

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Program GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Obor GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A
GEOINFORMATIKA



Bakalářská práce

Dům U Sixtů Kamzíkova 7 (Praha 1) –

Měřická dokumentace vybrané části

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

Katedra geomatiky

Květen 2021

Autor: Vojtěch Křížek

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: _____ Křížek _____ Jméno: Vojtěch _____ Osobní číslo: 478642
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: Dům U Sixtů Kamzíkova 7 (Praha 1) - dílčí fotogrammetrická dokumentace
Název bakalářské práce anglicky: House U Sixtů Kamzíkova No. 7 (Prague 1) - partial photogrammetric documentation

Pokyny pro vypracování:

- ve spolupráci se zadavatelem proveďte rekognoskaci zaměřované části objektu a definujte typ a parametry výstupů projektu,
- navrhnete vhodné měřické metody a technologické postupy pro vytvoření definovaných výstupů,
- proveďte měřické práce v objektu 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 Kamzíkova 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

Podpis vedoucího práce

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“.

17.02.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá měřickou dokumentací vybrané části budovy domu U Sixtů nacházející se v ulici Kamzíkova 7 (Praha 1). Cílem této práce je popis sběru dat, vytvoření 3D modelu, ortofota, dílčích výkresů gotické niky a místnosti s nálezovou situací v měřítku 1:20 a 1:10 v softwaru Agisoft Metashape. Budova domu U Sixtů v době práce prochází přestavbou a práce posloužila jako dokumentace nově odkrytých nálezových situací pro Územní odborné pracoviště Národního památkového ústavu v Praze.

Klíčová slova

Dům U Sixtů, gotická nika, fotogrammetrie, fotoplán, ortofoto, 3D model, měřická dokumentace, Groma, Kokeš, Agisoft Metashape.

Abstract

The bachelor thesis focuses on surveying documentation of a selected part of a building of the house U Sixtů, which is situated in the street Kamzíková 7 (Prague 1). The aims of this thesis are the description of the data collected, the creation of a 3D model, orthophotos, constituent drawings of gothic niche and rooms with Discovery situation in measuring scale 1:20 and 1:10 in the software Agisoft Metashape. The building of the house U Sixtů was under reconstruction in the time of working on the thesis and the work server as a documentation of archeological findings for Regional offices of the National Heritage Institute in Prague.

Key words

House U Sixtů, Gothic niche, photogrammetry, photoplan, orthophoto, 3D model, measurement documentation, Groma, Kokeš, Agisoft Metashape.

Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Dům U Sixtů Kamzíkova 7 (Praha 1) -

Měřická dokumentace vybrané části, jsem vypracoval samostatně.

Použité materiály a literaturu uvádím v seznamu v zdrojů.

V Praze

.....

(podpis autora)

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jindřichu Hodačovi Ph.D. za odborné vedení a poskytnutou pomoc při zpracování práce.

Poděkování patří i mojí kamarádce Petře Sedláčkové za asistenci při sběru dat v terénu.

Obsah

Úvod	1
1. Palác U Sixtů	2
1.1 Popis.....	2
1.2 Historie	3
1.3 Gotická nika.....	4
2. Metody	5
2.1 Prostorová polární metoda	5
2.2 FTG metoda IBMR	5
3. Přístroje	6
3.1 Totální stanice a příslušenství	6
3.1.1 Leica TS 06.....	6
3.2 Fotoaparát.....	7
3.2.1 Nikon D7100.....	7
3.3 objektiv AF-S Nikkor 17-35mm	8
4. Software	9
4.1 Výpočetní software Groma	9
4.2 Výpočetní software Kokeš.....	10
4.3 Fotogrammetrický software Agisoft Metashape	10
4.4 Software pro úpravu snímků Fast Stone image wiewer	11
4.5 MicroStation.....	12
4.6 Cloudcompare	12
5. Sběr dat a práce v terénu	13
5.1 Rekognoskace.....	13
5.2 Geodetické měření.....	15
5.3 Snímkování	16
6. Geodetické zpracování	19
6.1 výpočet měřické sítě	19
7. Tvorba 3D modelu	21
7.1 Zpracování fotogrammetrických snímků	21
7.2 Nastavení parametrů kamery a spuštění orientace snímků	22
7.3 Definování vlíčovacích bodů a jejich optimalizace.....	22
7.4 Filtrace řídkého mračna	24

7.5 Výpočet hustého mračna bodů	24
7.5.1 Filtrace hustého mračna	27
7.6 Tvorba modelu	29
7.7 Tvorba textury	31
7.8 Úprava textury modelu	31
7.9 Určení rovin a vytvoření ortofota	32
7.10 Tvorba výstupů	37
8. Zhodnocení přesností	39
8.1 Geodetické měření	39
8.2 Fotogrammetrické zpracování	39
8.3 Ortofota	40
9. Závěr	41
Seznam obrázku	44
Seznam použitých zdrojů	46

Úvod

Cílem této bakalářské práce bylo pomocí měřické dokumentace zaznamenat nálezové situace, kterými byly například odkrytá gotická nika nad klenbou v 2 nadzemním podlaží severní budovy domu U Sixtů, které pravděpodobně při dalších stavebních pracích zanikne.

Dalším cílem bakalářské práce bylo provést rekognoskaci zájmové oblasti, definovat výstupy dokumentace nálezových situací, sběr dat v terénu, zpracování měřených dat, vyhotovení 3D modelů, ortofot a fotoplánů nálezových situací, a zhodnocení přesnosti vytvořených modelů.

V první části textu se můžete seznámit s pomůckami a softwary, které byly pro tuto práci použity a v druhé části se můžete seznámit s postupem technologického zpracování pořízených dat.

Tato práce se zabývá tvorbou 3D modelů, fotogrammetrických plánů a tvorbou ortofot v měřítku 1:20 nálezových situací v místnosti A.2NP.12 a menším nálezem v levém jižním rohu místnosti.

V době tvorby této práce procházel objekt rozsáhlou rekonstrukcí. Díky tomuto faktu slouží tato práce k digitální konzervaci významných nálezů, architektonických prvků místnosti i budovy jako celku.

Kvůli stávající globální pandemii SARS-COVID-19 jsem byl nucen práci z majoritní části zpracovávat vzdáleně na školních počítačích z domova, kde se nacházeli potřebné softwary pro zpracování snímků Agisoft Metashape.

1. Palác U Sixtů

Palác je areál několika budov ohraničený ulicemi Celetná, Kamzíkova a Železná poblíž Staroměstského náměstí na Starém městě v Praze. Zájmový dům souboru se nachází na adrese Celetná 554. Během rekonstrukce je vstup do areálu paláce z ulice Kamzíkova. V následujících podkapitolách je uvedena stručná historie areálu a seznámení se zkoumaným objektem.

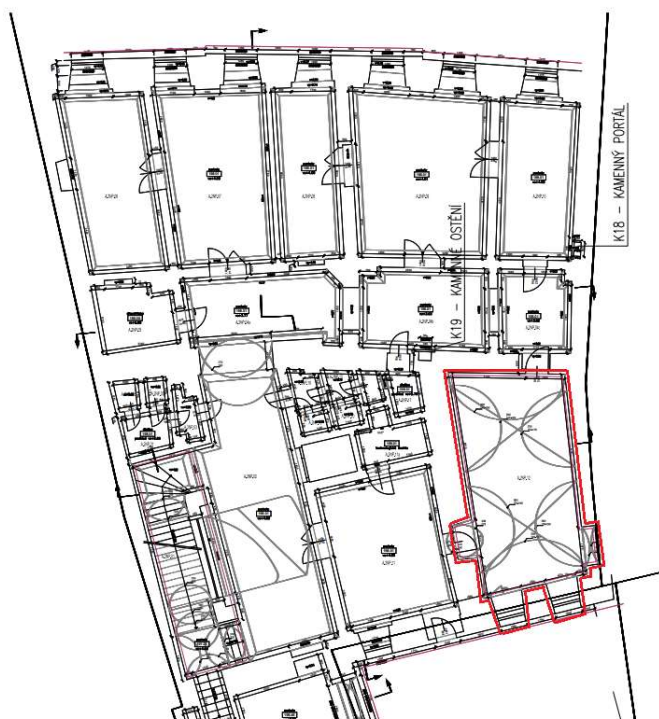


Obrázek 1: umístění objektu Paláce U Sixtů, zdroj: ČÚZK

1.1 Popis

Práce probíhaly v nejsevernější budově s čelem do ulice Celetné, do které byl vstup kvůli probíhající rekonstrukci areálu přes nádvoří z ulice Kamzíkova. Místnost se nachází v druhém nadzemním podlaží a nese ve stavebních výkresech označení A.2NP.12. Podlahu místnosti tvoří rubová strana odkryté křížové klenby a tvar

místnosti tvoří lichoběžník, kdy v západní stěně je vstup do místnosti A.2NP.11 a nálezořá situace gotické niky. V severní stěně je pak vřhod do chodby. Ve východní stěně se nachází malý výklenek s malou nálezořovou situací a jižní stěna pak obsahuje dva výklenky s okny do dvora.



Obrázek 2: Umístění zájmové místnosti v objektu U Sixtů zdroj: NPU

1.2 Historie

Nejstarší budova románského a raně gotického slohu pochází z 12. a 13. století, kdy nejstarší dochovanou částí objektu jsou křížové a válené stropy ve sklepení. V roce 1523 byl objekt přestavěn ve vrcholně gotickém stylu, přibýly další stavby a objekt dostal již podobný tvar nynějšímu stavu. Roku 1567 získává dům směnou významný měšťanský politik Jan Theodor Sixt z Ottersdorfu po němž posléze objekt nese jméno. Roku 1737 dostává dům dnešní podobu přestavbou a výzdobou v barokním stylu. Od roku 1990 byl dům opuštěn a mezi lety 1994 až 1996 proběhly rozsáhlé stavební práce jež zničily mnoho historických prvků budovy a objekt byl

ponechán v zuboženém stavu. Od roku 2018 probíhá přestavba objektu na hotelový objekt řetězce hotelů Ritz-Carlton.

Zdroj: (1) (2) (3) (4)

1.3 Gotická nika

Gotika je umělecký a stavební sloh navazující na sloh románský, který se začíná objevovat v polovině 12. století a ustupuje až na počátku 16. století. Znaky architektury jsou vertikality, lomené oblouky, klenební žebra. Častou ozdobou jsou chrliče.

Zdroj: (5)

Nika neboli výklenek je nejčastěji dekorativním prvkem zapuštěným do síly zdiva určeným pro umístění sochy nebo jiné výzdoby. Pokud výklenek vznikl při stavbě, bývá jeho vrchní část zaklenuta a lemována ozdobnými římsami. Výklenek také může plnit úlohu zpevňující stěnu, kdy rozvádí tlak.

Převzato: (6)



Obrázek 3: Nalezený výklenek v místnosti A.2NP.12

2. Metody

Při rekognoskaci objektu spolu se zadavatelem Ing. arch. Ladislavem Bartošem a vedoucím práce, kdy byly konzultovány metody, které budou během práce využity. Bylo rozhodnuto o vytvoření ortofota všech stěn místnosti A.2NP.12 a nálezových situací v místnosti se nalézajících.

Se zadavatelem bylo dohodnuto, že nebude geodetické měření připojeno polohově, a pro výškové připojení se použije nalezený výškový bod stavby poblíž zájmové místnosti. Jako základní geodetická metoda bude použita prostorová polární metoda s ohledem na podmínky s kombinací polygonového pořadu. Pro tvorbu fotogrammetrických výstupů typu ortofoto a model bude využita metoda IBMR (tj. metoda využívající obrazovou korelaci).

2.1 Prostorová polární metoda

Geodetická metoda, na základě které získáváme jedním měřením ze stanoviska potřebné prvky pro určení pravoúhlých prostorových souřadnic podrobných bodů. Získáváme vodorovný směr, zenitový úhel a délku. Tachymetrii pak dále lze dělit podle použitých přístrojů. Převzato z: (7)

2.2 FTG metoda IBMR

IBMR (Image Based Modeling and Rendering) je moderní fotogrammetrická metoda sloužící k extrakci prostorové informace na principu obrazové korelace z pořízených snímků téhož objektu z různých stanovisek fotoaparátu. Metoda je hlavně využívána pro tvorbu 3D modelů a ortofot. Pro snímkování není potřeba specializovaných fotogrammetrických kamer. Náklady jsou tak například ve srovnání s laserovým skenováním nižší. Nevýhodou metody je, že se při tvorbě modelu mohou vyskytnout místa, kde se model z důvodu nedostatku nebo nekvality vstupních dat nevypočítá. Zpracování modelu touto metodou probíhá většinu času automatizovaně.

Zdroj: (8)

3. Přístroje

Pro vyhotovení výstupů bylo potřeba v zadaném objektu provést měření a výškově jej připojit a následně pořídit měřické snímky, k tomu bylo využito dvou přístrojů, které jsou v následujících podkapitolách uvedeny. Následující přístroje byly využity pro výškové a polohové měření, zmíněný fotoaparát pak k pořízení snímků pro vyhotovení modelu.

3.1 Totální stanice a příslušenství

Totální stanice je přístroj umožňující měření a zaznamenávání horizontálního a vertikálního úhlu a délky. Naměřené hodnoty pak lze pomocí přenosových zařízení ve formě digitálních zápisníků přenést do počítače k dalšímu zpracování.

(9)

3.1.1 Leica TS 06

Pro přenos výšky (viz. Kap.4.2) do zájmové místnosti a zaměření vlíčovacích bodů byl využit přístroj od firmy Leica Geosystem TS06 Ultra 2 se sériovým číslem:1342473. Přístroj se vyznačuje úhlovou přesností 0,6 mgon a délkovou 1,5 mm + 2 ppm při použití odrazného hranolu u bezodrazového měření je přesnost 2,0 mm + 2ppm. Totální stanice umožňuje měřit až na vzdálenost 3,5km při hranolovém měření, v případě laserového měření na reflexní folie 250 m. Stroj disponuje dvouosým kompenzátozem a dalekohledem s 30x přiblížením. Cílení během měření probíhalo na vytyčovací minihranol Leica.

Čerpáno: (10) (11)



Obrázek 4: Totální stanice Leica TS06 zdroj: <https://www.tradekorea.com/product/detail/P508402/Leica-Flexline-TS06-Ultra-2--Total-Station.html>

3.2 Fotoaparát

V dnešní době dělíme fotoaparáty na dva základní typy a to analogové (ty se ale při měřické dokumentaci nevyužívají) a digitální. U analogových fotoaparátů je pořízený obraz snímán na světlo citlivou vrstvu filmu tzv. negativ. Negativ je pak potřeba vyvolat. U digitálních fotoaparátů je obraz zachycen pomocí digitálního snímače a uchován v digitální podobě.

Pro fotogrammetrické měření bylo využito digitálního fotoaparátu Nikon D7100 s objektivem AF-S Nikkor 17-35 mm.

3.2.1 Nikon D7100

Fotoaparát Nikon D7100 je digitální jednooká zrcadlovka. Disponuje snímačem CMOS o velikostí 23.5 x 15.6 mm (snímač typu APC-S) a rozlišením snímku je 6000 x 4000 pixelů. Rozsah citlivosti ISO je od 100 do 6400. Fotoaparát je opatřen odolným tělem a odolností proti prachu a klimatickým vlivům. Fotoaparát

umožňuje, jak fotografování s využitím hledáčku, tak i živého náhledu, tak i aplikování efektů pro statické snímky. (12)



Obrázek 5: Nikon D7100 zdroj: https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/discontinued/digital-cameras/2018/d7100#overview

3.3 objektiv AF-S Nikkor 17-35mm

Na fotoaparátu byl během snímkování nasazen objektiv AF-S Nikkor 17-35mm, kde označení 17-35mm označuje na volitelnou ohniskovou vzdálenost. Nejkratší zaostřitelnou vzdáleností objektivu je vzdálenost 0,28m. Objektiv je dále vybaven širokoúhlým zoomem a ultrazvukovým zaostřovacím motorem. Zaostřovat lze, jak automaticky, i manuálně. Objektiv byl po celou dobu pořizování snímků nastaven na nejmenší ohniskovou vzdálenost 17 mm. (13)



Obrázek 6: objektiv AF-S Nikkor 17-35mm zdroj: https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/nikkor-lenses/auto-focus-lenses/fx/zoom/af-s-zoom-nikkor-17-35mm-f-2-8d-if-ed#overview

4. Software

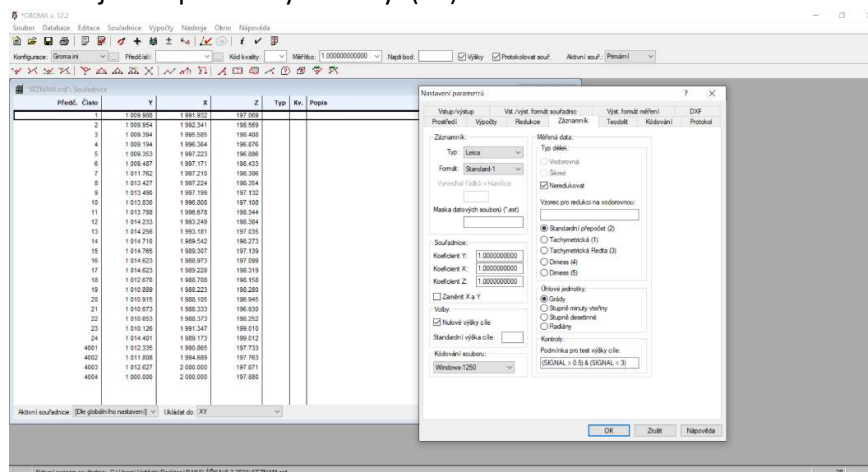
Pro zpracování dat bylo potřeba využít několik softwarů, jak pro zpracování geodetického měření, tak k úpravě snímků a k fotogrammetrickému zpracování a výstupů.

Software Groma byl v rámci zpracování dat využit pouze k dekodování zápisníku z totální stanice Leica TS06, další výpočetní práce se zápisníkem probíhaly v softwaru Kokeš pro jeho lepší vizualizaci a práci s body.

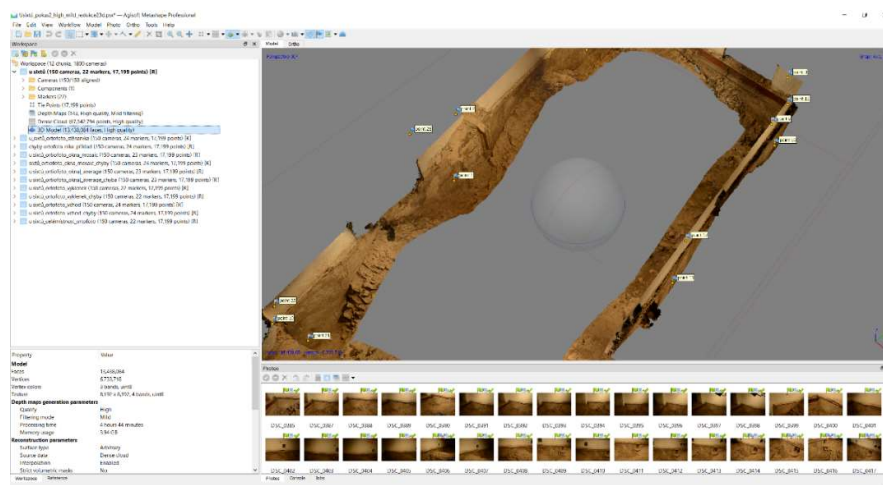
4.1 Výpočetní software Groma

Program Groma od firmy Geoline, spol. s r.o. je určen k řešení všech základních geodetických úloh, také obsahuje jednoduchou grafiku pro vizualizaci bodového pole a možnosti digitalizace rastrových dat. Výpočet může probíhat, jak jednotlivými výpočty, i dávkově. Umožňuje práci se všemi běžnými záznamníky. Program dále vytváří protokol o výpočtech. Program pracuje v prostředí 32 a 64bitových Microsoft Windows. Práce probíhají v dialogových oknech, kterých může být libovolné množství a program pracuje pouze s aktuálním vybraným oknem.

Pro práci s daty byla využívána školní verze programu Groma, která neumožňuje práci s více jak 50 podrobnými body. (14)



Obrázek 7: Prostředí školní verze programu Groma v12.2

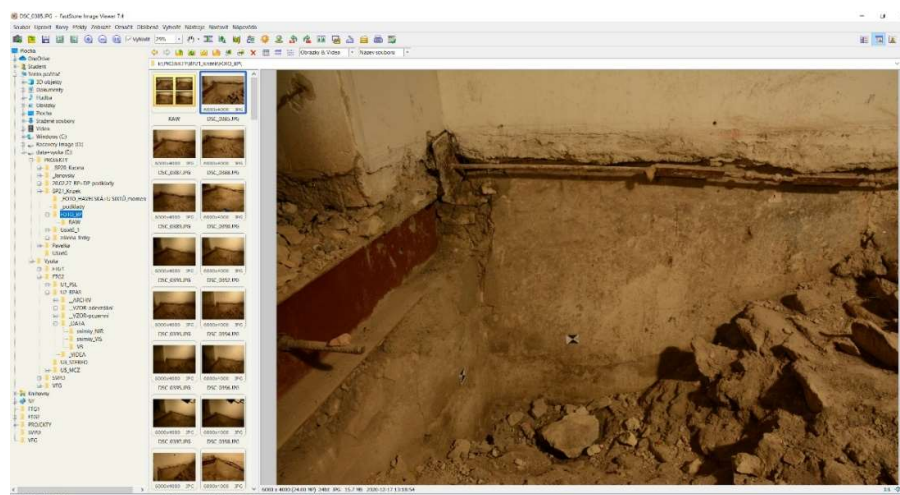


Obrázek 9: Prostředí programu Agisoft Metashape

V tomto programu probíhala většina pracovních úkonů bakalářské práce.

4.4 Software pro úpravu snímků Fast Stone image wiewer

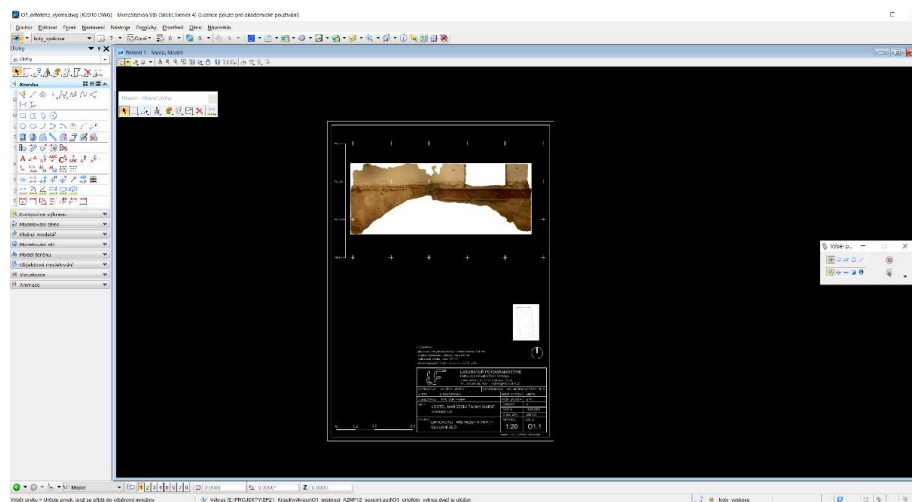
Software firmy Faststone soft slouží k prohlížení snímků a k jejich úpravě. Software podporuje formáty BMP, JPEG, JPEG2000, GIF, PNG, PCX, TIFF, WFM, ICO, TGA a camera RAW. Software je zcela zdarma. Program byl využit pro úpravu svělosti několika snímků. (17)



Obrázek 10: Prostředí programu Fast Stone image wiewer

4.5 MicroStation

Software firmy Bentley pro tvorbu 2D a 3D projektů typu CAD. Pomocí MicroStation můžete snadno zobrazovat, modelovat, dokumentovat a vizualizovat projekty libovolné velikosti nebo složitosti. Řada MicroStation poskytuje výkon a všestrannost pro přesné zobrazování, modelování, dokumentaci a vizualizaci informačně bohatých 2D a 3D návrhů. Softwaru bylo využito ke tvorbě výkresů ortofoto a k přípravě tiskových výstupů. (18)



Obrázek 11: Prostředí programu MicroStation

4.6 Cloudcompare

CloudCompare je software pro 3D zpracování mračka bodů, či práce s trojúhelníkovou sítí nebo snímků. Software byl využit k filtraci hustého mračka před vytvořením modelu v softwaru Agisoft Metashape. (19)

5.Sběr dat a práce v terénu

Tato kapitola bude pojednávat o postupu geodetických a fotogrammetrických prací při sběru dat v budově U Sixtů.

Samotné práce na určeném místě proběhly 17. listopadu 2020, kdy jsme byli nejdříve seznámeni s bezpečnostními předpisy stavby a upozorněni na rizika se stavbou spojené. Za pomoci figurantky Petry Sedláčkové proběhly měřické práce od 8 do 17 hodin.

5.1 Rekognoskace

Na začátku jakéhokoliv měření je dobré si nejdřív zájmovou oblast projít a rozvrhnout postup prací. Po prozkoumání 2 nadzemního podlaží bylo rozhodnuto o prostoru určeném k dokumentaci, tím byly nálezové situace v místnosti A.2NP.12. Po prozkoumání byla nalezena ještě druhá nálezová situace, kterou je střípek další pravděpodobné niky. Na místě bylo dále rozhodnuto o dokumentaci rohů a dolních prostorů mezi oblouky klenby. Předmětem dokumentace se staly 4 stěny místnosti a 2 nálezové situace, ze kterých vzniknou 4 ortofota stěn v měřítku 1:20 a u zájmových nálezových situací v místnosti bylo zvoleno měřítko 1:10 na základě žádosti Ing. arch. Ladislava Bartoše a doc. Ing. Michaela Rykla Ph. D.

Výsledkem bylo, že místnost byla rozdělena na ortofota v měřítku 1:20 označená O1 až O4, a ortofota v měřítku 1:10 označená O5 až O6. Stěna O1 severní stěna které ve spodní části vystupuje ze zdi traverza, nad kterou je vchod do spojovací chodby. O2 východní zeď s výklenkem s malou nálezovou situací. O3 je jižní zeď se dvěma výklenky pro okna směřující do dvora areálu. O4 západní zeď místnosti s nálezovou situací gotické niky a vchodem do vedlejší místnosti A.2NP.11. O5 bude detail gotické niky, a O6 detail nálezové situace ve výklenku východní zdi.

Pro potřeby dokumentace byla zvolena fotogrammetrická metoda IBMR, a vznikla potřeba vybudovat místní souřadnicovou síť a výškově jí připojit.

Pro účely zaměření vlícovacích bodů bylo využito polární metody s výškami. Během rekognoskace byla nalezena i výškově připojená značka stavby, tedy bylo rozhodnuto, geodetické měření na tento bod připojit. Tento bod byl pro další účely měření pojmenován jako 5001.

Pevné body stanovisek byly zhotoveny fixem na očištěný povrch nebo hřebíčkem zatlučeným do podlahy. Na zaměřované stěny byly nalepeny vlícovací křížové papírové štítky pro jednoznačné určení bodu a popsány čísla.



Obrázek 12: Výškový bod stavby, který je v měření označen jako bod 5001

5.2 Geodetické měření

Pro geodetické měření bylo využito prostorové polární metody, kdy jsou měřeny horizontální, vertikální úhly a šikmé případně vodorovné délky. Výsledné souřadnice bodu se pak spočítají pomocí rovnic:

$$x = X_s + d * \cos \omega$$

$$y = Y_s + d * \sin \omega$$

$$z = Z_s + d * \cotg \omega$$

Kde x, y, z jsou souřadnice určovaného bodu a X_s, Y_s, Z_s souřadnice stanoviště, d je vodorovná vzdálenost a ω úhel vodorovný při výpočtu souřadnic x, y nebo zenitový při výpočtu souřadnice z .

Pro připojení geodetické sítě (viz. Obrázek 17) výškově bylo potřeba 4 stanoviště, číselována byla od 4001. Stanoviště 4001 a 4002 byla vyznačena fixem na vrcholcích oblouků klenby, bod 4003 byl také vyznačen fixem na očištěnou podlahu, až bod 4004 se povedlo stabilizovat pomocí hřebíku do podlahy. Na zájmové stěny bylo rozmístěno 22 vlícovacích bodů a dva výškové body (přeneseny pomocí laserové vodováhy od výškového bodu stavby tzv. Vágrys). Měření se provádělo ve dvou polohách na pevné body sítě na vlícovací body pak pouze v jedné poloze dalekohledu pro kontrolu byl nastaven nulový směr, který byl na každém bodě na konci měření kontrolován. Měření začínalo z bodu 4004, kdy z bodu byl zaměřen výškový bod stavby a následně bylo měřeno na bod 4003. Na stavbě v tu samou dobu prováděla v rámci projektu volitelného předmětu měření Lucie Hnilicová, která bod a měření z bodu 4004 využila do svého měření. Body 4001, 4002 a 4003 byly navzájem „proměřeny“. Měření pevných stanovišť probíhalo na vytyčovací mini hranol Leica, vlícovací body pak pomocí bezodrazového měření laserem. Zaměření vlícovacích bodů probíhalo ze stanovišť 4001 a 4002, kdy většina bodů byla zaměřena z obou stanovišť. Pro kontrolu správného výškového připojení bylo z bodů 4001 a 4002 měřeno na přenesené výškové fixy v zápisníku označované jako

bodů 23 a 24. Měření probíhalo s výše zmíněným přístrojem Leica TS06. Bylo změřeno 22 vlíčovacích bodů a 3 výškové fixy a měřeno bylo celkem na 4 stanoviskách místní souřadnicové sítě.

5.3 Snímkování

Ještě téhož dne jako proběhlo měření, došlo i ke snímání zájmové místnosti pro zpracování pomocí metody obrazové korelace. Pro metodu obrazové korelace je potřeba zajistit alespoň dva snímky s dostatečným překrytím. Snímány byly zájmové části místnosti, tedy především rohy, prostory mezi klenbami a niky. Focení probíhalo z různých podhledů, nadhledů a směru fotoaparátu tak, aby bylo co nejlepší rozložení snímků, pro co nejlepší pokrytí zájmových míst. Na každé zájmové místo vychází přibližně 30 snímků podle členitosti místa (viz. Tabulka). Do místnosti neproudilo v dostatečném množství přirozené světlo, tedy bylo zvoleno pro zlepšení světelných podmínek využití i několika halogenových lamp. Světlo bylo směřováno tak, aby byli minimalizována tmavá místa, stíny na snímcích, tmavší snímky bylo-li třeba, byly pak upraveny v postprocesingu. Důležité je také nastavení fotoaparátu, a aby se během snímání nastavení neměnilo. Nastavení objektivu byla na nejnižší ohniskovou vzdálenost 17 mm, světelná citlivost 800 ISO, clona $f/11$ a formát snímků 6000x4000 24 bit. Dále bylo použito režimu Priorita clony. Snímání probíhalo z ruky bez použití stativu.

Část stěny	Počet snímků
Severní stěna levý roh	24
Severní pravý levý roh	23
Jižní stěna levý roh	28
Jižní pravý levý roh	14
Západní strana nika	35
Východní nika prostor mezi klenbami	18
Detail jižní stěna pravý roh	7
celkem	150

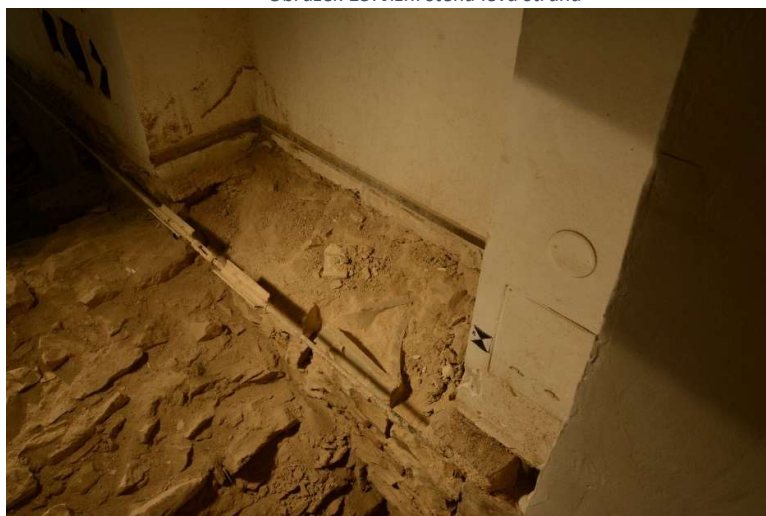
Tabulka 1: počet snímků na zájmová místa místnosti



Obrázek 13:Detail na nálezovou situaci východní zdi



Obrázek 15: Jižní stěna levá strana



Obrázek 14: Východní stěna výklenek



Obrázek 16: Západní stěna nika

6. Geodetické zpracování

V této kapitole bude popsáno zpracování geodetického měření.

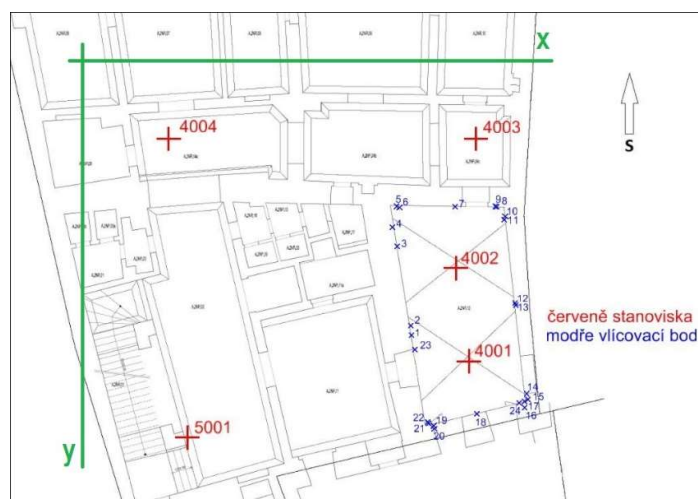
6.1 výpočet měřické sítě

Původně jsem chtěl měření zpracovávat v programu Groma, ale po problémech, kdy se mi nedařilo nastavit správné počítání délky, jsem se rozhodl pro mě jednodušší a příjemnější zpracování pomocí programu Kokeš. Program Groma byl tedy využit pouze pro dekodování zápisníku z formátu gsi a k opravě chyb měření jako otočení poloh dalekohledu. Z programu Groma pak byl vyexportován zápisník v textovém formátu a v programu Kokeš spočítán pomocí polární metody. Zavádění fyzikálních redukcí, kvůli měření uvnitř budovy a na krátké vzdálenosti, nebylo nutné zavádět. Jak je uvedeno výše, program Kokeš umožňuje počítat pomocí dávky, přesto jsem zvolil počítání jednotlivě, pro lepší kontrolu odchylek dvakrát měřených vlíčovacích bodů. V záložkách byla vybrána možnost *Výpočty*, a dále možnost *osnova směrů*, kde se nastaví stanovisko přístroje a orientace. Samotný výpočet podrobných bodů pak probíhá v dolním textovém okně, kam zadáváme délku, vodorovný úhel a zenitový úhel. Následně zvolíme číslo bodu. Pokud je bod vypočten dvakrát se stejným číslem, program vznese dotaz, jak se má s takovými body naložit, zde byla volena možnost průměrování obou souřadnic. Odchylka dvakrát měřených bodů se pohybovala v řadách milimetrů (viz. VB_PROTOKOL) a výpočet i měření bylo považováno, že proběhlo v pořádku.

Výpočet probíhal v místních souřadnicové soustavě, kdy byl počátek zvolen bod 4004 o souřadnicích Y 2000 a X 1000, a orientace bod 4003, kdy souřadnice Y je stejná jako u bodu 4004 a k souřadnici X je přičtena vodorovná délka tak, aby veškeré podrobné body z pohledu S-JTSK byly v 4 kvadrantu. Tento počátek byl zvolen záměrně kvůli programu Agisoft Metashape, který namísto pro náš obor typickým systémem S-JTSK pracuje s matematickou orientací os. Problém se pomocí takto zadaného počátku povedlo vyřešit. Z programu Kokeš nám vyšly souřadnice bodů v 3 kvadrantu tedy byly ještě ručně opraveny do 4 kvadrantu.

Z bodu 5001, kde byl takto označen výškový fix (viz. Obrázek 17) stavby o výšce 199.00 m nad mořem, byla přenesena výška do zájmové místnosti dvěma způsoby. Nejdříve pomocí laserové vodováhy, kdy bylo v zájmové místnosti touto metodou rozmístěno několik nových bodů tzv. vágrysů. Tyto body jsou v měření tachymetricky označeny čísly 23 a 24. Tyto body byly pro kontrolu výškového připojení polygonovým pořadem zpět na výchozí bod, kdy bylo zjištěno, že mezi jednotlivými metodami vznikl rozdíl 1 cm. Při tachymetrické metodě byl bod 23 zaměřen ze dvou bodů, rozdíl výšek z obou měření byl 2 mm. Určení výšek bodů polygonovým pořadem bylo považováno za referenční. Bohužel jsem neměl možnost zpětně zjistit kolik přestavení při přenášení výšky pomocí laserové vodováhy doc. Rykl použil, tedy dále je brána tachymetrická metoda jako správnější. Výsledné souřadnice bodů a protokol o výpočtu naleznete v přílohách.

S-JTSK je závazný geodetický referenční systém na celém území státu, definovaný Besselovým elipsoidem, Křovákovým konformním kuželovým zobrazením v obecné poloze a souborem souřadnic bodů z vyrovnání trigonometrických sítí, navrhnuty Ing. Josefem Křovákem ve 20 letech 20 století. V Československu bylo zavedeno zákonem 177/1927 Sb. Převzato: (7)

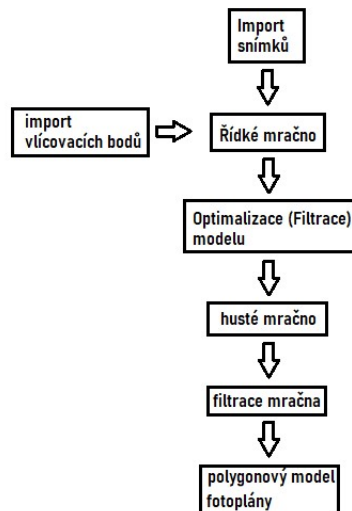


Obrázek 17: Situace rozmístění stanovišek a vřícovacích bodů

7. Tvorba 3D modelu

V následující kapitole bude podrobněji popsán postup zpracování snímků a vytvoření 3D modelu od importu, přes přebrání snímků, řídké mračno, import vlíčovacích bodů, až po tvorbu hustého mračna a polygonového modelu.

Vše pomocí softwaru Agisoft Metashape.



Obrázek 18: Schéma postupu prací

7.1 Zpracování fotogrammetrických snímků

Po sběru dat bylo potřeba snímky prohlédnout a vyloučit snímky pořízené špatným nastavením fotoaparátu nebo se špatnou obrazovou kvalitou. Následně byl v softwaru Agisoft Metashape založen nový projekt a sním také vytvořen nový tzv. Chunk, kam byly snímky importovány. Chunk může být dále kopírován v rámci jednoho projektu, takže není třeba zakládat další soubor. Po nahrání do Chunku lze pomocí funkce *Estimate image quality* zkontrolovat kvalitu a nastavení fotoaparátu u všech snímků. Kvalita snímků je určována na základě ostrosti a je vyjádřena číslem od 0 do 1. Při čemž platí, že čím je číslo vyšší, tím je snímek kvalitnější. Pomocí této funkce jsme hledali snímky s obrazovou kvalitou nižší než 0.5 a případně s jiným nastavením fotoaparátu (např. zoom), než je zmíněno výše a tyto snímky ze zpracování vyloučili, aby nevstoupily do dalších výpočtů. V našem

případě všechny snímky splnily kvalitu a nebylo potřeba žádné snímky z výpočtu vyřadit.

K práci se softwarem Agisoft Metashape byly využity instruktážní videa poskytnutá Ing. Jindřichem Hodačem, Ph.D.

Další kapitoly budou věnovány zpracování snímků v tomto softwaru.

7.2 Nastavení parametrů kamery a spuštění orientace snímků

Nastavení parametrů kamery je důležité pro další práci se snímky. Určujeme jimi prvky vnitřní orientace fotoaparátu. (20) Tuto část zpracování lze v softwaru Agisoft Metashape nalézt v záložce *Tools/ Camera calibrations*, kam zadáme velikost 1 pixelu používaného fotoaparátu Nikon D7100, která je udána výrobcem v našem případě $3.9 \times 3.9 \mu\text{m}$. Ohniskovou vzdálenost si software převezme z použitých snímků, která je v našem případě 17 mm. Na základě těchto parametrů pak software propojí jednotlivé snímky pomocí funkce *align photos*, kterou najdeme v záložce *workflow*. Tato funkce nám vytvoří řídké mračno, se kterým dále budeme pracovat.

Pro funkci *align photos* bylo použito doporučené nastavení instruktážním videem *accuracy- High* a políčko *Generic presection* ponecháno zaškrtnuté. Po rozkliknutí *Advance* jsme nastavili políčko *Key point limit* na hodnotu 40 000 a políčko *Tie point limit* na 10 000.

7.3 Definování vlíčovacích bodů a jejich optimalizace

V této části propojíme pořízené snímky a na základě nich vzniklý model s měřenými vlíčovacími body. Snímky tak souřadnicově umístíme. Je-li vlíčovací bod na více snímcích, software vypočte prostorovou odchylku vlíčovacích bodů.

Body jsou do softwaru vkládány pomocí záložky *Referenc* a záložky *marker*, kde po kliknutí pravého tlačítka myši se zobrazí možnost *add marker*. Tímto jsme vložily všechny vlíčovací body do chunku. Jednotlivým bodům pak přiřadíme souřadnice vypočtené v softwaru Kokeš. Body následně umístíme na jednotlivé

snímky. Po vložení jednoho bodu na alespoň dva snímky, vypočte software polohu bodu na dalších snímcích, ta však nemusí být nutně správně, a tak je třeba polohu bodu případně ručně doopravit. Body námi umístěné byly označeny zeleně, zatímco body vypočtené softwarem šedě. Pro dosažení lepších výsledků, byly všechny navrhnuté body ještě ručně doopraveny. Pokud jsou na snímcích označeny vlíčovací body, u snímku se objeví zelená vlaječka. Pokud není na snímku vlíčovací bod, software se snímek pokusí do výpočtu zařadit, avšak výsledky z něho nemusí být přesné. Pokud některý z vlíčovacích bodů vykazuje velké odchylky, je možné ho v záložce *marker* vypnout nebo u snímků odpojit. Této možnosti bylo nakonec využito u bodu 15, který vykazoval větší odchylky v řádu centimetrů, tedy byl z výpočtu vyloučen.

Ještě v záložce *reference settings* označené nářadím (viz obrázek.) nastavíme přesnost vstupních hodnot vlíčovacích bodů a snímků v políčkách *Marker accuracy* a *Scale bar accuracy* na hodnotu 0.005m, která odpovídá požadovanému výstupu 1:10 a 1:20 a i přesnosti dosaženého geodetického zaměření.

Jak výše uvádím, software používá matematický souřadnicový systém. Neuvědoměním a nebráním tohoto faktu v potaz vznikl původně problém s vlíčovacími body, kdy souřadnicové odchylky na bodech dosahovaly i několika centimetrových ne-li i metrových chyb. Řešení problému však nebylo snadné, neboť i po uvážení tohoto faktu a různých variací souřadnic, program ukazoval nadále podobné chyby. Nakonec se problém povedlo vyřešit právě výše zmíněným umístěním do „4. kvadrantu“, kdy souřadnicové odchylky začaly dosahovat milimetrových rozdílů. Po ruční kontrole a po různých kombinacích zapnutí a vypnutí byl nakonec vypnut a do výpočtu nezahrnut bod 15 a 23, poté se podařilo dosáhnout přesnosti výpočtu modelu 8,5 mm. Tato hodnota se po filtraci mračna ještě zmenšila na hodnotu 3,8 mm, která je vhodná jak pro měřítko 1:20, tak i pro 1:10.

Výsledky naleznete v příloze: A_PROTOKOL_A.2NP.12 a A_PROTOKOL_NIKA

7.4 Filtrace řídkého mračna

Z výpočtu řídkého mračna nám vyšlo cca 242 000 bodů, ty jsou však určeny s různou přesností. Naším úkolem je odfiltrout body s neodpovídající přesností pro další výpočet, toho dosáhneme pomocí funkce *gradual selection*. V této funkci volíme různá kritéria a program vybírá body, které kritéria nesplňují a v našem případě body jednoduše smaže. Aby se změny po smazání bodů promítly, je třeba mračno optimalizovat. Tím se změní i souřadnicová odchylka na vlíčovacích bodech. Postup opakujeme tak dlouho, dokud zůstanou pouze body splňující kritéria. Je také dobré dávat si pozor, aby zbylo dost bodů v místech, která nás zajímají, pokud v těchto místech dost bodů není, může to vést k deformaci modelu. Po filtraci bodů, která nesplnila kritéria, zbylo cca 13 000 bodů, které vstoupí do výpočtu hustého mračna.

Nastavení hodnot použité k filtraci bodů s neodpovídající přesností:

Image count	2
Projection accuracy	10
Reconstruction uncertainty	6
Reprojection error	0.5

Tabulka 2: hodnoty pro filtraci mračna

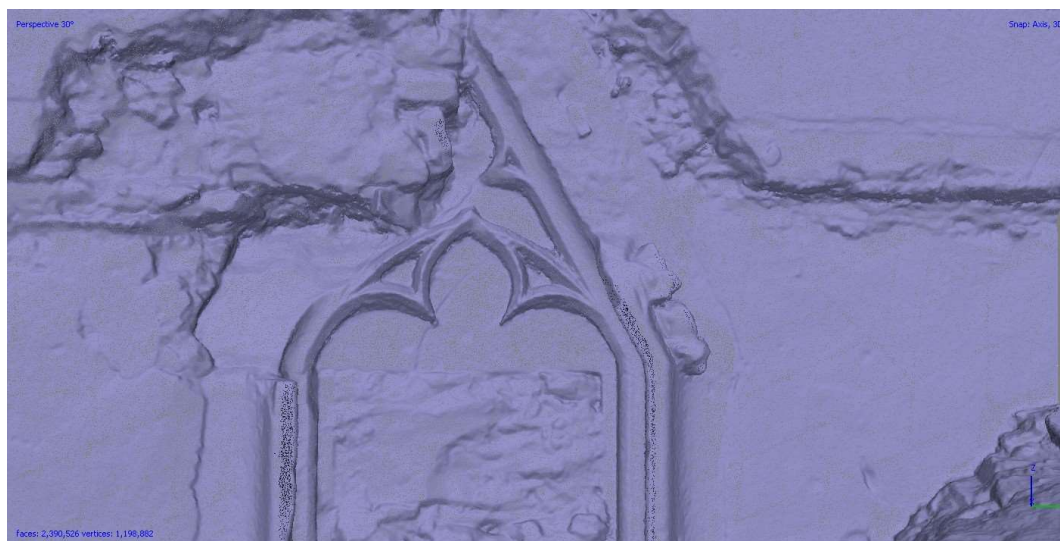
Hodnoty jsou doporučené výukovým videem Ing. Jindřicha Hodače, Ph.D.

7.5 Výpočet hustého mračna bodů

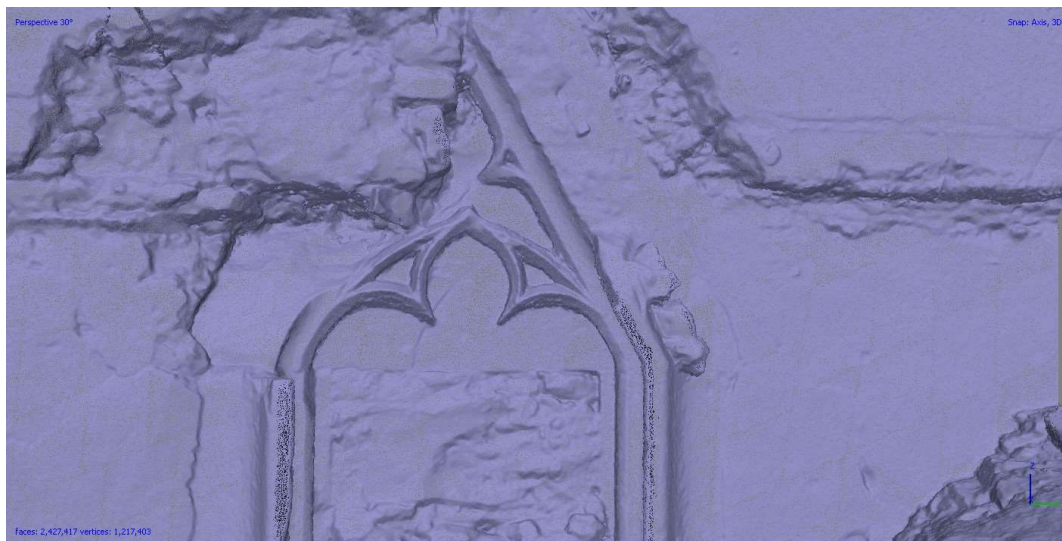
Časově nejnáročnější bude výpočet hustého mračna bodů, kdy některé výpočty můžou trvat i dny. V předchozí kapitole jsme vypočítali řídké mračno, to nám však k vytvoření modelu nestačí. U hustého mračna víme polohu kamer a orientace vlíčovacích bodů získané v předešlých kapitolách. Přesnost a „vyhlazení“ nového mračna záleží na vstupním nastavení a také na době výpočtu. U funkce, kterou spouštíme výpočet hustého mračna *Build dense cloud*, máme možnost několika nastavení. Tato nastavení ovlivňují vzhled výsledného mračna. Nastavení Ultra high je největší podrobnost a low je naopak nejnižší, avšak nejvyšší neznamena nejlepší

nebo nejvhodnější. Pak máme možnost nastavení hloubkové filtrace *Depth filtering* s nastavením *agresive*, *mild* a *moderate*, kdy *agresive* je určeno především pro hladké objekty a *mild* pro členitější, *moderate* pak je kompromisem mezi oběma nastaveními.

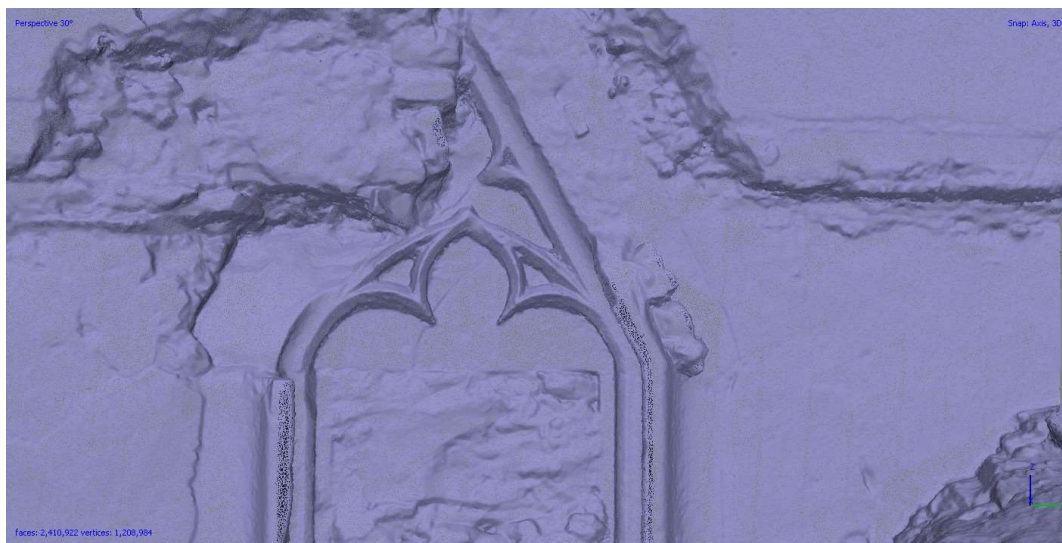
Postupně bylo zkoušeno několik výpočtů na nastavení kvality high a ultra high pro všechny možnosti hloubkové filtrace. Jako nejvhodnější byla nakonec vybrána vypočtená mračna pro nastavení *Ultra high – mild* pro detail niky a nastavení *High – mild* pro celou místnost. Pro detail niky trval výpočet hustého mračna přibližně 6h, pro celou místnost pak něco přes 14 hodin. Výpočet „detailnějšího“ hustého mračna pro celý model nebyl využit především kvůli velké časové náročnosti a velkému počtu hluchých míst, kdy ne všechna zájmová místa byla pokryta dostatečným počtem bodů pro další práci s mračnem a nadále bylo pracováno pouze z výše zmíněnými mračny.



Obrázek 19: Husté mračno, nastavení High-Agresive



Obrázek 20: Husté mračno, nastavení High-Mild

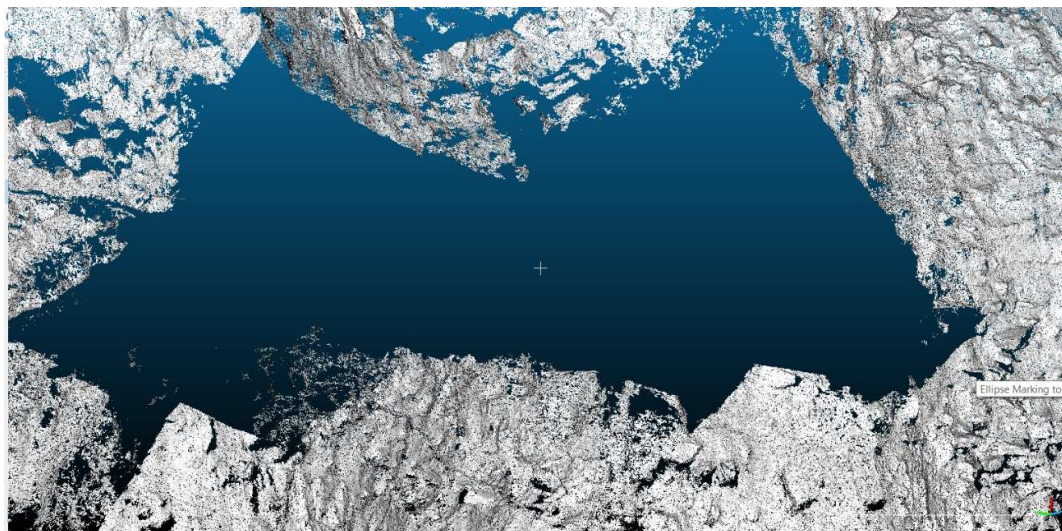


Obrázek 21: Husté mračno, nastavení High-Moderate

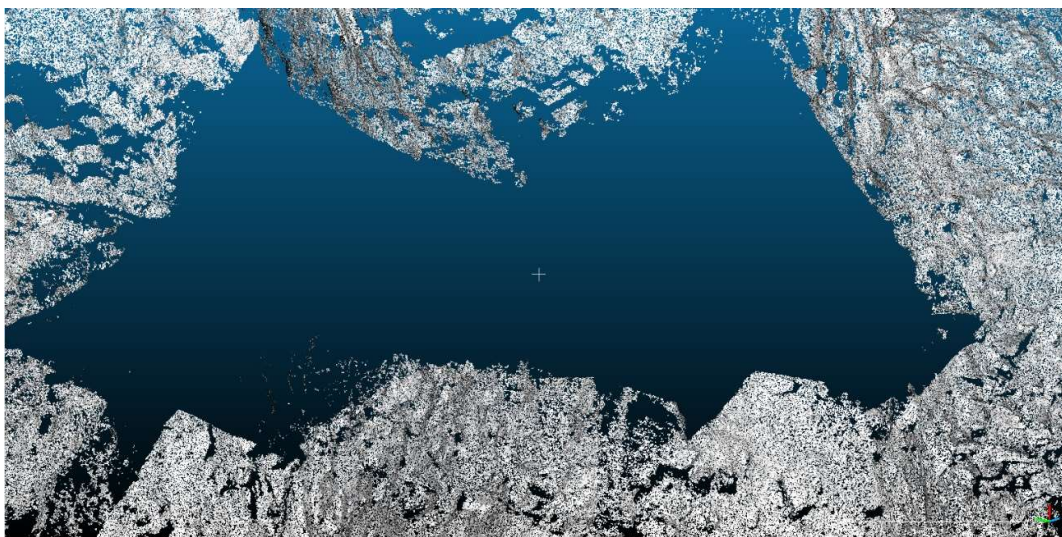
7.5.1 Filtrace hustého mračna

Husté mračno může obsahovat body duplicitní nebo body, které se náhodně vypočetly v prostoru. K jejich odstranění byl využit software CloudCompare.

V softwaru Agisoft Metashape bylo vyexportováno mračno a následně otevřeno v softwaru CloudCompare. Husté mračno pak bylo podrobena několika filtračním funkcím. Nejdříve byla použita funkce *Remove duplicate point*, poté *Noise filter*, kdy byly odfiltrovány duplicitní body, nebo body nezapadající do mračna. Rozdíl je hlavně viditelný na místech od kterých se očekává hladkost, tedy rovných částech stěn místnosti. Vyhlazené mračno je následně opět nahráno do softwaru Agisoft Metashape.



Obrázek 22: Husté mračno místnosti před filtrací (pohled na klenbu z nadhledu)

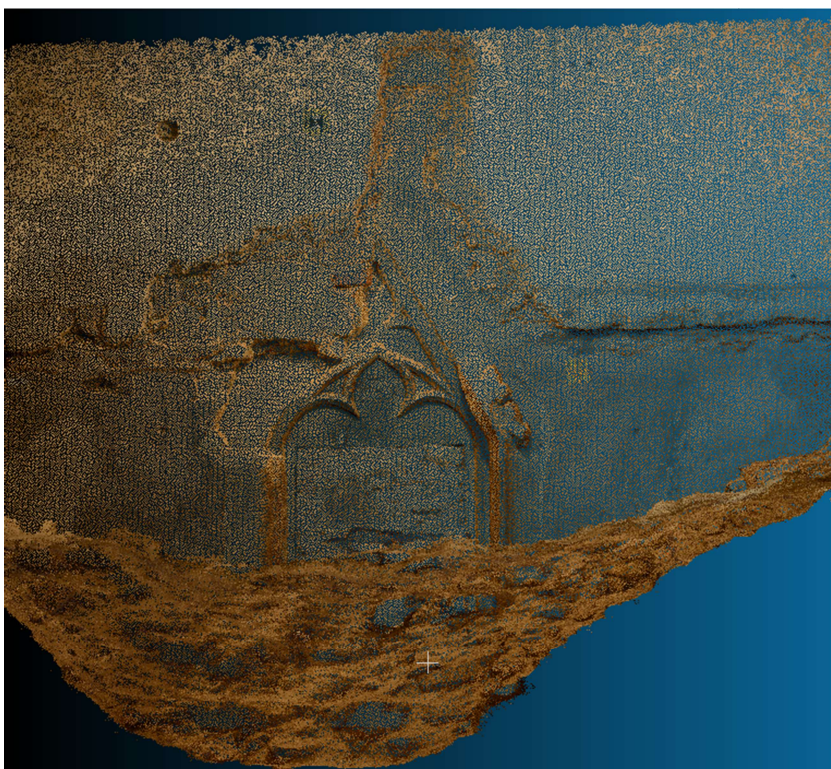


Obrázek 23: Husté mračno místnosti po filtraci (pohled na klenbu z nadhledu)

U hustého mračna celé místnosti se filtrace příliš neprojevila. Jinak tomu však bylo u hustého mračna niky, kde se filtrace projevila především na rovných plochách. Projevil se hlavně vliv šumu a duplicitních bodů.



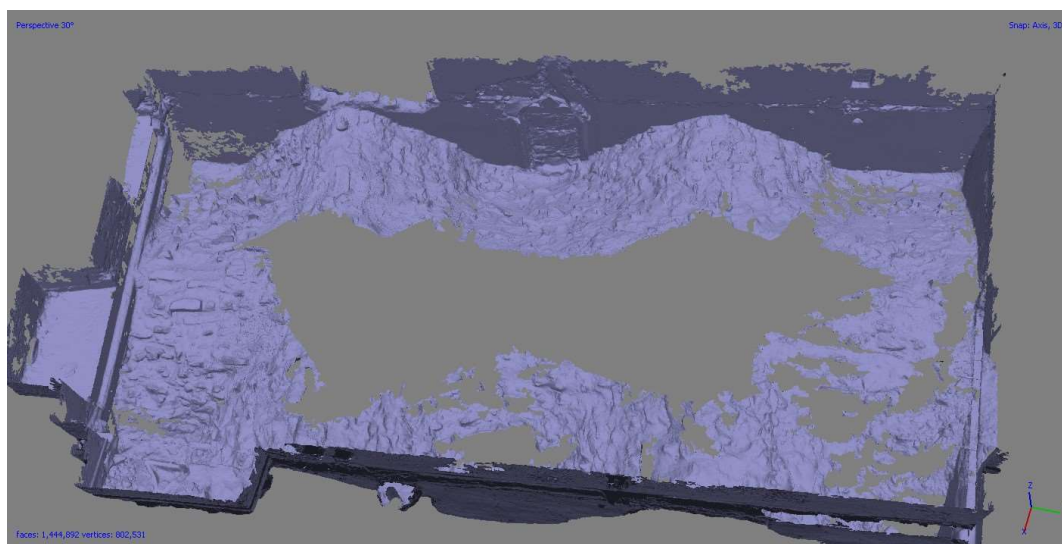
Obrázek 24: Husté mračno niky před filtrací



Obrázek 25: Husté mračno niky po filtraci

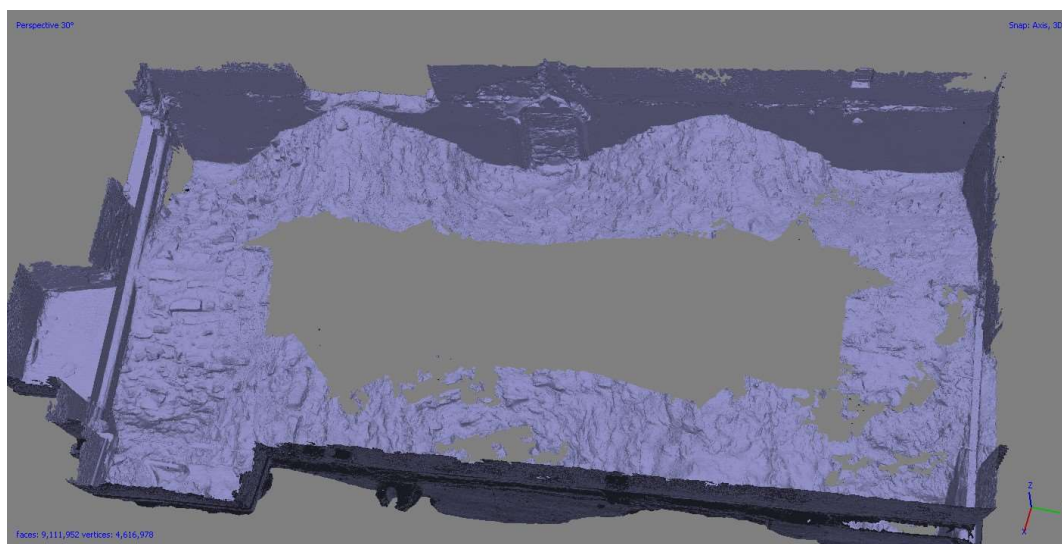
7.6 Tvorba modelu

Zde se lišil postup vytváření polygonového modelu pro 3D model a pro ortofoto, kdy pro ortofoto nebyl požadován až tak vyhlazený model, a bylo použito pro další práce rovnou husté mračno, které se nejdříve ořezalo přibližně 20 cm od stěn, aby stěny při pohledu na ně nezakrýval nános. Pro každou stěnu se duplikoval původní *chunk* a ořízl na potřebnou stěnu. Pro celkový model se ponechalo cca 1 m prostoru od stěn. Pro výpočet polygonového modelu pro 3D model se pak využilo vyfiltrované husté mračno pomocí softwaru CloudCompare. Výpočet polygonového modelu se spustí pomocí funkce *Build mesh*, kdy bylo ponecháno základní nastavení funkce: *Source data = Dense cloud*, *Surface type= Arbitrary (3D)* a *Face count = High*.



Obrázek 26: Vypočtený model s malým počtem počátečních bodů cca 7 000 000

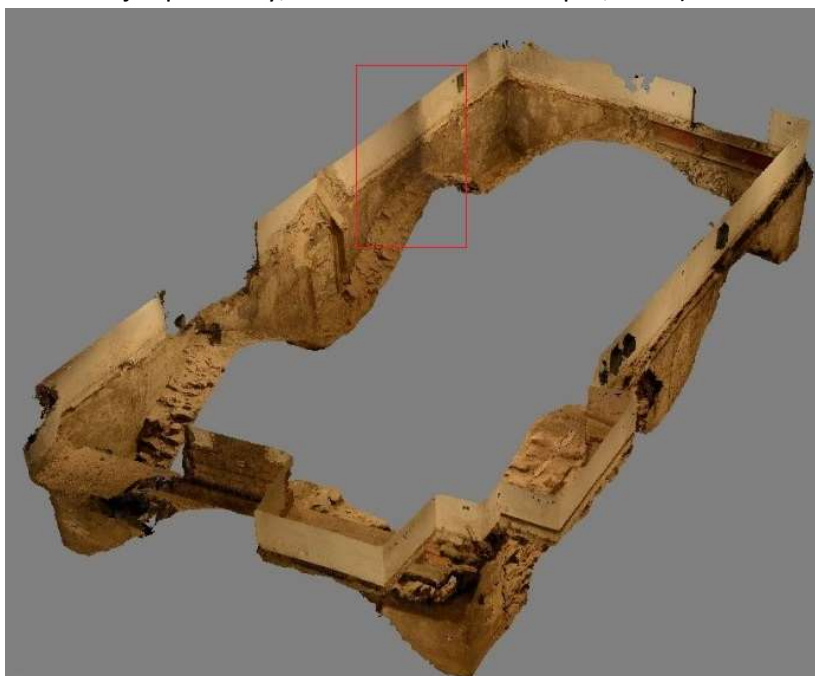
Při prvních pokusech vytvoření modelu bylo využito mračno s ne zcela vhodnou mírou použité filtrace, což mělo za následek necelistvost modelu (viz. Obrázek 26). Proto byl využit jeden z předešlých stupňů filtrace, kdy nebyl úbytek bodů tak znatelný na vytvořeném modelu a „díry“ nebyly poté tak rozsáhlé (viz. Obrázek 27).



Obrázek 27: Vypočtený model na počet počátečních cca 46 000 000 bodů

7.7 Tvorba textury

Po vytvoření modelu je možné vypočítat texturu pro model pomocí funkce *Build texture*. Tato funkce na základě dostupných snímků v chunku přiřadí barevnou informaci modelu a vznikne tak velmi realistický vjem z modelu. Textura jednotlivých míst je poskládána ze všech snímků na kterých se toto místo nachází, tedy vytváří tzv. Mozaiku. Tato mozaika je tedy tvořena, jak snímky s dobrou, tak i snímky s horší kvalitou daného místa. To může zapříčinit, že některá místa textury budou rozmazaná, nebo se nevykreslí vůbec, či se vykreslí špatně (např. nenavazující přechody, viz. Obrázek 28, odskok spár, atd...).



Obrázek 28: Model potažený texturou

Výpočet textury proběh při doporučeném nastavení z výukových materiálů.

7.8 Úprava textury modelu

Po vytvoření textury modelu se některé snímky ukázaly od začátku jako velmi tmavé, to se projevilo na vytvořené textuře a následně i na ortofotech, jako velmi tmavé či ostré přechody mezi některými místy. Využilo se toho, že změny provedené na snímcích mají přímý vliv v softwaru Agisoft Metashape i na již vytvořenou texturu. K úpravám obrazové kvality snímků byl využit software Fast

stone image Viewer. S cílem, aby tmavá místa lépe vynikla, byl programem měněn jas, stíny, ostrost a případně barvy na snímcích. Hledala se vyváženost tak, aby byl snímek světlejší, ale zároveň aby se neztratila informace ze snímku. Například kvůli velkému jasu by některá místa zanikla a mohlo by to ovlivnit opakované výpočty hustého mračna. Zesvětlení několika snímků pomohlo i při opakovaném výpočtu hustého mračna, kdy se vypočítaly části místnosti, které se předtím vypočítat nepovedlo. Jednalo se především o jeden z rohů výklenku východní zdi. Pokud by se však tato úprava prováděla až po vytvoření ortomosaiky, musela by být ortomosaika vypočtena znovu.

7.9 Určení rovin a vytvoření ortofota

Důležité při tvorbě ortofoto je nastavit správně zobrazovací rovinu tak, aby nebylo výsledné ortofoto nějak nakloněné či deformované a body správně vystihovaly zájmovou stěnu. Toho se docílilo tak, že byl určen jeden výchozí vlíčovací bod vždy na každé stěně a druhý vzdálenější bod na té samé stěně byl zkopírován a jeho výška upravena na stejnou výšku výchozího bodu. Takto nám vznikla vodorovná osa. Vertikální byla pak určena duplikovaným výchozím bodem s výškovou kótou zvětšenou o 1 metr. Pro výklenek s detailem východní zdi byl ponechán výchozí pohled na model (tj. shora) určený softwarem Agisoft Metashape.

Vytvoření ortofota probíhá v softwaru Agisoft Metashape pomocí funkce *Build Orthomosaic*, kde máme na výběr z několika možností *Blending modu* (určuje způsob vytvoření rastrového výstupu) pro tvorbu ortofot *Mosaic*, *Average* a *Disable*. Pokud použijeme nastavení *Disable*, ortofoto bude rozkouskované na různé části, kdy budou vidět přechody mezi jednotlivými snímky (viz. Obrázek 29). Nastavení *Average* se pokouší tmavší či černá místa zesvětlit, avšak další úprava ortofota nevedla k dobrým výsledkům. Jako nejlepší volba bylo využito nastavení

Mosaic, kdy se i přes počáteční tmavost výstupů povedlo z ortomozaiky snímků dostat dostatečně kvalitní výsledky.



Obrázek 29: Ortomosaica vytvořena pomocí funkce disable

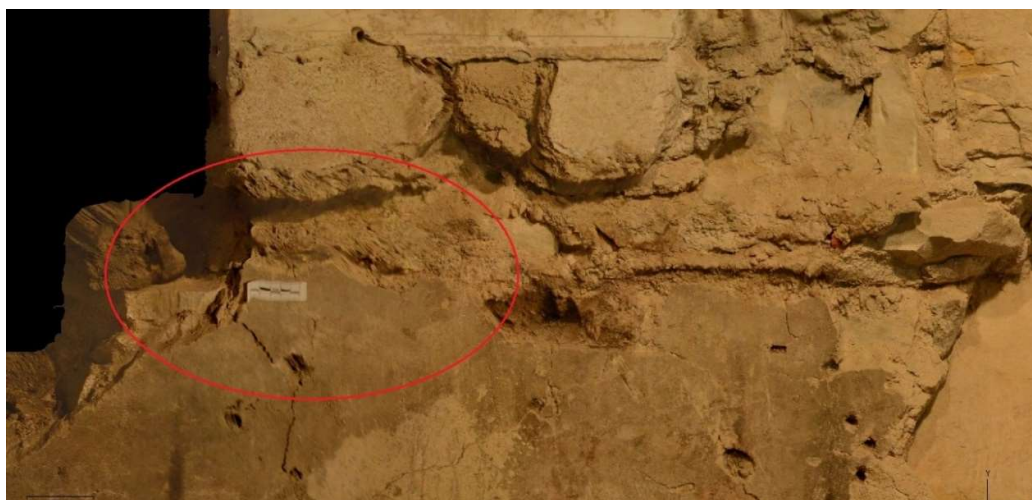


Obrázek 30: Ortomosaica vytvořená pomocí funkce average



Obrázek 31: Ortomozaika vytvořená pomocí funkce *average mosaic*

Pokud ani úprava snímků v softwaru Fast stone image Viewer nepomohla (viz předchozí kapitola), byla další možnost při tvorbě ortomozaiky vybrat pro jednotlivé problémové oblasti pouze některé snímky, ze kterých se bude daná oblast počítat (viz. Obrázek 32 a 33). To je možné pomocí funkce *Draw polygon/assign image*. Osvědčilo se spíše vybrat jen cca 2-3 snímky, nežli použít všechny na kterých dané místo vypadá dobře. Chceme-li zaplnit místo, které se nepovedlo úplně vypočítat modelem, lze toto místo „zazáplatovat“ tím, že budeme zkoušet zapínat pro dané místo pouze snímky, které ho nejvíce pokrývají.



Obrázek 32: Ukázka deformace ortomozaiky vlivem mnoha snímků, západní stěna



Obrázek 33: Upravený snímek pomocí funkce assign image, západní stěna



Obrázek 34: deformovaná orotmosaika severní stěny



Obrázek 35: Opravená orotmosaika severní zdi



Obrázek 36: Ortomosaika vypočtená pomocí funkce *average*, jižní zeď



Obrázek 37: Upravená ortomosaika jižní zdi

Ortomosaika vypočtená funkcí *average* (viz. Obrázek 36 a 37) se po úpravách prakticky nezměnila. Viditelné je to na pravém sloupku ortomozaiky (viz. Obrázek 37).

Za to u ortomozaiky vypočtené pomocí funkce *mosaic* jsou rozdíly patrnější a lépe vyšel i pravý sloupek, i když obnáší stále jisté deformace (viz. Obrázek 38 a 39).



Obrázek 38: Oromosaika jižní zdi vypočtená pomocí funkce mosaic



Obrázek 39: Upravená ortomosaika jižní zdi

Většina ortofot se zdá být povedená. Až na pár míst, která se ani výběrem několika snímků nepovedlo opravit, jako například pravý sloupek jižní zdi (viz. Obrázek 39).

7.10 Tvorba výstupů

Posledním krokem zpracování ortofot bylo vytvoření výkresů a to pomocí CAD systému MicroStation. Z programu Agisoft Metashape byl proveden export vytvořených ortofot a po nahrání do softwaru MicroStation byly výkresy opatřeny rámem pro tisk, měřítkem, severkou, sítí křížků a popiskou. K tomuto úkonu byly

- O1 Severní zeď (vchod)
- O2 Východní zeď (Výklenek)
- O3 Jižní zeď (Okna)
- O4 Západní zeď (nika)
- O5 Detail nika
- O6 Detail výklenek

38

8. Zhodnocení přesností

V této kapitole budou krátce zmíněny dosažené přesnosti během zpracování geodetických a fotogrammetrických metod. Podrobné výsledky lze nalézt v příložených protokolech (viz. A_PROTOKOL_A.2NP.12, A_PROTOKOL_NIKA, VB_PROTOKOL).

8.1 Geodetické měření

Geodetické měření měřické sítě lze hodnotit podle velikosti chyby orientačních posunů na stanovisku a na základě odchylek souřadnic dvakrát měřených bodů.

Volný polygonový pořad byl počítán v místním souřadnicovém systému

(viz. Obrázek 17), tedy jedinou kontrolou byly dvakrát měřené vlíčovací body a délky.

Bod	$\Delta x[m]$	$\Delta y[m]$	$\Delta z[m]$
6	0.008	0.004	-0.001
17	0.006	0.007	-0.005

Tabulka 3: Vybrané nejvyšší odchylky geodetického měření

Výškovým připojením je možné porovnat orientačně výsledek měření prostorové polární metody s pravděpodobnou výškou přenesenou laserovou vodováhou, která by měla být shodná s nalezeným výškovým fixem stavby (tzv. vágrysem).

Rozdíl těchto dvou metod dosahuje rozdílu **0.010m**, kdy je prostorová polární metoda považována za přesnější, tedy i výsledek je považován za platnější.

Případně se při měření stanovisek naskytla možnost dvojího měření délek, což se dalo použít jako další kontrola správnosti měření.

8.2 Fotogrammetrické zpracování

Přesnost výsledného modelu a ortofoto lze hodnotit pomocí střední souřadnicové chyby vlíčovacích bodů v softwaru Agisfot Metashape, která dosáhla hodnoty **3,8mm** (viz. Obrázek 41). Tato přesnost vyhovovala pro požadované výstupy v měřítkách 1:10 i 1:20. (Viz. A_PROTOKOL_A.2NP.12, A_PROTOKOL_NIKA)

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
point 1	0.0088355	0.220054	-0.180994	0.285063	0.847 (39)
point 2	0.19236	0.274022	-0.160243	0.371171	0.939 (13)
point 3	0.170641	0.0679164	-0.313987	0.363756	1.032 (12)
point 4	0.0475141	0.22374	-0.0434211	0.232814	1.015 (11)
point 5	0.0165612	0.499031	0.186406	0.532967	0.603 (12)
point 6	0.126317	0.0281195	0.174972	0.217628	1.273 (10)
point 7	-0.101519	-0.0742159	0.0504111	0.135482	1.201 (10)
point 8	-0.352091	-0.343325	0.165698	0.518937	1.234 (20)
point 9	0.0309954	0.0803937	0.125814	0.15249	1.006 (25)
point 10	0.139643	0.264171	-0.184487	0.351172	0.751 (29)
point 11	-0.379041	-0.161559	-0.0477225	0.41479	1.001 (23)
point 12	-0.396109	-0.130153	-0.149449	0.442919	1.012 (16)
point 13	0.00986297	-0.0795585	-0.0926722	0.122536	0.585 (19)
point 14	-0.205266	0.0330003	0.0656164	0.218011	1.018 (21)
point 16	0.185203	-0.153489	-0.037295	0.243413	0.695 (19)
point 17	-0.229489	-0.0821509	-0.00732566	0.24386	1.069 (17)
point 18	-0.106524	-0.452295	-0.286032	0.545649	1.067 (11)
point 19	0.168753	-0.279209	-0.119195	0.347336	2.362 (9)
point 20	0.315008	0.181232	0.570364	0.676306	1.360 (15)
point 21	-0.0760431	-0.417379	0.0675083	0.429587	0.877 (16)
point 22	0.434389	0.301654	0.216034	0.571279	2.381 (9)
Total	0.218515	0.24775	0.19708	0.384668	1.087

Table 5. Control points.

Obrázek 41: Tabulka odchylek na vlícovacích bodech softwaru Agisoft Metashape

8.3 Ortofota

Výsledná ortofota mohou být ovlivněna kvalitou modelu a mozaiky. Některá místa modelu mohou být deformovanější (viz. Obrázek 39). Jako hodnotící faktor, zda ortofota nalícované na souřadnicovou síť určenou vlícovacími body svojí polohou odpovídají, se dá považovat kontrolní měření. Nejvyšší naměřenou odchylkou bylo **5.6 mm**, které se vešly do požadované přesnosti 10 mm.

Bod	Odchylka na ortofoto [mm]	Bod	Odchylka na ortofoto [mm]
1	1.5	12	0.9
2	nepoužit	13	0.7
3	2.1	14	1.6
4	0.6	15	0.9
5	2.1	16	5.6
6	1.5	17	0.7
7	0.4	18	1.5
8	1.3	19	5.5
9	0.4	20	4.8
10	1.5	21	1.3
11	1.1	22	0.6

Tabulka 4: Odchylky vlícovacích bodů na ortofotech

9. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo pomocí měřické dokumentace na základě objednávky NPÚ zaznamenat nálezovou situaci, kterou byla odkrytá gotická nika nad klenbou v 2.nadpodlaží severní budovy domu U Sixtů.

V textu práce byl nejprve představen objekt, ve kterém měřické práce probíhaly a částečná historie tohoto domu. Následovalo krátké seznámení s použitými přístroji a softwary, které byly během práce použity. V další části je představen postup rekognoskace a sběru dat. Následující zpracování geodetických výpočtů v softwaru Kokeš. Dále pak popsáním postupu při vytváření ortofot.

Zhodnotit geodetické měření lze pomocí měření identických bodů, kdy nejvyšší souřadnicová chyba nabyla hodnoty 7mm při dvojím měření vlícovacího bodu č.6 a 5mm výškovou odchylku u bodu 17 (viz. Příloha: *Protokol geodetického měření*). Během výpočtu byla nalezena odchylka mezi výškami měřenými trigonometricky a budovanými pomocí laserové vodováhy z nivelačního bodu stavby, která dosahovala 10mm. Jako správné se nadále po uvážení možných vzniklých chyb při přenášení výšky pomocí laserové vodováhy považovalo měření trigonometrické.

Výsledkem této práce jsou vyhotovené výkresy v měřítkách 1:20 a pro detailní zachycení dvou nálezových situací v měřítku 1:10. Ortofota byla tvořena dle zadání, tak aby splňovala velikost pixelu (v reálné velikosti) do 0.5mm, tak aby velikost pixelu vyhovovala oběma měřítkám. Hodnotícím parametrem kvality ortofot byla odchylka vlícovacích bodů zobrazených na ortofotech od jejich reálně geodeticky určených hodnot, která nepřesáhla 5mm a tedy splňovala souřadnicovou odchylku, která se měla vejít do 10mm. Největší odchylky na vlícovacích bodech bylo dosaženo u jižní stěny, která se také ukázala jako nejproblémovější. Dále byly vyhotoveny 3D modely celé místnosti a detailu gotické niky, které byly potaženy texturou z dostupných snímků a vytištěny do 3D pdf.

Jak je uvedeno výše momentálně probíhající situace kolem COVID -19 způsobila to, že práce bylo nutné dělat vzdáleně pomocí vzdáleného přístupu na školní síť.

To způsobovalo jistou zdlouhavou odezvu výpočetních programů a zpracování ortofot a modelů se stávalo někdy velice obtížné. Od poloviny doby zpracovávání se vyskytly nové problémy se zpracováním textury nebo úpravami 3D modelu, které další zpracování zdržovaly.

Celkem bylo vyhotoveno šest výkresů ortofot a dva 3D modely.

Bakalářská práce na toto téma mě velice zaujala a doufám v další prohlubování znalostí v tomto oboru. Dále jsem se zde seznámil blíže s používanými softwary a pořizováním dat, než jsem měl možnost při běžné výuce.

Seznam tabulek

Tabulka 1: počet snímků na zájmová místa místnosti	17
Tabulka 2: hodnoty pro filtraci mračka.....	24
Tabulka 3: Vybrané nejvyšší odchylky geodetického měření	39
Tabulka 4: Odchylky vlíčovacích bodů na ortofotech	40

Seznam obrázku

Obrázek 1: umístění objektu Paláce U Sixtů, zdroj: ČUZK.....	2
Obrázek 2: Umístění zájmové místnosti v objektu U Sixtů zdroj: NPU	3
Obrázek 3: Nalezený výklenek v místnosti A.2NP.12.....	4
Obrázek 4: Totální stanice Leica TS06	
zdroj: https://www.tradekorea.com/product/detail/P508402/Leica-Flexline-TS06-Ultra-2--Total-Station.html	7
Obrázek 5: Nikon D7100 zdroj: https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/discontinued/digital-cameras/2018/d7100#overview	8
Obrázek 6: objektiv AF-S Nikkor 17-35mm zdroj: https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/nikkor-lenses/auto-focus-lenses/fx/zoom/af-s-zoom-nikkor-17-35mm-f-2-8d-if-ed#overview	8
Obrázek 7: Prostředí školní verze programu Groma v12.2.....	9
Obrázek 8: Prostředí programu Kokeš	10
Obrázek 9: Prostředí programu Agisoft Metashape	11
Obrázek 10: Prostředí programu Fast Stone image wiewer	11
Obrázek 11: Prostředí programu MicroStation.....	12
Obrázek 12: Výškový bod stavby, který je v měření označen jako bod 5001	14
Obrázek 13: Detail na nálezovou situaci východní zdi	17
Obrázek 15: Východní stěna výklenek	18
Obrázek 14: Jižní stěna levá strana	18
Obrázek 16: Západní stěna nika	18
Obrázek 17: Situace rozmístění stanovisek a vlícovacích bodů	20
Obrázek 18: Schéma postupu prací	21
Obrázek 19: Husté mračno, nastavení High-Agresive	25
Obrázek 20: Husté mračno, nastavení High-Mild	26
Obrázek 21: Husté mračno, nastavení High-Moderate	26
Obrázek 22: Husté mračno místnosti před filtrací (pohled na klenbu z nadhledu)	27
Obrázek 23: Husté mračno místnosti po filtraci (pohled na klenbu z nadhledu)	28
Obrázek 24: Husté mračno niky před filtrací	28
Obrázek 25: Husté mračno niky po filtraci.....	29
Obrázek 26: Vypočtený model s malým počtem počátečních bodů cca 7 000 000	30

Obrázek 27: Vypočtený model na počet počátečních cca 46 000 000 bodů	30
Obrázek 28: Model potažený texturou	31
Obrázek 29: Ortomosaika vytvořena pomocí funkce disable	33
Obrázek 30: Ortomosaika vytvořená pomocí funkce average	33
Obrázek 31: Ortomosaika vytvořená pomocí funkce average mosaic	34
Obrázek 32: Ukázka deformace ortomosaiky vlivem mnoha snímků, západní stěna	34
Obrázek 33: Upravený snímek pomocí funkce assign image, západní stěna	35
Obrázek 34: deformovaná ortomosaika severní stěny	35
Obrázek 35: Opravená ortomosaika severní zdi	35
Obrázek 36: Ortomosaika vypočtená pomocí funkce average, jižní zeď	36
Obrázek 37: Upravená ortomosaika jižní zdi	36
Obrázek 38: Ortomosaika jižní zdi vypočtená pomocí funkce mosaic	37
Obrázek 39: Upravená ortomosaika jižní zdi	37
Obrázek 40: Vytvořený výkres v softwaru Microstation	38
Obrázek 41: Tabulka odchylek na vlíčovacích bodech softwaru Agisoft Metashape	40

Seznam použitých zdrojů

1. Celetná. *Wikipedie*. [Online] 2. 5 2021. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Celetn%C3%A1>.
2. Dům U Sixtů má naději na lepší budoucnost. *Portál hlavního města Prahy*. [Online] 2. 5 2021. https://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/magistrat/tiskovy_servis/tiskove_zpravy/dum_u_sixtu_ma_nadeji_na_lepsi.html.
3. Dům U Sixtů. *Stavba WEB*. [Online] 2. 5 2021. <https://www.stavbaweb.cz/dm-u-sixt-19258/clanek.html>.
4. Sixtův dům. *Národní památkový úřad*. [Online] 2. 5 2021. <https://www.npu.cz/cs/npu-a-pamatkova-pece/pamatky-a-pamatkova-pece/pamatkovy-fond/seznam-ohrozenych-nemovitych-pamatek/7073-sixtuv-dum>.
5. Gotika. *Wikipedie*. [Online] 2. 5 2021. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Gotika>.
6. Výklenek. *Wikipedie*. [Online] 2. 5 2021. <https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDklenek>.
7. VGÚTK. [Online] 2. 5 2021. <https://www.vugtk.cz/>.
8. VESELÝ, Jan. Měřická dokumentace historických staveb pro. *Národní památkový ústav*. [Online] 2014. <https://www.npu.cz/cs/npu-a-pamatkova-pece/npu-jako-institute/publikace/7695-mericka-dokumentace-historickych-staveb-pro-pruzkum-v-pamatkove-peci>. ISBN 978-80-86516-79-0.
9. Totální stanice. *Wikipedie*. [Online] 2. 5 2021. https://cs.wikipedia.org/wiki/Tot%C3%A1ln%C3%AD_stanice.
10. Leica Flexline TS06 Ultra 2" Total Station. *TradeKorea*. [Online] 2. 5 2021. <https://www.tradekorea.com/product/detail/P508402/Leica-Flexline-TS06-Ultra-2--Total-Station.html>.
11. FlexLine TS06 Total Station. [Online] 2. 5 2021. https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/FlexLine%20TS06/brochures-datasheet/FlexLine_TS06_Datasheet_en.pdf.
12. Digitální fotoaparát Nikon D7100. *Nikon*. [Online] 2. 5 2021. https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/discontinued/digital-cameras/2018/d7100.
13. 17-35mm f/2.8D ED-IF AF-S NIKKOR. *Nikon*. [Online] 2. 5 2021. https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/nikkor-lenses/auto-focus-lenses/fx/zoom/af-s-zoom-nikkor-17-35mm-f-2-8d-if-ed.
14. Groma. *Groma*. [Online] 2. 5 2021. <https://www.groma.cz/cz/groma>.
15. Kokeš. *GEPRO*. [Online] 2. 5 2021. <http://www.gepro.cz/produkty/kokes/>.
16. About Metashape. *Agisoft*. [Online] 2. 5 2021. <https://www.agisoft.com/>.

17. *Faststone*. [Online] 2. 5 2021. <https://www.faststone.org/.g>
18. *Microstation*. *Bentley*. [Online]
<https://www.bentley.com/cs/products/brands/microstation>.
19. *CloudCompare*. [Online] 2. 5 2021. <https://www.danielgm.net/cc/>.
20. Prvky vnitřní orientace. *VGÚTK*. [Online] 2. 5 2021.
https://www.vugtk.cz/slovník/6386_prvky-vnitřní-orientace.
21. JAKL, Martin. Dům u Sixtů Kamzíková 7 (PRAHA 1) - Fotogrammetrická dokumentace vybrané části. *Diplomová práce, ČVUT V Praze*. [Online] 1 2019.
22. KUČERA, Petr. Dům Truhlářská č.p. 1113/8 (Praha 1) - Měřická dokumentace vybrané části. *Diplomová práce, ČVUT v Praze*. [Online] 5 2020.
23. VÁŠOVÁ, Barbora. Dům Thunovská č. p. 181/III (Praha 1) – měřická dokumentace vybrané části. *Diplomová práce, ČVUT v Praze*. [Online] 5 2016.
24. RICHTROVÁ, Zuzana. Horní tvrz Kestřany (Písek) – měřická dokumentace vybrané části. *Diplomová práce, ČVUT v Praze*. [Online] 5 2016.

Seznam příloh:

Tištěné přílohy:

1. Text bakalářské práce
2. Přehled vrstev výkresů
3. Seznam souřadnic vlíčovacích bodů
4. Výkresy ortofot 1:20:
 - O1 _mistnost_A2NP12_severni_zed
 - O2 _mistnost_A2NP12_vychoni_zed
 - O3 _mistnost_A2NP12_jizni_zed
 - O4 _mistnost_A2NP12_zapadni_zed
5. Výkresy ortofot 1:10:
 - O5 _mistnost_A2NP12_nika
 - O6 _mistnost_A2NP12_detail

Digitální přílohy:

1. Digitální text práce v pdf formátu: BP_TEXT.pdf
2. Protokoly o výpočtu v sw. Agisoft: A_PROTOKOL_A.2NP.12.pdf
A_PROTOKOL_NIKA.pdf
3. Výpočetní protokol Kokeš: VB_PROTOKOL.txt
4. Souřadnice vlíčovacích bodů: VB_3D.txt
5. Náčrt situace: VB_NACRT.jpg
6. Použité snímky v textu BP(jpg): OBRÁZKY.
7. Mračno bodů (složka se soubory bodů hustého mračna ve formátu ply.): MRAČNO
8. Polygonové modely (soubory modelů psx,psx a pdf 3D modelů): MODEL
9. Výkresy k tisku (složka s dgn,dwg,txt,jpg a pdf): ORTOFOTA
10. Snímky použité pro zpracování(jpg): FOTO_BP

Přílohy:

1. Přehled vrstev výkresů

1. *koty_vyskove*: výškové koty po 0,5m nebo 1,0 m dle potřeby
2. *meritko_graficke*: grafické měřítko
3. *ortofoto*: výškově umístěné ortofoto
4. *popiska+situace*: tabulka s informací o výkresu a situace
5. *sit_krizku*: síť křížků rozmístěna po 1 m
6. *x_body_vlicovaci*: vlíčovací body
7. *x_linie_pomocne*: vrstva ohraničující deformace modelů
8. *x_ram_vykres*: rám ohraničující výkres s vyznačeními značkami přehybu

2. Seznam souřadnic vlíčovacích bodů

Č.bodu	Y[m]	X[m]	Z[m]
4001	1990.865	1012.335	197.733
4002	1994.689	1011.808	197.763
4003	2000.000	1012.627	197.871
4004	2000.000	1000.000	197.880
5001	1987.742	1000.767	199.000
1	1991.932	1009.988	197.069
2	1992.341	1009.954	198.569
3	1995.585	1009.394	198.408
4	1996.364	1009.194	196.876
5	1997.223	1009.353	196.886
6	1997.171	1009.487	198.433
7	1997.210	1011.762	198.306
8	1997.224	1013.427	198.354
9	1997.199	1013.490	197.132
10	1996.808	1013.830	197.108
11	1996.678	1013.788	198.344
12	1993.249	1014.233	198.384
13	1993.181	1014.256	197.035
14	1989.542	1014.710	198.273
15	1989.307	1014.765	197.139
16	1988.973	1014.623	197.099
17	1989.228	1014.623	198.319
18	1988.708	1012.670	198.158
19	1988.223	1010.889	198.28
20	1988.105	1010.915	196.945
21	1988.333	1010.673	196.930
22	1988.373	1010.653	198.252
23	1991.347	1010.126	199.010
24	1989.173	1014.401	199.012