 11: Ukázka detailního snímku

5.2 Geodetické měření

Geodetické měření probíhalo ve stejný den jako snímkování, tedy 16.12.2020. Bylo k tomu použito totální stanice Leica TS06 (kap.3.3). Byla zvolena tři stanoviska, jedno venku a dvě vevnitř, každé do jednoho loubí tak, aby bylo, pokud možno vidět všude. Schéma volby souřadnicového systému je zobrazeno na obrázku 12. Měření orientací na jednotlivá stanoviska probíhalo pomocí minihranolu, pro měření vlícovacích bodů a bodů pro spolupracující architekty bylo použito bezhranolového měření. Vlícovací body byly voleny na dobře rozpoznatelných místech, byly zaneseny do náčrtu (Příloha A) a místo bylo pro jistotu vyfoceno mobilním telefonem pro ulehčení pozdějšího rozpoznávání na jednotlivých snímcích. Celkem bylo zaměřeno 129 bodů, z toho 30 vlícovacích bodů a 99 podrobných bodů pro potřeby spolupracujících architektů.



Obrázek 12: Schéma volby souřadnicového systému

5.3 Výškové připojení

Pro výškové připojení modelu byla zvolena technická nivelace. Pro měření byl použit nivelační přístroj Zeiss Jena NI20A (kap. 3.4). Nivelace byla provedena 22.4.2021 a její výsledky byly využity jak pro tuto bakalářskou práci, tak pro již zmíněnou diplomovou práci, která probíhá ve stejné lokalitě.

Nejdříve byly na stránkách ČÚZK pomocí aplikace *Geoprohlížeč* vyhledány nivelační údaje pro nivelační body v nejbližším okolí objektu. Všechny tyto nivelační body patří do nivelačního pořadu BI Plzeň – Praha. Nivelační zápisník a nivelační údaje o bodech obsahuje přiložené DVD (složka Geodetické měření a výpočty).

Dále bylo provedeno ověření výšky nivelačního bodu BI-194.2 pomocí nivelačního oddílu z bodu BI-195. Rozdíl nadmořských výšek těchto dvou bodů je 0,261 m a měřené převýšení vyšlo 0,262 m. Rozdíl daného převýšení a měřeného převýšení je tedy 1 mm. Mezní odchylka, která se vypočte jako

$$\Delta_M = 40 \cdot \sqrt{R/2} \tag{1}$$

činí 5 mm a nebyla tak překročena. Výška bodu BI-194.2 je považována za správnou.

Poté probíhalo měření nivelačního oddílu z bodu BI-194.2 na bod BI- 194. V tomto pořadu byly potřebné body, které jsou dobře měřené v terénu a také znatelné na modelu, měřeny bočně. Celkem tak bylo pro naše účely změřeno 7 bočních bodů. Body byly voleny na rozích objektu, prazích, případně bylo využito nivelačních čepů na objektu. Celý pořad měl vzdálenost 215 m. Převýšení bodů nivelačního oddílu je 0,051 m a naměřené převýšení vyšlo 0,050 m. Rozdíl daného a měřeného převýšení je 1 mm. Mezní odchylka 18 mm vypočtená podle vzorce (1) tak nebyla překročena.

6 Kancelářské práce

Nedílnou součástí každého měření je jeho následné zpracování. Tato kapitola je věnována kancelářskému zpracování, tedy postupu od načtení pořízených snímků, přes tvorbu 3D modelu až po zpracování výsledných ortofot a jejich výkresů. Postup fotogrammetrického zpracování byl proveden za pomoci instruktážních videí pana Ing. Jindřicha Hodače, Ph.D. Zadávané parametry pro tvorbu hustého mračna, 3D modelu a výsledných ortofot jsou v souladu s požadavky na výstupy voleny dle [7].

6.1 Zpracování geodetického měření

Pro zpracování geodetického měření byl zvolen program Groma (kap.4.2). Do tohoto programu bylo importováno měření z totální stanice. Byla provedena kontrola měření, označení stanovisek, orientací a podrobných bodů. Polohové umístění bylo voleno ve vlastní soustavě s matematickou orientací os (obrázek 6). Stanovisko 7003 bylo zvoleno jako počátek soustavy s orientací na bod 7001 (stanovisko 7002 dopočteno pomocí polární metody). Souřadnice bodů definujících místní souřadnicový systém jsou zobrazeny v tabulce 2. Jelikož výškové připojení lokality do systému Bpv probíhalo s časovým odstupem, byla zvolena dočasná výška měřeného nivelačního čepu (obrázek 12) na 100 m. Pomocí tohoto bodu byly pomocí trigonometrického určováním výšek dopočteny výšky jednotlivých stanovisek a ostatní výšky poté program sám dopočítal.

Tabulka 2: Souřadnice stanovisek

č.b.	X [m]	Y [m]
7001	5006,324	2000,000
7003	5000,000	2000,000

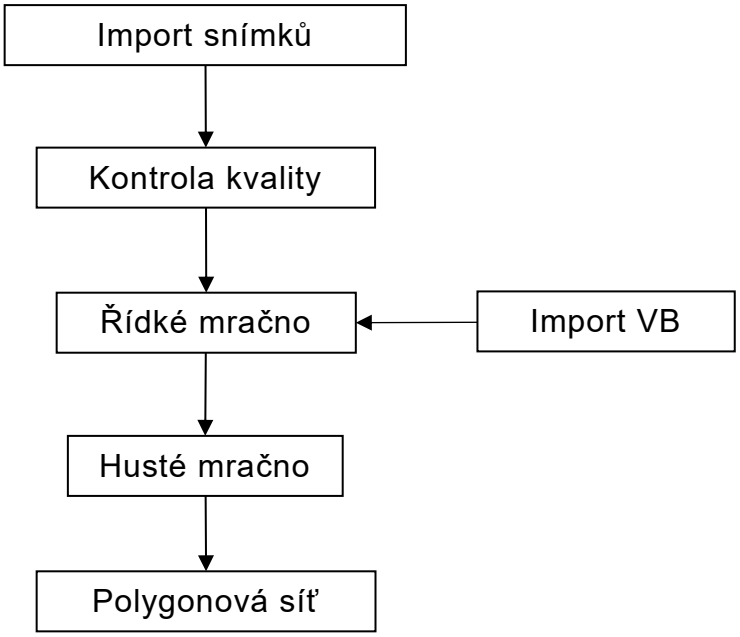
Pro výpočet souřadnic vlícovacích a podrobných bodů byla zvolena polární metoda dávkou. Při výpočtu dosahovali největší odchylky 3,9 mgon v orientaci, 1 mm v délce a 6 mm v převýšení. Celý protokol o výpočtu spolu s měřenými daty z totální stanice je součástí přiloženého DVD (složka Geodetické měření a výpočty).

Později po proběhlém měření technické nivelace (kap.5.3) byly všechny výšky „opraveny“ o výšku, která byla nivelací zjištěna. Všechny výšky tak byly opraveny o +94,711 metrů. Výškové připojení bylo použito pro tvorbu výkresů v programu MicroStation. Zápisník měření technické nivelace spolu se seznamem souřadnic původních i opravených výšek je součástí přiloženého DVD.

6.2 Fotogrammetrické zpracování

Pro tvorbu 3D modelu a dalších FTG výstupů byl zvolen program Agisoft Metashape (kap.4.3). Než bylo možné s pořízenými snímky v tomto programu pracovat, musely být zkontrolovány. Některé nekvalitní případně duplicitní snímky byly odmazány. U dalších snímků byl proveden jednoduchý postprocessing, a to zesvětlení stínů, pomocí programu FastStone Image Viewer (kap.4.1). Z celkem 354 pořízených snímků tak bylo použito 336 snímků.

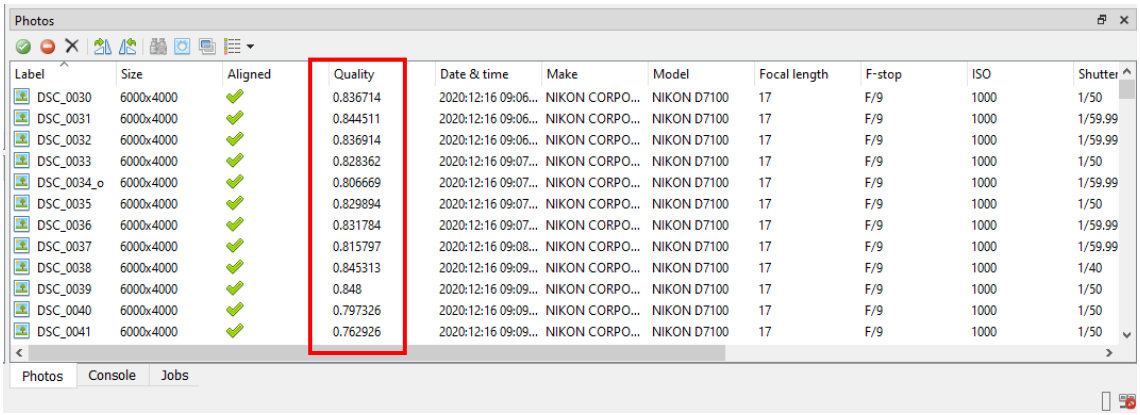
Zkontrolované snímky byly importovány do programu Agisoft Metashape. Zde byl založen nový tzv. *Chunk*, a do něj byly všechny tyto snímky vloženy. Postup dalšího zpracování v programu zachycuje schéma na obrázku 13.



Obrázek 13: Schéma zpracování

6.2.1 Kontrola kvality snímku

Na začátku musí být provedena kontrola kvality snímků (Estimate image quality), kde se software snaží odhadnout obrazovou kvalitu snímků. Ukázka kvality snímků je zobrazena na obrázku 14. Doporučený koeficient kvality je 0,5 a vyšší. Snímky, které koeficient kvality nesplňují je možné vypnout, případně z projektu úplně odstranit. V našem případě všechny splnily koeficient kvality, proto nebylo potřeba žádné vypnout ani odstranit.

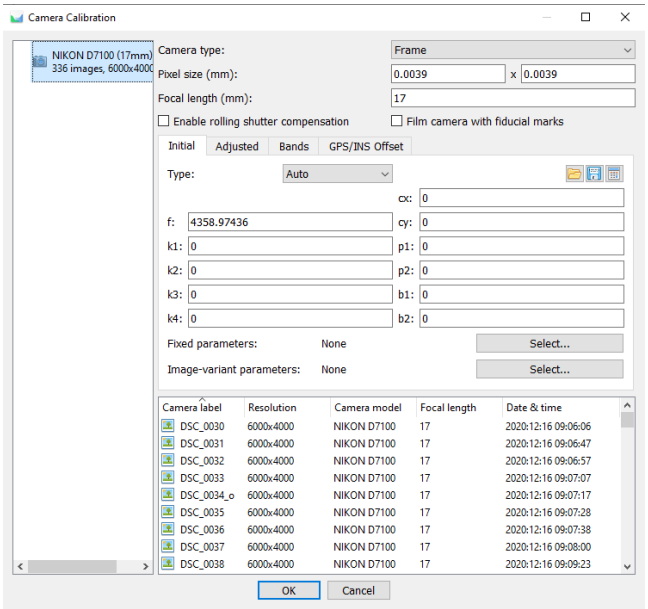


Label	Size	Aligned	Quality	Date & time	Make	Model	Focal length	F-stop	ISO	Shutter
DSC_0030	6000x4000	✓	0.836714	2020:12:16 09:06...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/50
DSC_0031	6000x4000	✓	0.844511	2020:12:16 09:06...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/59.99
DSC_0032	6000x4000	✓	0.836914	2020:12:16 09:06...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/59.99
DSC_0033	6000x4000	✓	0.828362	2020:12:16 09:07...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/50
DSC_0034_o	6000x4000	✓	0.806669	2020:12:16 09:07...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/59.99
DSC_0035	6000x4000	✓	0.829894	2020:12:16 09:07...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/50
DSC_0036	6000x4000	✓	0.831784	2020:12:16 09:07...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/59.99
DSC_0037	6000x4000	✓	0.815797	2020:12:16 09:08...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/59.99
DSC_0038	6000x4000	✓	0.845313	2020:12:16 09:09...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/40
DSC_0039	6000x4000	✓	0.848	2020:12:16 09:09...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/50
DSC_0040	6000x4000	✓	0.797326	2020:12:16 09:09...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/50
DSC_0041	6000x4000	✓	0.762926	2020:12:16 09:09...	NIKON CORPO...	NIKON D7100	17	F/9	1000	1/50

Obrázek 14: ukázka kontroly kvality snímků

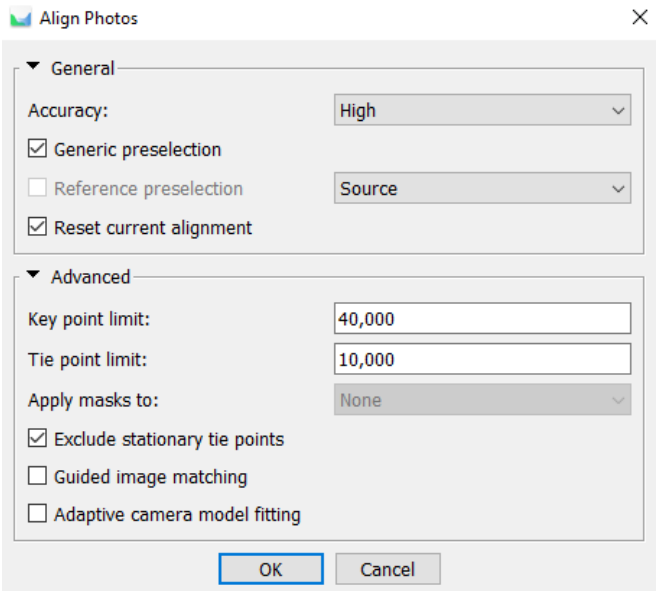
6.2.2 Orientace snímků – řídké mračno

Aby mohl být proveden výpočet vzájemné orientace snímků a vytvořeno řídké mračno, musí být do programu vloženy kalibrační prvky vnitřní orientace pro daný fotoaparát. Pro náš fotoaparát Nikon D7100 byly vloženy hodnoty velikosti pixelu 3,9 μm, které jsou dány výrobcem [8]. Dále je systémem automaticky odečtena ze snímků hodnota f – konstanta komory. Tyto parametry zachycuje obrázek 15.



Obrázek 15: Vstupní hodnoty prvků vnitřní orientace

Následně může být provedena orientace snímků. Ta se spustí pomocí funkce *Align Photos*. Je zde nastavována přesnost, v našem případě je požadována vysoká kvalita (high). Dále je tu možnost navolit limit klíčových a spojovacích bodů. Tyto hodnoty byly ponechány tak, jak nám je nabízí systém. Nastavené parametry jsou zobrazeny na obrázku 16.



Obrázek 16: Nastavení orientace snímků

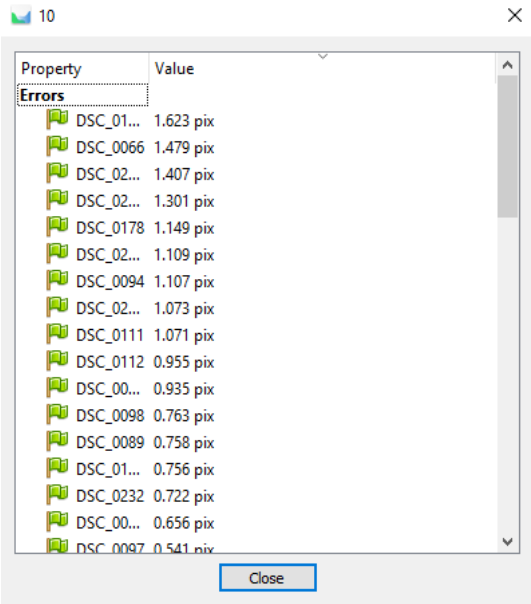
6.2.3 Definování vlícovacích bodů

V této fázi jsou do programu importovány již dříve vypočtené souřadnice vlícovacích bodů, díky kterým dostane náš model rozměr a velikost. Souřadnice vlícovacích bodů vkládaných do programu Agisoft Metashape jsou uvedeny v tabulce 3. Jelikož byl výpočet VB proveden v geodetickém programu Groma, systém počítá s orientací os v systému S-JTSK. Program Agisoft Metashape ale pracuje v matematické soustavě, jak také byl volen souřadnicový systém pro náš model. Na to musí být brán ohled už při výpočtu a v programu Groma tomu musí být uzpůsobena orientace os.

Tabulka 3: Souřadnice VB

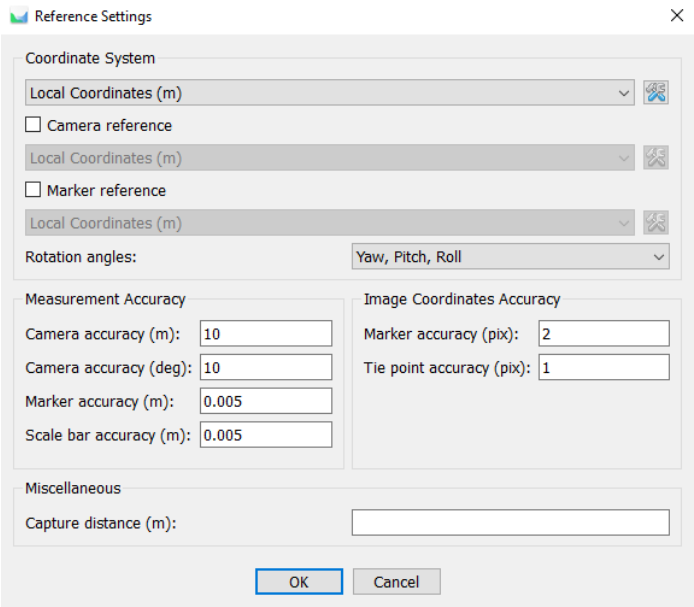
č.b.	X [m]	Y [m]	Z [m]
1	5004,335	2002,874	101,169
2	5004,531	2002,862	100,910
3	5009,499	2002,554	102,734
4	5009,580	2002,151	100,916
5	5006,292	1997,563	103,882
6	5008,501	1997,758	100,911
7	5003,759	1997,849	101,812
8	5009,295	1998,511	102,978
9	5004,068	2001,722	103,419
10	5003,784	1997,995	100,910
13	4998,728	2003,349	103,902
14	5002,333	2003,018	103,250
15	5000,413	2003,224	100,979
16	5002,943	2000,077	103,751
17	5002,511	1997,519	100,912
18	4997,308	1997,612	100,910
19	5000,623	1997,549	103,871
21	4997,179	1996,455	100,909
22	5002,670	1996,070	100,910
23	5008,453	1996,345	100,914
24	5008,003	1996,475	103,027
25	5007,766	1996,476	104,409
26	5004,525	1996,636	104,423
27	5001,793	1996,705	104,407
28	4998,140	1996,942	104,413
29	4997,527	1996,932	103,028

Vlícovací body bylo ale potřeba označit na pořízených snímcích. K tomu slouží tzv. Markery, které je třeba přidat na snímky a označit přesnou polohu daného bodu. K urychlení tohoto procesu slouží funkce *Filtre photos by Marker*, která na základě orientace snímků vybere snímky, na níž je daný bod vidět. I přes tuto funkci je ale potřeba projít všechny snímky a VB zkontrolovat. Na některých snímcích může být daný VB vypnut, pokud jeho přesnost na daném snímku výrazně ovlivňuje, a tedy zhoršuje celkovou přesnost daného bodu. K tomu slouží funkce *Show info* na daném bodě (Markeru), která nám umožňuje daný bod zobrazit a seřadit podle přesnosti na jednotlivých snímcích (obrázek 17).



Obrázek 17: funkce show info

Dále bylo potřeba definovat souřadnicový systém, který je v našem případě lokální a nastavit přesnost VB. Jelikož jsou zadavatelem požadovány výstupy v měřítku 1:20 je potřeba, aby výsledné mračno nepřekračovalo přesnost 1 cm. Nastavení je patrné z obrázku 18.



Obrázek 18: Nastavení souřadnicového systému

6.2.4 Filtrace spojovacích bodů

Nejdříve bylo pomocí funkce *Optimize Cameras* provedeno svazkové vyrovnání, to nám ještě více zpřesní mračno. Následně byla spuštěna funkce *Gradual Selection*. Při této funkci jde o odstranění automaticky určených spojovacích bodů z řídkého mračna, které mají nízkou přesnost a mohou negativně ovlivnit přesnost výpočtu modelu. Máme zde na výběr ze 4 kritérii:

- Image Count,
- Projection accuracy,
- Reconstruction uncertainty
- Reprojection error.

Kritérium *Image Count* nám určuje počet snímků, kde je tvořen překryv. Pokud je počet snímků nízký, dané body budou mít nejspíše špatnou kvalitu. Tato funkce nám umožňuje tyto nespolehlivé body najít a odstranit.

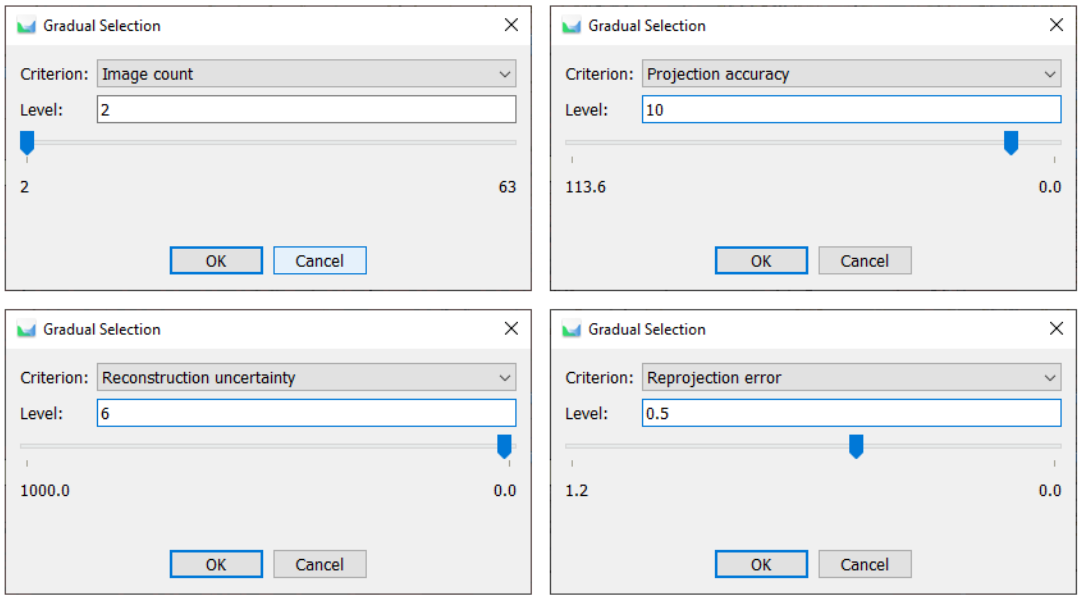
Kritérium *Projection accuracy* nám udává úhel protnutí, při kterém byly určeny souřadnice spojovacích bodů. Toto kritérium nám tak umožňuje odfiltrovat body, u kterých je úhel protnutí větší.

Kritérium *Reconstruction uncertainty* je základnový poměr. Vyhledává body, které se mohou odchylovat od objektu a tvořit šum. Díky této filtraci se jich můžeme alespoň částečně zbavit.

Posledním kritériem je *Reprojection error*, chyba projekce. Ta udává maximální chybu projekce pro spojovací body. Vysoká chyba projekce může vést ke špatné přesnosti spojovacích bodů. Odstranění méně přesných bodů může zlepšit následnou přesnost svazkového vyrovnání.

Vždy je vybráno jedno kritérium, nastaveno na zvolenou hodnotu a vybrané body se smažou. Následně je nutné opět provést svazkové vyrovnání. Celý tento proces se opakuje pro všechna dostupná kritéria, dokud nejsou vybrány žádné body nebo jen minimum. Vždy ale musí být brán ohled na to, kolik bodů v mračnu nakonec zůstane. V našem případě z 466 tisíc bodů zbylo 41 tisíc bodů. Před provedením této filtrace mračno bodů nesplňovalo podmínku přesnosti do 1 cm. Po provedené filtraci se podařilo přesnost mračna výrazně zlepšit a odchylky na vlícovacích bodech dosahují přesnosti do 6 mm.

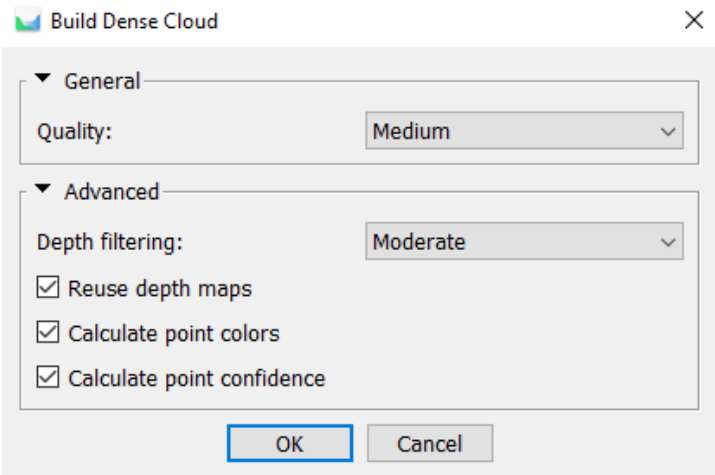
Nastavení jednotlivých parametrů není přesně dáno a záleží tak především na zkušenostech s danou problematikou. Nastavení jednotlivých parametrů tak bylo voleno na základě konzultace s panem Ing. Jaroslavem Šedinou, Ph.D. Zvolené parametry ukazuje obrázek 19.



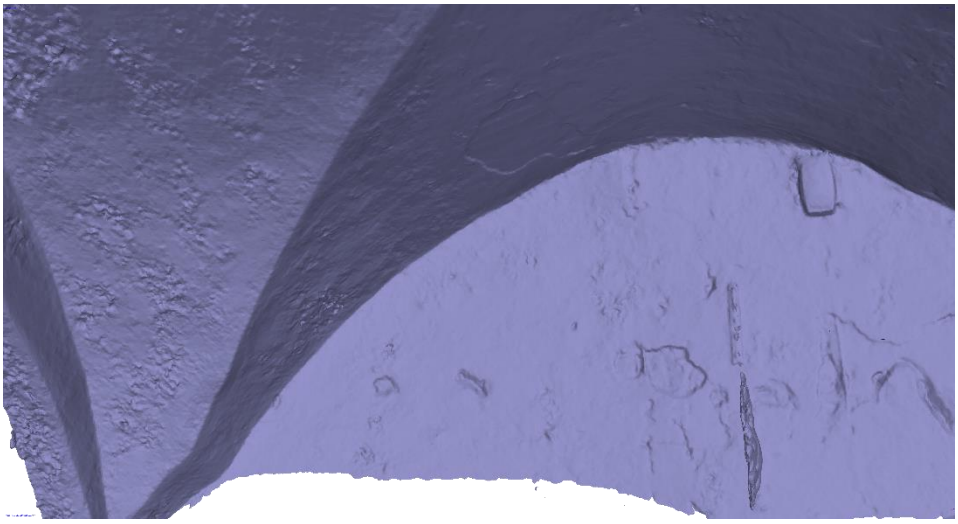
Obrázek 19: Nastavení funkce Gradual selection

6.2.5 Výpočet mračna bodů – husté mračno

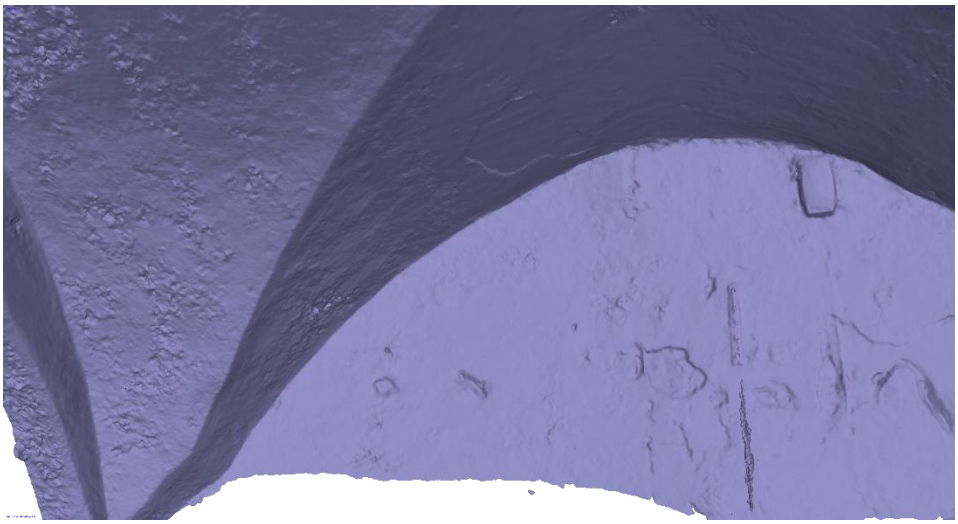
Při výpočtu hustého mračna musí být nejdříve nastavena zájmová oblast, tzv. *Bounding box,* pro kterou chceme provádět daný výpočet. Výpočet hustého mračna se poté spustí funkcí *Build Dense cloud.* V tomto okně máme na výběr z mnoha možností výpočtu. První možností je výběr kvality výsledného mračna a následně volba filtrace. Obrázky 21 až 23 ukazují rozdíl filtrace dílčích mračen v kvalitě medium, která byla zvolena pro výsledný model. Další obrázky dokládající porovnávání jednotlivých metod jsou součástí přiloženého DVD (složka Fotogrammetrické zpracování). Volba výsledného nastavení je patrná z obrázku 20.



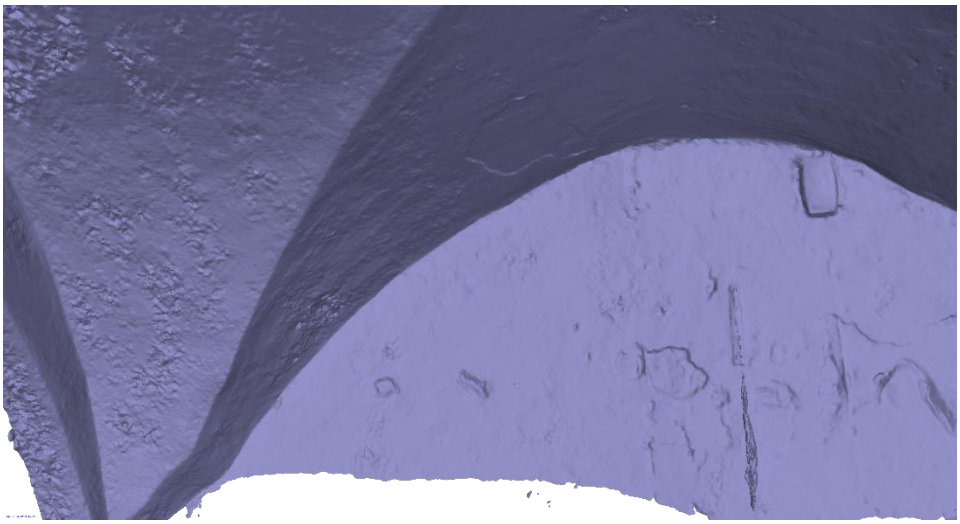
Obrázek 20: Nastavení tvorby hustého mračna



Obrázek 21: Ukázka nastavení Medium, Aggressive



Obrázek 22: Ukázka nastavení Medium, Mild



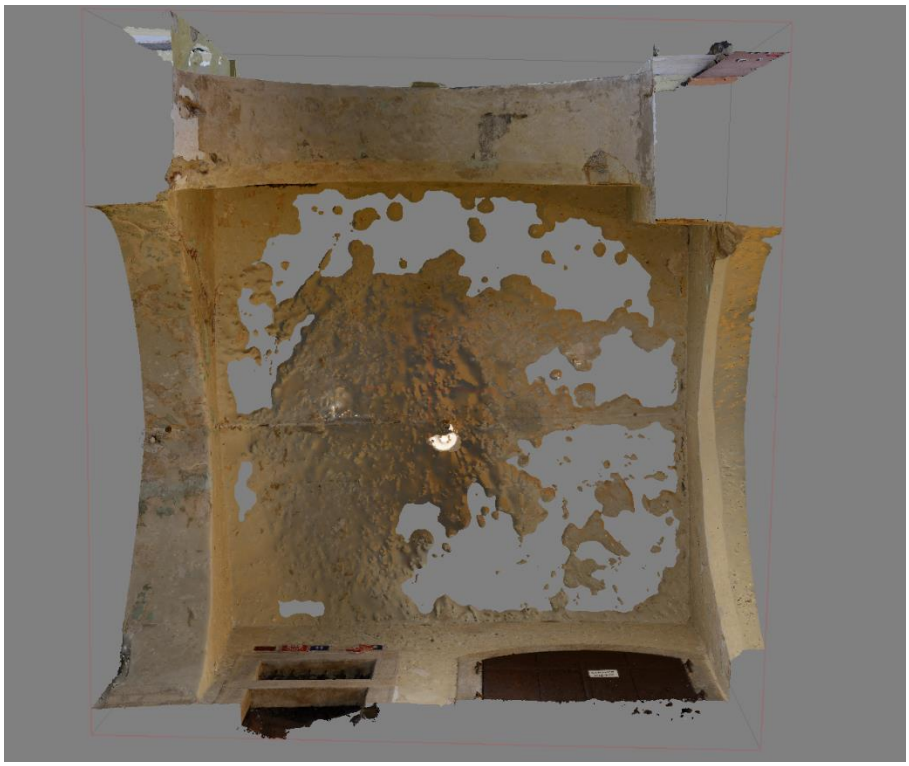
Obrázek 23: Ukázka nastavení Medium, Moderate

Vytvořené husté mračno (obrázek 28) bylo prohlédnuto a musely být odstraněny chybné body, tzv. šum. Výsledné hustého mračna ve formátu psx obsahuje přiložené DVD (složka fotogrammetrické zpracování). Zadávané parametry jsou také doloženy v protokolu o výpočtu z programu Agisoft Metashape v příloze A.

Následně mohla být z hustého mračna vypočítána polygonová síť pomocí funkce *Build Mesh*. I zde je na výběr z více možností. Na obrázcích 24 až 26 je vidět porovnání tvorby polygonové sítě na části modelu. Ostatní porovnávané části jsou doloženy na přiloženém DVD (složka Fotogrammetrické zpracování).

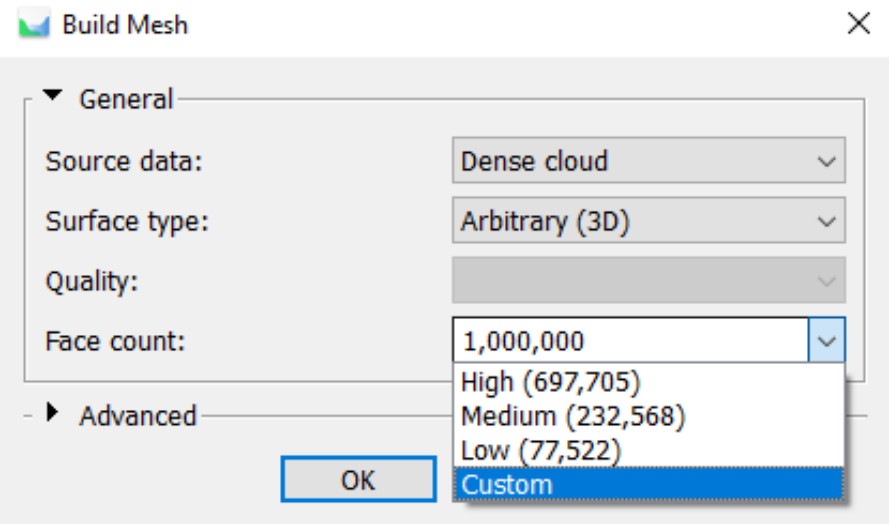
Obrázek 24: Ukázka nastavení Low

Obrázek 25: Ukázka nastavení Medium



Obrázek 26: Ukázka nastavení High

Vzhledem k problematickým částem, které jsou vidět i na těchto obrázcích a dále o nich hovoří také kapitola 6.3 bylo pro celkové mračno zvoleno nastavení Medium. Pro dílčí mračna, ze kterých vznikalo následně ortofoto (kap.6.2.7) bylo zvoleno nastavení Custom a hodnota byla ponechána na 1,000,000. Možnosti volby nastavení zachycuje obrázek 27.

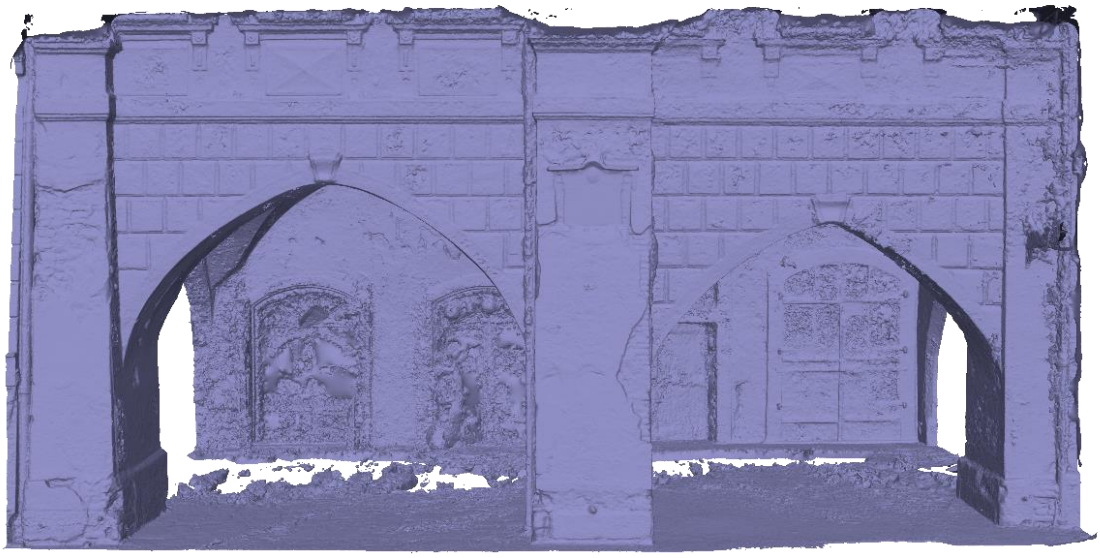


Obrázek 27: Nastavení tvorby polygonové sítě

Výsledná polygonová síť je součástí vytvořeného modelu, který obsahuje přiložené DVD. Zadávané parametry jsou doloženy v protokolu o výpočtu z programu Agisoft Metashape, který je součástí přílohy A.

Z vytvořené polygonové sítě (obrázek 29) je ještě možné vytvořit 3D texturu výsledného modelu. V našem případě byla tvorba textury vyzkoušena, ale na výsledný model nebyla použita. Jedním z důvodů bylo, že model nebyl pro vytvoření textury optimální. Jelikož tvorba textura nebyla výslovně požadována ani zadavatelem, bylo od ní ustoupeno a vytvořena nakonec nebyla.

Obrázek 28: Vypočtené husté mračno



Obrázek 29: Vypočtená polygonová síť

6.2.6 Filtrace hustého mračna

Dalším z požadavků zadavatele bylo vytvoření dílčích ortofot. Proto z výsledného modelu, se kterým už dále nebyly prováděny žádné úpravy, bylo pomocí duplikace *Chunku* samotné husté mračno kopírováno a následně rozděleno na 7 dílčích mračen, ze kterých poté ortofota vznikala.

Z programu Agisoft Metashape byla tato jednotlivá mračna importována do programu CloudCompare. Zde probíhala filtrace mračna bodů, aby se odstranily body duplicitní a body mimo oblast zájmu. První filtrace, filtrace duplicitních bodů, se spustila pomocí funkce *Remove duplicate points*. Zde byla hodnota nastavena na 1 mm. S tímto mračnem proběhla ještě filtrace šumu, *Noise filter*, kde byla zadána hodnota 2 cm. Program si ale neporadí se všemi body mimo oblast zájmu, a proto musel být zbylý šum odstraněn ještě manuálně. K tomu slouží funkce *segment*, díky které můžeme mračno rozdělit na jednotlivé části, abychom se lépe dostali do problematicky dostupných míst a zároveň můžeme nechtěné body odmazat.

Aplikací těchto funkcí byla mračna bodů pro ortofota v programu CloudCompare upravena a uložena ve formátu ply. Upravená mračna bodů jsou součástí přiloženého DVD (složka Fotogrammetrické zpracování). Obrázky 30 až 33 nám ukazují vybraná dílčí mračna bodů před a po provedené filtraci.

Obrázek 30: Nálezová situace před filtrací

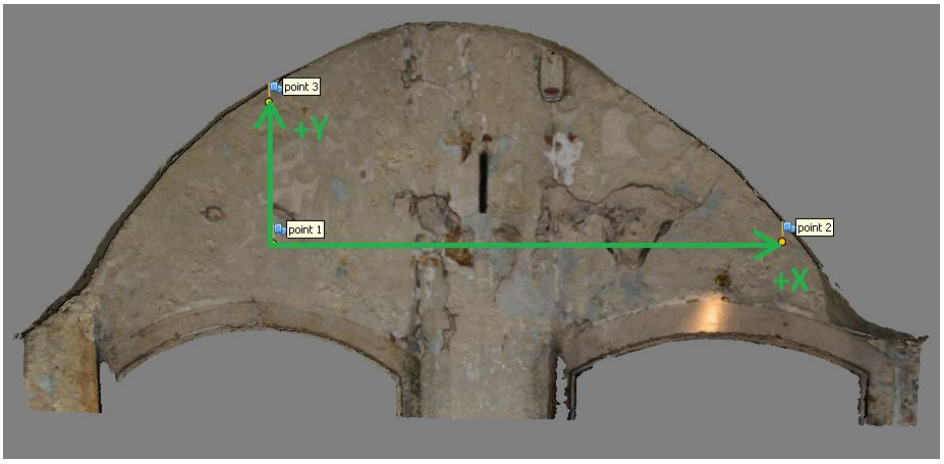
Obrázek 31: Nálezová situace po filtraci

Obrázek 32: Jeden z pilířů před filtrací

Obrázek 33: Jeden z pilířů po filtraci

6.2.7 Tvorba Ortofota

Jednotlivá upravená mračna byla opět importována do programu Agisoft Metashape, byla prohlédnuta a případně ještě zbavena chybných bodů. Z jednotlivých mračen byly vytvořeny polygonové sítě, jak je uvedeno v kapitole 6.2.5. Na těchto modelech byly vyhledány již dříve zadané dva body (Markery). Mezi tyto body byla vložena osa X. Dále byl přidán třetí bod, který měl stejnou souřadnici X, ale souřadnice Y mu byla nastavena o jeden metr vyšší. Tímto postupem byla definována rovina výsledného ortofota. Volba systému je pro vybrané ortofoto zřejmá z obrázku 34. Výkresy s uvedenou volnou souřadnicového systému pro všechna ortofota jsou součástí přiloženého DVD (složka ortofoto).



Obrázek 34: Definice roviny výsledného ortofota

Poté bylo pomocí funkce *build ortomosaic* vytvořeno ortofoto. Výsledné výkresy byly tvořeny v měřítku 1:20, proto v návaznosti na to byla volena velikost pixelu 0,7 mm. Pro ortofoto přední stěny modelu, které má vzniknout v měřítku 1:50 bylo rozlišení voleno 1 mm. Vzhledem k vysoké velikosti výsledných ortofot byl pro export zvolen formát obrázku jpg s kvalitou 99 %. Ukázku jednoho výsledného ortofota zachycuje obrázek 35.

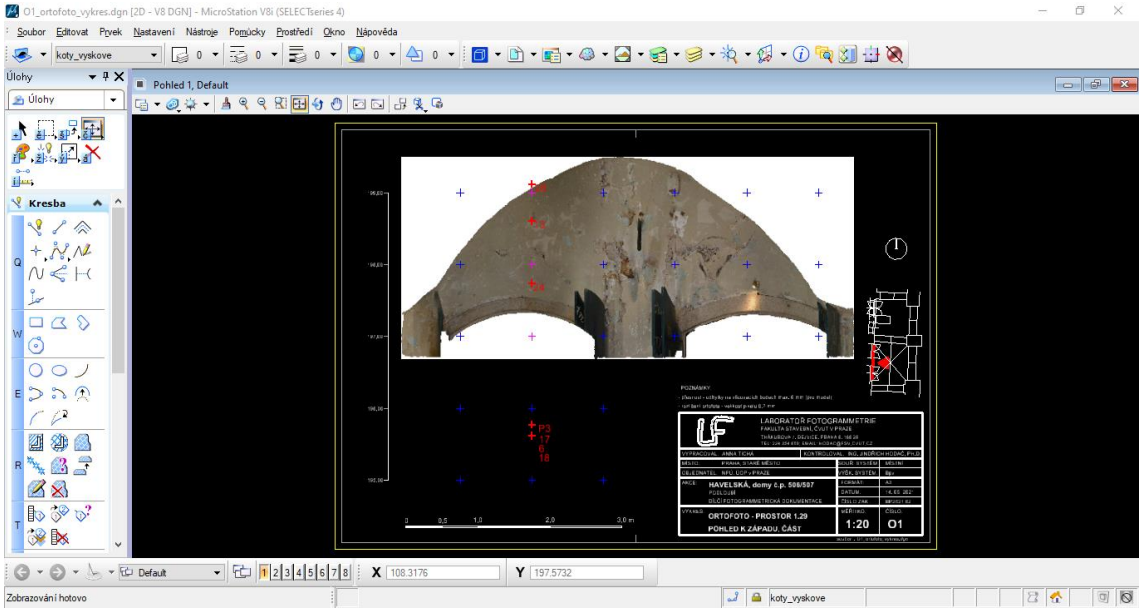
Obrázek 35: Ukázka výsledného ortofota

6.2.8 Tvorba výkresů

Jelikož je ortofoto samo o sobě „jen“ rastrový obrázek, byly podle zadané šablony tvořeny v programu MicroStation výkresy. Do programu bylo importováno jako rastrová reference vlastní ortofoto, které bylo pomocí vhodně zvolených identických bodů zjištěných z technické nivelace správně umístěno výškově. Dále byl výkres doplněn o měřítko, popisku a náčrt situace s umístěním daného ortofota. Na obrázku 36 je vidět tvorba výkresu v prostředí programu MicroStation. Pro lepší orientaci výkresu, byly jednotlivé části ukládány do vrstev. Seznam vrstev je uvedený v tabulce 4. Výkresy byly následně exportovány do formátu pdf, kde je dostupná funkce zobrazování jednotlivých vrstev a funkce pro měření vzdálenosti. Vytvořené výkresy ve formátu dgn, dwg a pdf jsou součástí přílohy A, a zároveň jsou součástí přiloženého DVD (složka ortofoto). Seznam vyhotovené dokumentace je uveden v příloze B.

Tabulka 4: Seznam použitých vrstev

Název vrstvy	Obsah vrstvy
koty_vyskove	výškové kóty
meritko_graficke	grafické měřítko
ortofoto	Rastrová reference
popiska+situace	Popisová tabulka, situace, poznámky
sit_krizku	síť křížků po 1 m
x_ram_vykres	rám celého výkresu

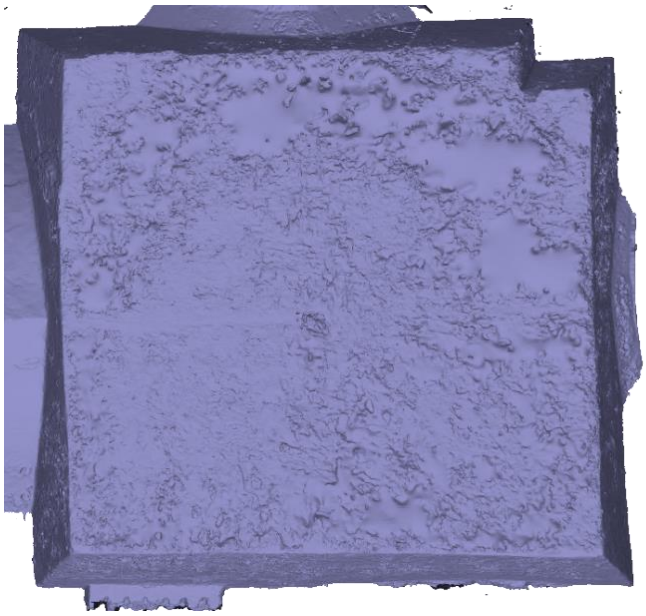


Obrázek 36: Ukázka tvorby výkresu

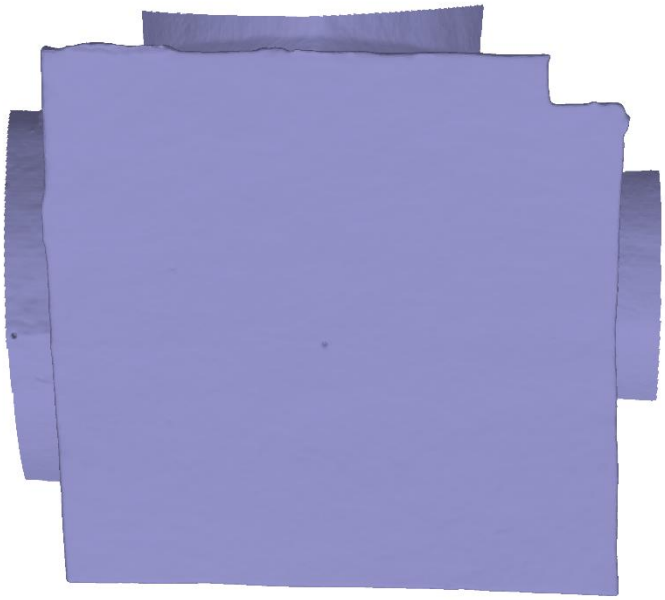
6.3 Porovnávání mračna

Jelikož námi vytvořené mračno obsahuje spousty nedokonalostí, jako je například ,,křivý" plochý strop nebo chybějící podlaha (obrázek 38 a 39), bylo mračno porovnáváno s mračnem vytvořeným pomocí laserového skenování. Obrázek 38 ukazuje pro porovnání strop vytvořený pomocí laserového skenování. Tyto naše nedokonalosti vznikaly hlavně na větších homogenních plochách. Mohly tak být způsobeny ne zcela optimálními světelnými podmínkami, ale také nedostatečným počtem snímků v této oblasti.

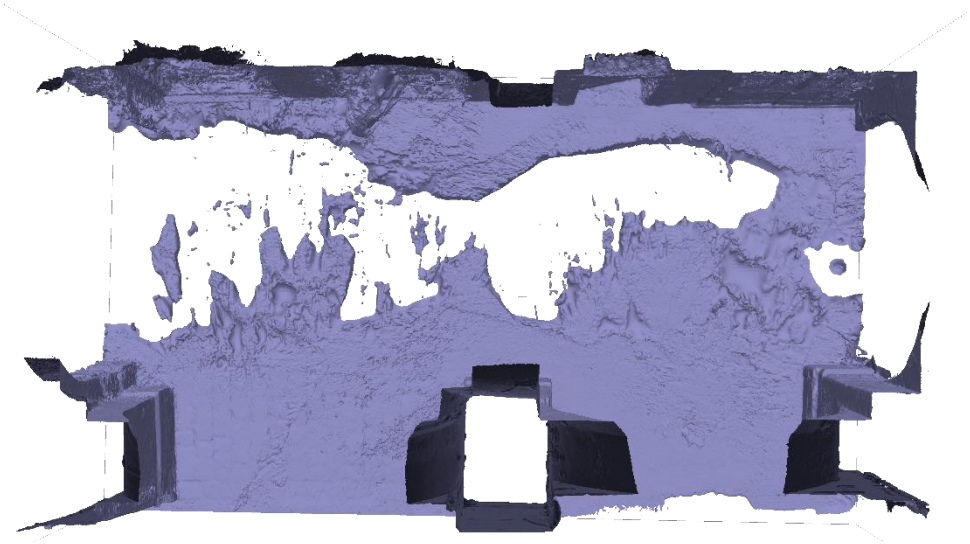
Jak již bylo zmíněno v úvodu, mračno bodů z laserového skenování bylo získáno z paralelně probíhající diplomové práci. Bylo tak provedeno hlavně z důvodu, že mračno společně se souřadnice zaměřených bodů bylo dále předáváno spolupracujícím architektům. Snaha tak byla předávat podklady v co nejlepší kvalitě. Mračno vytvořené pomocí FTG ale požadovanou kvalitu nesplňovalo, zatímco mračno z laserového skenování ano. Pasování bylo provedeno hlavně z důvodu, že bylo potřeba mračno z laserového skenování dostat do stejných souřadnic, ve kterých byly měřeny souřadnice bodů pro architekty.



Obrázek 37: Ukázka nerovnosti ve stropu

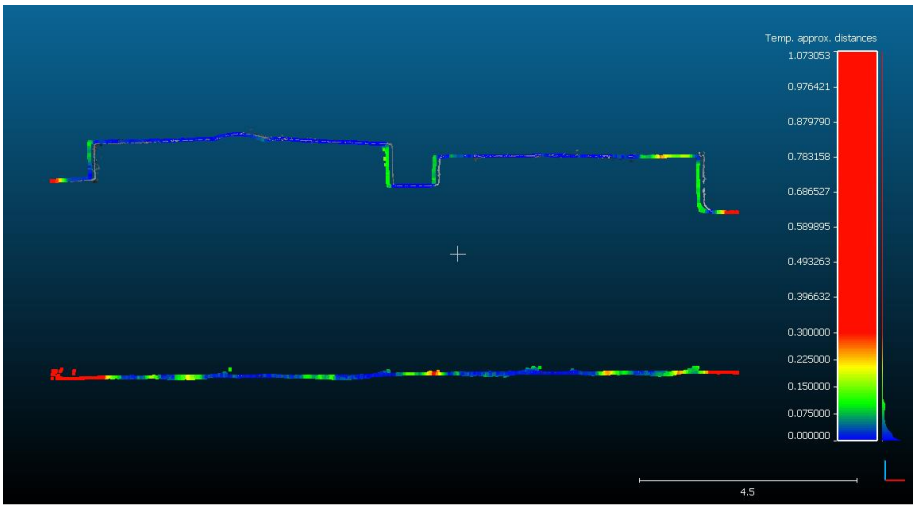


Obrázek 38: Strop vytvořený laserovým skenováním

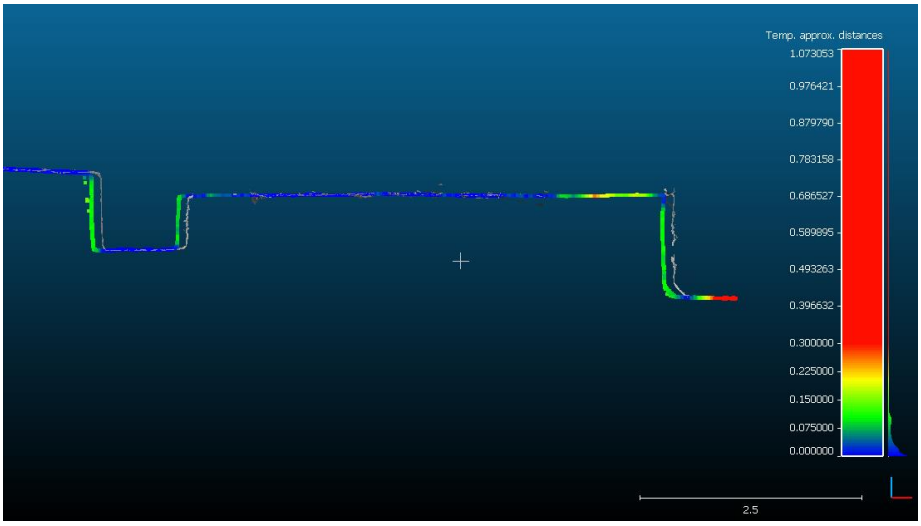


Obrázek 39: Ukázka chybějící podlahy

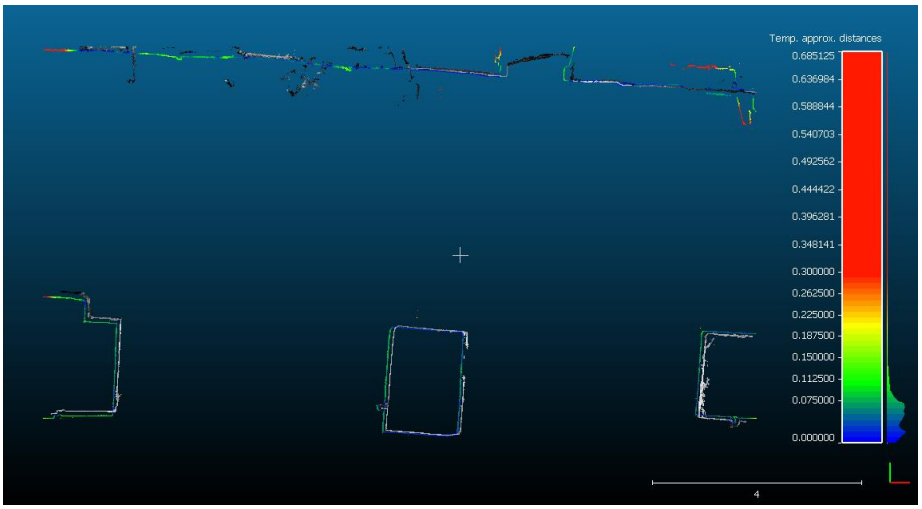
Porovnávání probíhalo v programu CloudCompare. Jelikož byla obě mračna ve vlastní soustavě bylo potřeba je nejprve referencovat. To znamená přiřadit souřadnic jednoho mračna co nejlépe tomu druhému. Vždy bylo postupováno tak, že mračno vytvořené pomocí fotogrammetrie bylo referenční. Proto mračno z laserového skenování bylo nejdříve otočeno o 180° a následně přesunuto k mračnu vytvořenému pomocí fotogrammetrie. To probíhalo v programu automatickou registrací mračen. Následně bylo pomocí vytvořených řezů ověřováno, jaké přesnosti bylo při referencování tímto způsobem dosaženo. Byl vytvořen podélný řez, 4 příčné řezy a jeden řez půdorysný ve výšce 1 m nad zemí.



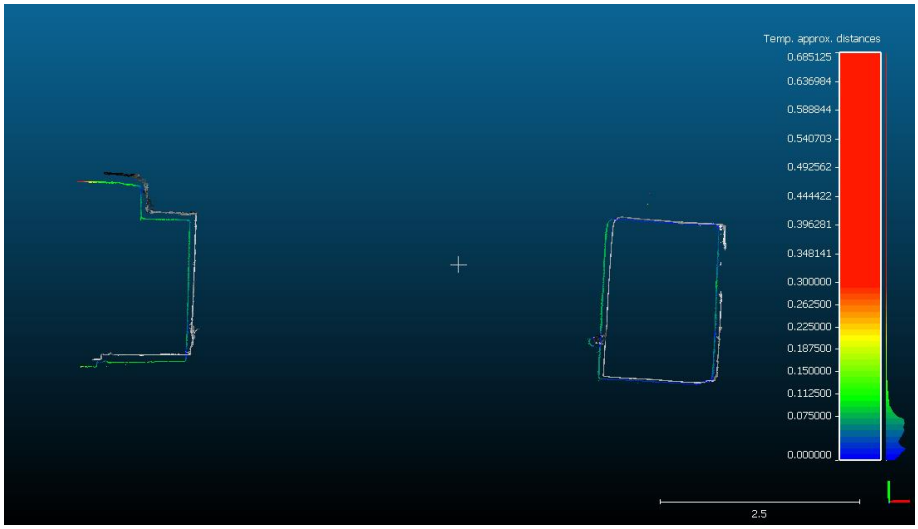
Obrázek 40: Podélný řez



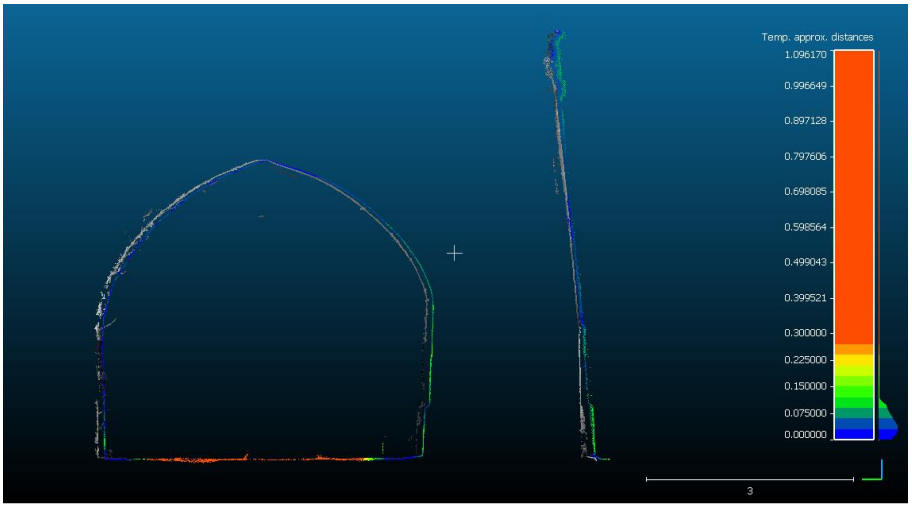
Obrázek 41: Detail odchylek podélného řezu



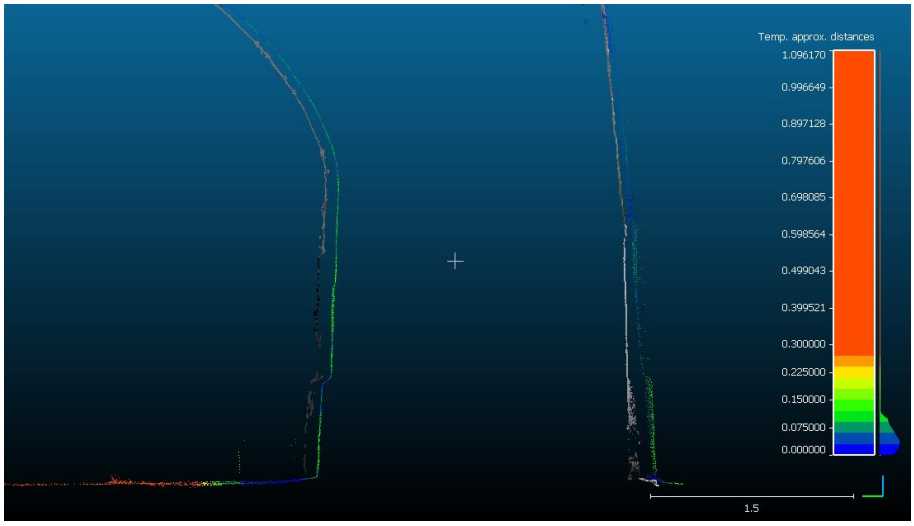
Obrázek 42: Půdorysný řez



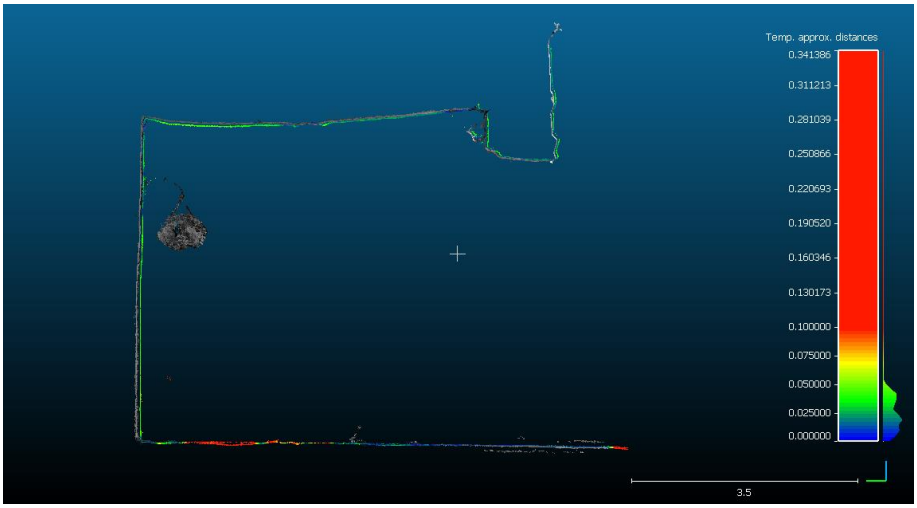
Obrázek 43: Detail odchylek pilířů v půdorysném řezu



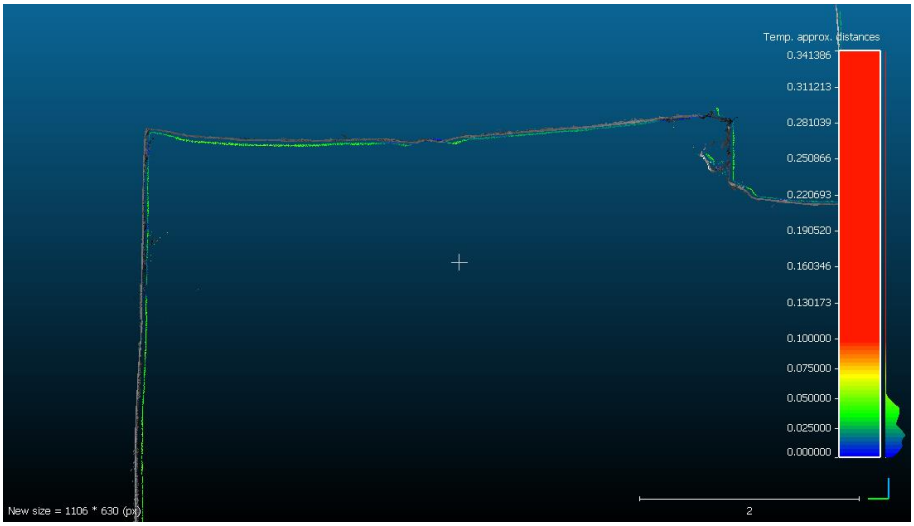
Obrázek 44: Příčný řez levým pilířem



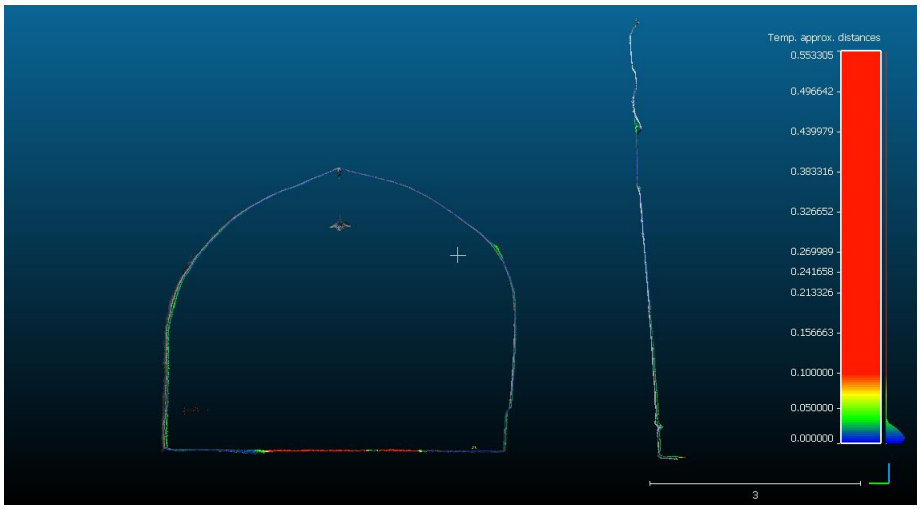
Obrázek 45: Detail odchylek v řezu levým pilířem



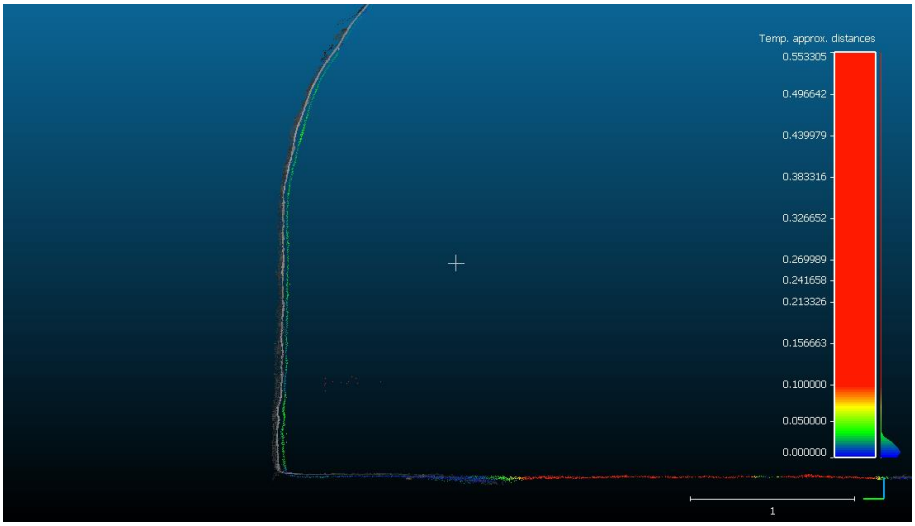
Obrázek 46: Příčný řez stropem



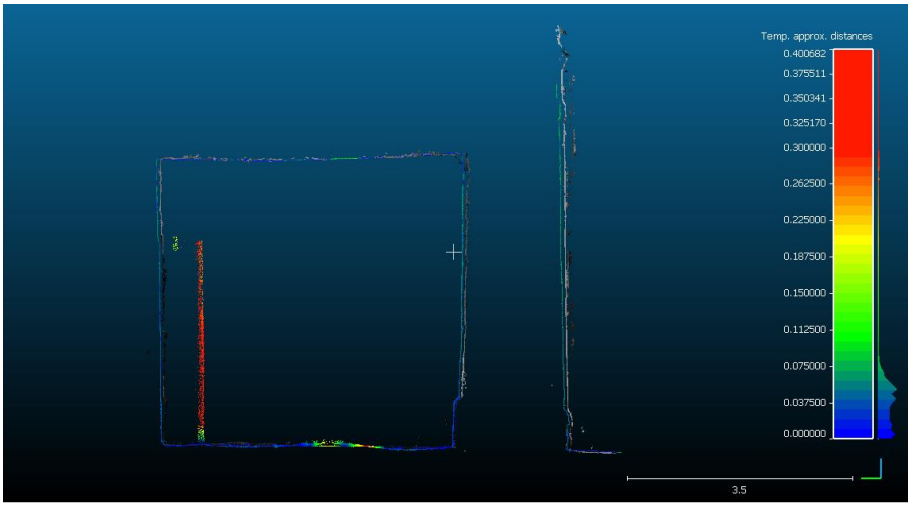
Obrázek 47 Detail odchylek v řezu stropem



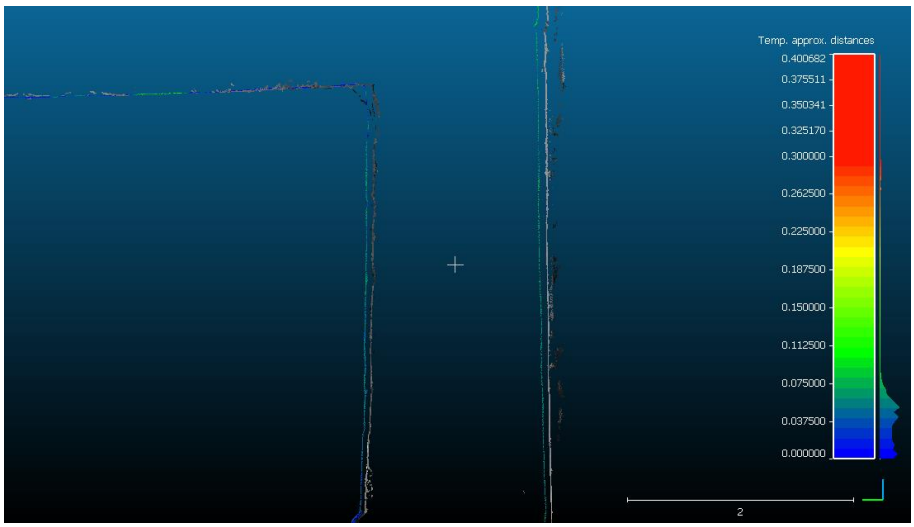
Obrázek 48: Příčný řez prostředním pilířem



Obrázek 49: Detail odchylek příčného řezu prostředním pilířem

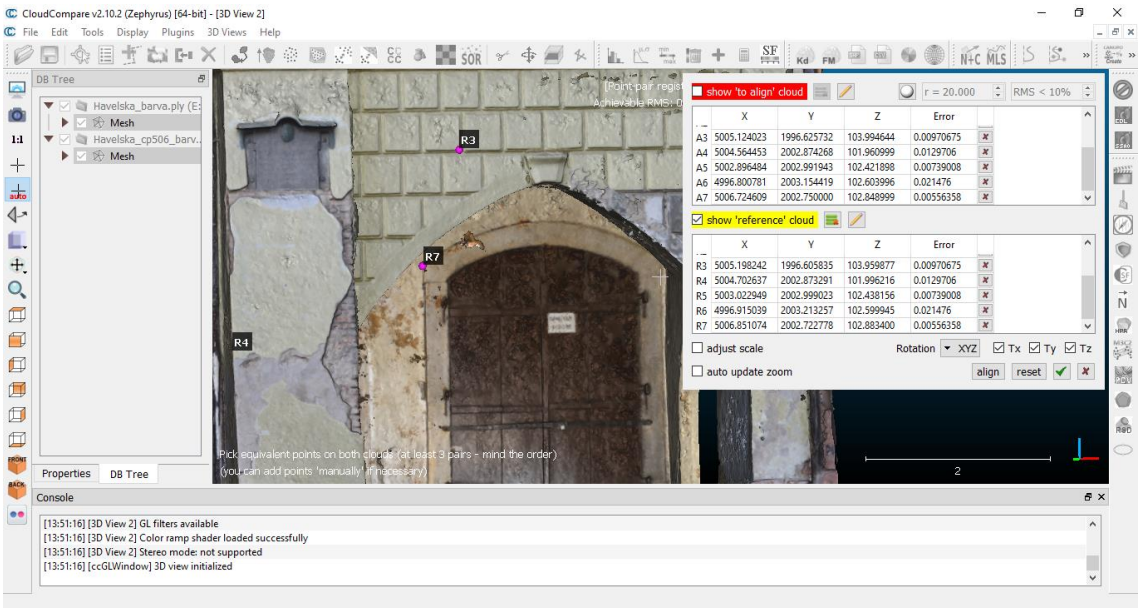


Obrázek 50: příčný řez pravým pilířem



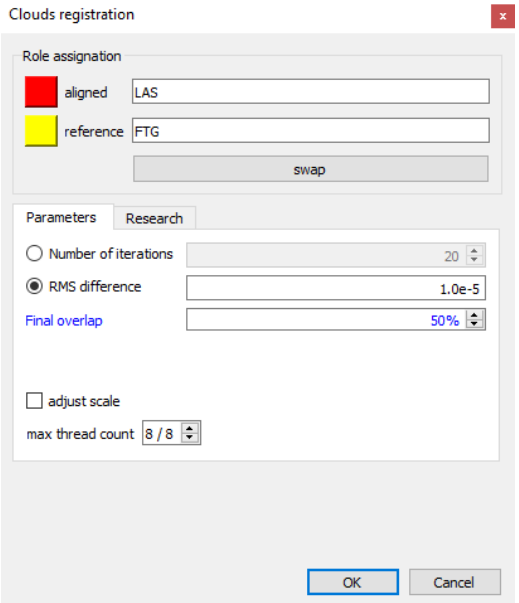
Obrázek 51: Detail odchylek v řezu pravým pilířem

Z obrázků 40 až 51 je patrné, že mračna se v určitých oblastech liší o více než 5 cm. Proto byla zvolena metoda ručního pasování, kdy bylo zvoleno 8 bodů, 4 body na přední a 4 body na zadní stěně, dobře viditelných na obou mračnech. Body byly označeny na referenčním mračně (žluté – FTG) a poté na mračně, které chceme referencovat (červené – las). Ukázka volby identických bodů zachycuje obrázek 52. Bohužel ani tento způsob se neosvědčil jako vhodný a mezi modely byly pořád značné rozdíly.



Obrázek 52: Pasování pomocí identických bodů

Nakonec bylo jako výsledný způsob zvolen postup, kdy referenční mračno bylo ořezáno o již zmíněné nedokonalosti a další nepotřebné části jako například dveře. Na toto mračno bylo hrubě napasováno mračno z laserového skenování pomocí funkce *registrace – match bounding box*. Nakonec byla provedena automatická registrace mračen, kdy byl odhad konečného překrytí mračen nastaven na 50 % (obrázek 53).



Obrázek 53: Nastavení automatické registrace

Díky tomuto výslednému postupu se přesnost referencování zvýšila v celku i detailu. Na nejhorších místech dosahuje přesnosti do 5 cm, obecně se ale přesnost pohybuje do 3 cm. Tento výsledek byl spolu se všemi vypočtenými souřadnicemi podrobných bodů poskytnut pro další použití architektům.

7 Zhodnocení výsledků

Dosažené výsledky záleží na použitých přístrojích pro sběr dat a měření a také na použitých metodách pro zpracování výsledků. V této kapitole budou jednotlivé pomůcky a metody shrnuty. Všechny protokoly o výpočtech dokládající přesnosti jsou doloženy na přiloženém DVD.

Geodetické měření

Pro geodetické měření byla použita totální stanice, jejíž úhlová přesnost je v jedné skupině 0,6 mgon. Přesnost při měření délek na hranol je 1,5 mm + 2 ppm a při bezhranolovém měření 2 mm + 2 ppm.

Pro následný výpočet souřadnic vlícovacích a podrobných bodů byl zvolen program Groma a výpočet pomocí polární metody dávkou. Při výpočtu bylo dosaženo největší odchylky v orientaci 3,9 mgon, v délce 1 mm a v převýšení 6 mm.

Výškové připojení

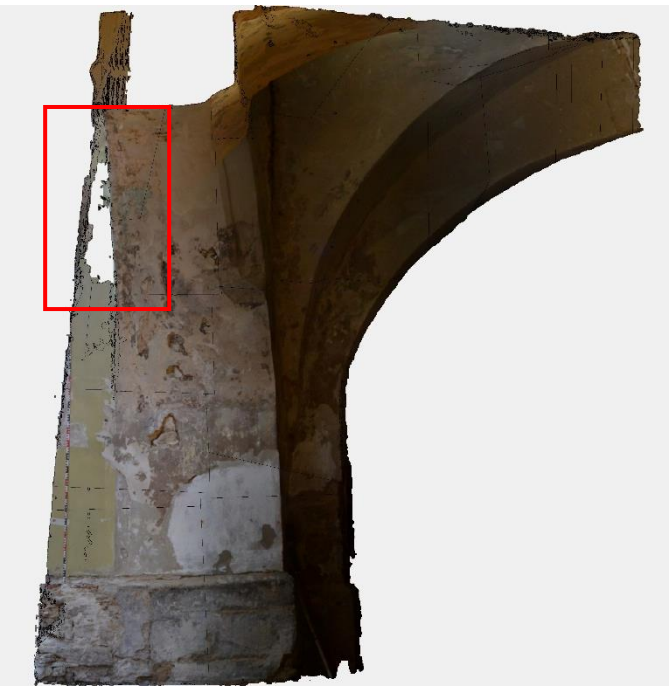
Pro výškové připojení do systému Bpv byla zvolena technická nivelace, kdy rozdíl daného převýšení vypočteného z nivelačních údajů a nivelovaného převýšení byl 1 mm. Mezní odchylka pro technickou nivelaci vyšla 18 mm. Mezní odchylka tak nebyla překročena.

Fotogrammetrické zpracování

Dalším faktorem ovlivňujícím celkovou dosaženou přesnost modelu a ortofot je přesnost určení vlícovacích bodů na pořízených snímcích. Požadovaná přesnost pro tvorbu ortofot byla do 1 cm. Výsledné odchylky na vlícovacích bodech pro celý model dosahují přesnosti do 6 mm.

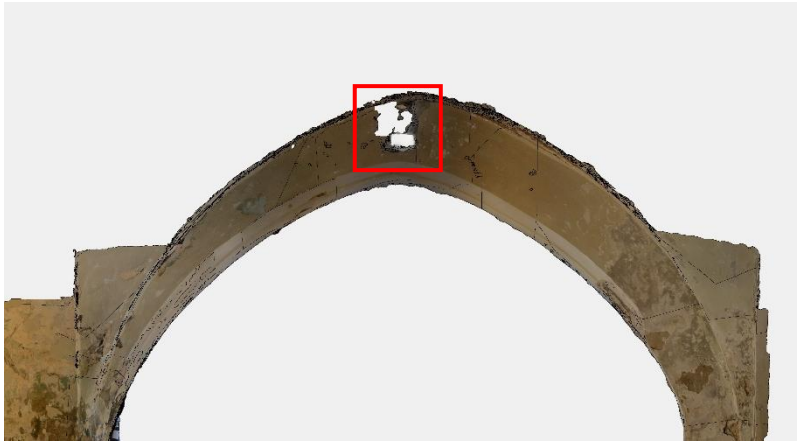
ortofoto

Kvalita ortofota je ovlivněna kvalitou modelu. Při chybějících datech se mohou v ortofotu vyskytovat díry nebo rozmazané části, jak ukazují obrázky 54 až 56.



Obrázek 54: Ukázka chyb ortofot – pilíř

Obrázek 55: Ukázka chyb ortofot – přední část



Obrázek 56: Ukázka chyb ortofot – pilíře

Při tvorbě ortofota je důležitým faktorem také měřítko, ve kterém mají vzniknout výsledné výkresy. V našem případě byly výkresy tvořeny v měřítku 1:20, pro toto měřítko je požadovaná velikost pixelu 0,5-0,7 mm. V našem případě tak velikost pixelu výsledného ortofota byla volena 0,7 mm. Pro přední stěnu modelu, kde má být vytvořen výkres v měřítku 1:50 byla volena přesnost pixelu 1 mm.

Závěr

Cílem bakalářské práce je vytvoření fotogrammetrické dokumentace pro podloubí domů Havelská č.p.506/507 v Praze 1 na Havelském trhu.

V terénu bylo provedeno snímkování zadaného objektu a geodetické zaměření vlícovacích bodů, kterými byly zvoleny dobře rozeznatelné body na objektu. Dále bylo provedeno měření podrobných bodů pro spolupracující architekty.

Součástí kancelářských prací byl výpočet souřadnic všech zaměřených bodů a kontrola kvality snímků a jejich případná oprava. Dále byly do programu Agisoft Metashape importovány snímky a na nich označeny měřené vlícovací body. Poté probíhal výpočet 3D modelu a dílčích ortofot, dle požadavků zadavatele. Vytvořené ortofoto bylo importováno do programu MicroStation, kde byly tvořeny výkresy.

Výsledkem bakalářské práce je tak vytvořený 3D model objektu a z něj vytvořená dílčí ortofota zpracovaná do výkresů, dle požadavků zadavatele, v měřítku 1:20. Velikost pixelu ortofot byla vzhledem ke zvolenému měřítku volena 0,7 mm.

Tato bakalářská práce mi určitě rozšířila vědomosti o fotogrammetrie, jejím sběru dat a následném vytváření 3D modelů a ortofot. Zpracování modelu probíhalo v programu Agisoft Metashape, díky tomu jsem si osvojila dovednosti v tomto programu a naučila se s ním lépe pracovat. Věřím, že zkušenosti získané touto prací v budoucnu využiji.

Použité zkratky

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

Bpv – Balt po vyrovnání

VB – vlícovací body

ppm – Parts per million

FTG – fotogrammetrie

LAS – laserové skenování

ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

OS – operační systém

Seznam zdrojů

[1] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. ČR: https://www.seznam.cz/, 2021 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://mapy.cz/zakladni?x=14.4399000&y=50.0646000&z=11

[2] *Digitální fotoaparát Nikon D7100* [online]. Nikon, 2021 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/discontinued/digital-cameras/2018/d7100

[3] *Sigma 17-50 mm f/2,8 EX DC OS HSM pro Nikon* [online]. MEGAPIXEL, c2001–2021 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.megapixel.cz/sigma-17-5028-e-xdc-os-hsm-nikon

[4] *Leica FlexLine plus* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.gefos-leica.cz/data/original/totalni stanice/leica_flexlineplus_2013.pdf

[5] *Groma: Groma - geodetický software v prostředí MS Windows* [online]. Praha: Geoline, 2017 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.groma.cz/cz/groma

[6] *Agisoft Metashape* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.agisoft.cz/

[7] *Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.7* [online]. Agisoft LLC, 2021 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf

[8] *Digital Camera database: Nikon D7100* [online]. digicamdb.com, c2012-2021 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.digicamdb.com/specs/nikon_d7100/

Seznam obrázků

Obrázek 1: Poloha Domů Havelská č.p. 506/507 [1] 10
Obrázek 2: Domy Havelská č.p.506/507 10
Obrázek 3: Digitální fotoaparát Nikon D7100 [2] 12
Obrázek 4: Objektiv Sigma [3] 13
Obrázek 5: Totální stanice Leica TS06 14
Obrázek 6: Nivelační přístroj 15
Obrázek 7: Prostředí programu Groma 16
Obrázek 8: Prostředí programu Agisoft Metashape 17
Obrázek 9: Prostředí programu CloudCompare 18
Obrázek 10: Ukázka snímku celé stěny 20
Obrázek 11: Ukázka detailního snímku 20
Obrázek 12: Schéma volby souřadnicového systému 21
Obrázek 13: Schéma zpracování 24
Obrázek 14: ukázka kontroly kvality snímků 25
Obrázek 15: Vstupní hodnoty prvků vnitřní orientace 26
Obrázek 16: Nastavení orientace snímků 26
Obrázek 17: funkce show info 28
Obrázek 18: Nastavení souřadnicového systému 29
Obrázek 19: Nastavení funkce Gradual selection 31
Obrázek 20: Nastavení tvorby hustého mračna 31
Obrázek 21: Ukázka nastavení Medium, Aggressive 32
Obrázek 22: Ukázka nastavení Medium, Mild 32
Obrázek 23: Ukázka nastavení Medium, Moderate 32
Obrázek 24: Ukázka nastavení Low 33
Obrázek 25: Ukázka nastavení Medium 34
Obrázek 26: Ukázka nastavení High 34
Obrázek 27: Nastavení tvorby polygonové sítě 35
Obrázek 28: Vypočtené husté mračno 36
Obrázek 29: Vypočtená polygonová síť 36
Obrázek 30: Nálezová situace před filtrací 37

Obrázek 31: Nálezová situace po filtraci 38
Obrázek 32: Jeden z pilířů před filtrací 38
Obrázek 33: Jeden z pilířů po filtraci 38
Obrázek 34: Definice roviny výsledného ortofota 39
Obrázek 35: Ukázka výsledného ortofota 40
Obrázek 36: Ukázka tvorby výkresu 41
Obrázek 37: Ukázka nerovnosti ve stropu.....42
Obrázek 38: Strop vytvořený laserovým skenováním 42
Obrázek 39: Ukázka chybějící podlahy 43
Obrázek 40: Podélný řez 43
Obrázek 41: Detail odchylek podélného řezu 44
Obrázek 42: Půdorysný řez 44
Obrázek 43: Detail odchylek pilířů v půdorysném řezu 44
Obrázek 44: Příčný řez levým pilířem 45
Obrázek 45: Detail odchylek v řezu levým pilířem.....45
Obrázek 46: Příčný řez stropem 45
Obrázek 47 Detail odchylek v řezu stropem 46
Obrázek 48: Příčný řez prostředním pilířem.....46
Obrázek 49: Detail odchylek příčného řezu prostředním pilířem.....46
Obrázek 50: příčný řez pravým pilířem 47
Obrázek 51: Detail odchylek v řezu pravým pilířem 47
Obrázek 52: Pasování pomocí identických bodů 48
Obrázek 53: Nastavení automatické registrace 48
Obrázek 54: Ukázka chyb ortofot – pilíř 51
Obrázek 55: Ukázka chyb ortofot – přední část 51
Obrázek 56: Ukázka chyb ortofot – pilíře 52

Seznam tabulek

Tabulka 1: Nastavení fotoaparátu 19
Tabulka 2: Souřadnice stanovisek 23
Tabulka 3: Souřadnice VB 27
Tabulka 4: Seznam použitých vrstev 40

Seznam příloh

A Tištěné přílohy

B Seznam vyhotovené dokumentace

C Obsah DVD

A Tištěné přílohy

- Výkres O1 – formát A3, měřítko 1:20
- Výkres O2 – formát 5x A4, měřítko 1:20
- Výkres O3 – formát 6x A4, měřítko 1:20
- Protokol o výpočtu z programu Metashape
- Seznam vypočtených souřadnic všech bodů
- Náčrt měřených VB

B Seznam vyhotovené dokumentace

Název	Měřítko	Formát	Název souboru	Přípony
3D model	–	–	M1_model_podloubi	.psx
Ortofoto O1	1:20	A3	O1_ortofoto	.dgn, .dwg, .pdf
Ortofoto O2	1:20	5x A4	O2_ortofoto	.dgn, .dwg, .pdf
Ortofoto O3	1:20	6x A4	O3_ortofoto	.dgn, .dwg, .pdf

C Obsah DVD

Text bakalářské práce (.pdf)

Geodetické měření a výpočty

- Měřená data z totální stanice (.mes)
- Náčrt měřených VB (.pdf)
- Protokol o výpočtu z programu Groma (.txt)
- Zápisník nivelace (.pdf)
- Nivelační údaje (.pdf)
- Vypočtený seznam souřadnic (.txt)
- Vypočtený seznam souřadnic s novými výškami (.txt.)

Fotogrammetrické zpracování

- Pořízené snímky (.jpg)
- Seznam souřadnic VB (.txt)
- Obrázky dokládající volbu výsledné přesnosti (.png)
- Výsledný 3D model a dílčí ortofota (.psx)
- Protokol o výpočtu z programu Agisoft Metashape(.pdf)

Ortofota

- Volba roviny jednotlivých ortofot (.jpg)
- výkresy (.dgn, .dwg, .pdf)
- rastrové podklady (.jpg, .jgw)