

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Program GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Obor GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A

GEOINFORMATIKA



Bakalářská práce

**Dům Truhlářská č.p. 1113/8 (Praha 1) -
měřická dokumentace vybrané části**

Autor: Petr Kučera

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

Katedra geomatiky

V Praze, květen 2020



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kučera Jméno: Petr Osobní číslo: 477481
Zadávatel 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 Truhlářská 1113/6 (Praha 1) - fotogrammetrická dokumentace vybrané části

Název bakalářské práce anglicky: House Truhlarska No. 1113/6 (Prague 1) - photogrammetric documentation of selected part

Pokyny pro vypracování:

- ve spolupráci se zadavatelem proveďte rekognoskaci zaměřované části objektu a definujte typ a parametry výstupů projektu,
- navrhnete vhodné 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 výstupu,
- shrňte dosažené výsledky a zhodnoťte jejich přesnost a využitelnost v kontextu dalšího využití zadavatelem.

Seznam doporučené literatury:

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

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: 18. února 2020

Termín odevzdání bakalářské práce: 17. května 2020

Údaj uveďte v souladu s dělení 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“.

18. 2. 2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá zpracováním měřické dokumentace vybrané části stavebního objektu Dům Truhlářská č.p. 1113/8 na Praze 1 ve spolupráci s archeologickým odborem pražského pracoviště NPÚ. Práce popisuje postup sběru dat, tvorby 3D modelu a ortofota v měřítku 1:20 v softwaru Agisoft Metashape. V době zpracovávání procházel objekt rekonstrukcí a práce sloužila jako dokumentace stávajícího stavu.

Klíčová slova

Fotogrammetrie, fotoplán, ortofoto, 3D model, černá kuchyně, stavebně-historický průzkum, Groma, Agisoft Metashape, Microstation, metoda IMBR

Abstract

The bachelor thesis deals with elaboration of photogrammetric documentation of a selected part of the building Dům Truhlářská č.p. 1113/8 located in Praha 1 in cooperation with archaeological institute of the National Heritage Institute. The work describes the procedure of data collection, creation of 3D model and orthophoto at a scale of 1:20 in Agisoft Metashape software.

At the time of processing, the building was undergoing reconstruction and the work served as documentation of the current state.

Key words

Photogrammetry, photoplan, ortophoto, 3D model, black kitchen, historical building survey, Groma, Agisoft Metashape, Microstation, IMBR method

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Dům Truhlářská č.p. 1113/8 (Praha 1) - měřická dokumentace vybrané části“ vypracoval samostatně.

Veškerou použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne

(podpis autora)

Poděkování

Poděkování v nesmírné míře patří vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jindřichu Hodačovi, Ph.D., za jeho přístup a pomoc při zpracování. Byl mi aktivně nápomocen ve všech chvílích a dokázal mne vždy zpátky „zařadit na správnou kolej“.

Dále bych rád poděkoval panu Ing. Zdeňku Poloprutskému, za jeho pomoc při řešení odchylek VB.

Poděkování také patří mému bratrovi a zároveň spolužákovi Janu Kučerovi, který mi asistoval při terénním sběru dat.

Obsah

Úvod	1
1 Městský dům v ulici Truhlářská.....	2
1.1 Popis.....	2
1.2 Historie.....	3
2 Přístroje a software.....	4
2.1 Přístroje.....	4
2.1.1 Fotoaparát Nikon D7100	4
2.1.2 Objektiv AF-S Nikkor 17-35 mm	5
2.1.3 Totální stanice Leica TS06.....	6
2.2 Software.....	7
2.2.1 Výpočetní software GROMA	7
2.2.2 FTG software Agisoft Metashape	9
2.2.3 MicroStation	10
3 Práce v terénu.....	11
3.1 Geodetické zaměření.....	12
3.2 Snímkování.....	13
4 Zpracování měření	18
4.1 Zpracování geodetického měření	18
4.2 Fotogrammetrické zpracování (3D modelu, ortofot)	19
4.2.1 Odhad obrazové kvality	20
4.2.2 Kalibrace kamery	20
4.2.3 Propojení snímků.....	22
4.2.4 Vložení vlčovacíh bodů	23

4.2.5	Optimalizace mračna.....	24
4.2.6	Filtrace řídkého mračna.....	25
4.2.7	Výpočet hustého mračna	26
4.2.8	Výpočet sítě	28
4.2.9	Výpočet textury	28
4.2.10	Tvorba ortomozaiky.....	29
4.3	Tvorba výsledného výstupu.....	32
5	Zhodnocení přesnosti výsledků.....	33
6	Závěr.....	43
	Seznam použitých zkratk.....	45
	Literatura.....	46
	Seznam tabulek.....	47
	Seznam obrázků	48
	Seznam příloh.....	50

Úvod

Měřická dokumentace patří mezi důležité podklady péče a výzkumu historických objektů. Díky těmto dokumentacím můžeme podrobně zkoumat reliéf zaměřených objektů a vyvozovat z nich materiální a geometrické poznatky, vhodné např. při rekonstrukci nebo opětovné výstavbě památkových objektů.

Tato dokumentace je předmětem této bakalářské práce, která se zabývá tvorbou 3D modelu a následné tvorby ortofot konkrétních stěn městského domu v ulici Truhlářská 1113/8 na Praze 1. Jde o stěny v přízemních místnostech, a to severní stěnu severního výklenku v severní místnosti (ortofoto), čelní a zadní stěnu tzv. černé kuchyně (ortofota) a valounovou podlahu u čelní stěny černé kuchyně (ortofoto).

Objekt v době zpracování procházel rekonstrukcí a účelem zakázky byla operativní dokumentace zaměřovaných částí objektů. Jejím objednatelem bylo pražské pracoviště NPÚ (Národní památkový ústav).

Kvůli momentální situaci COVID-19, která se váže k jaru roku 2020, zapříčinila zpracovatelský handicap, a tudíž jsem byl nucen provést celé zpracování z domova. Byl jsem vázán na vzdálený přístup k počítačům na fakultě, kvůli softwarům potřebným pro zpracování. Z tohoto důvodu mi bylo vedoucím mé práce panem Ing. Hodačem, Ph.D. doporučeno, abych se zaměřil na zpracování ortofot. S blížícím se koncem semestru, mi při daném prostředí a různých potížích se zpracováním už nezbýval čas na tvorbu fotoplánů. Mělo jít o stěny v severní místnosti přízemního podlaží, a to stěnu severní s oknem a jižní s dveřním otvorem. V postupu bude tedy zmiňována pouze tvorba modelů a ortofot.

Cíle bakalářské práce:

- a) Definovat ve spolupráci se zadavatelem prioritní části ke zhotovení dokumentace
- b) Definovat typ a parametry vyhotovované dokumentace
- c) Provést sběr dat v terénu
- d) Provést fotogrammetrické zpracování dat (včetně geodetického)
- e) Vyhotovení výstupů dle požadavků zadavatele
- f) Zhodnocení přesnosti výstupů

1 Městský dům v ulici Truhlářská

Nejprve bude představen stavební objekt, který je předmětem práce. Bude popsána jeho poloha a stručná historie, kterou tato historická budova zažila.

1.1 Popis

Kulturní památka městský dům v ulici Truhlářská č.p. 1113/8 se nachází na parcele č. 464 v katastrálním území Nové Město. Jako „předmět“ této bakalářské práce, je stavební objekt, ve vlastnictví Hlavního města Prahy – městské části Praha 1 a momentálně prochází rekonstrukcí.



Obr. 1: Dům Truhlářská 1113/8 (Praha 1)

[Zdroj: <https://www.pamatkovykatalog.cz/mestsky-dum-15451261/>]

Jde o řadový dům původně složený z dvou až třech domů gotického slohu, přestavěný nejprve v barokním (1723) a později v klasicistním stylu (po roce 1784). Dům byl nazýván mnoha způsoby: „Na skále“, „Na pískách“, „dům Ratzenbeckský“.

1.2 Historie

Po vyhlášení Tolerančního patentu jako první vznikla v Praze v roce 1782 německá vojenská církev augšpurského vyznání (AV). Scházela se na Malé Straně v Morziniově paláci generála Wurmsera, který byl jejím patronem. V témže roce byl v Praze ustaven i český sbor AV. Ihned po založení sborů byl hledán kazatel. Pražané psali do Prešpurku faráři Institorisovi, zda by k nim nepřišel. Institoris jim pak doporučil třicetiletého Matěje Markovice, který z Uher roku 1782 ještě před Vánoci do Prahy dojel a dočasně byl ubytován v hostinci Virchově „U černé růže“. Roku 1784 evangelíci zakoupili dvoupodlažní dům č. 8 v Truhlářské ulici na Novém Městě. Taneční sál v patře domu byl přeměněn na modlitebnu pro 300 osob. Mezi okny za stolem Páně byla umístěna nízká kazatelna, která měla formu katedry. Ostatní prostory objektu byly upraveny na byty duchovního, kostelníka, případně i kantora. K domu náležela farní zahrádka, která byla osázena jabloněmi, broskvoněmi, švestkami a vinnou révou. Od roku 1785 užíval modlitebnu na Truhlářské též německý sbor. Roku 1790 byla německému sboru AV i HV (helvetského vyznání) umožněna koupě kostela sv. Michala v Jirchářích. Modlitebna v Truhlářské ulici pak sloužila dále českému sboru, množily se však stížnosti, že modlitebna je malá, nestačí všem věřícím a mnozí se musí spokojit s tím, že zůstanou v předsíni, na schodech či na dvoře. Po Protestantském patentu se konečně podařilo získat roku 1863 kostel U Salvátora, renesanční stavbu saských luteránů, postavenou v letech 1611-14. Již nepotřebný prostor v Truhlářské byl pronajat a opět užíván jako taneční sál.

Ve sborovém archivu se dočítáme, že bez nájmu z církevního domu by sbor v polovině 19. století nemohl finančně obstát. Na přelomu století byla již situace odlišná. Roku 1905 se sbor rozhodl už nadbytečný dům v Truhlářské ulici prodat a získané peníze užít na opravu Salvátorského kostela.

Dům č. 8 měl ve 20. století již zcela běžné využití: přízemí bylo změněno na obchody, velký sál v patře byl rozdělen příčkami na byty. Při prohlídce na místě samém v únoru 2014 byl objekt neopravený, přízemí bylo zčásti využito komerčně, 1. patro a půda byly prázdné, neužívané.

Převzato z [1].

2 Přístroje a software

V důsledku zvolení fotogrammetrického zpracování a výsledné podoby výstupů jako 3D modely, ortofota a fotoplány (podrobněji v kapitole 3) bude nadále zmiňováno, jakých bylo použito přístrojů ke sběru dat a jejich vyhodnocení v příslušných softwarech.

2.1 Přístroje

Pro sběr dat bylo použito dvou přístrojů, a to pro geodetickou a fotogrammetrickou část sběru dat.

2.1.1 Fotoaparát Nikon D7100

Pro fotogrammetrickou část sběru dat, tedy pro snímkování, bylo použito digitálního fotoaparátu Nikon D7100 (v. č. 4805773). Kompaktní zrcadlovka (DSLR – jednooká digitální zrcadlovka) je vybavena snímačem CMOS formátu DX s 24,1 milionů pixelů. 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, funkci výřezu 1,3× z formátu DX a vysokou citlivost ISO s nastavením v rozmezí ISO 100–6400 vhodnou pro snímání za špatného osvětlení nebo při fotografování rychlých akcí. Přístroj umožňuje fotografovat s využitím hledáčku nebo živého náhledu.

Čerpáno z [2].



Obr. 2: Fotoaparát Nikon D7100

[Zdroj: https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/discontinued/digital-cameras/2018/d7100#overview]

Fotoaparát je vyroben japonskou firmou Nikon se sídlem v Tokiu.

2.1.2 Objektiv AF-S Nikkor 17-35 mm

Pro již zmiňovaný fotoaparát bylo použito objektivu AF-S Nikkor 17-35 (v. č. 271614). Jde o objektiv s ultrazvukovým zaostřovacím motorem se širokoúhlým zoomem. Ohnisková vzdálenost je volitelná mezi 17 až 35 mm s nejkratší zaostřitelnou vzdáleností 0,28 m v celém rozsahu ohnisek. Objektiv má konstantní světelnost f/2,8.

Čerpáno z [3].



Obr. 3: Objektiv AF-S Nikkor 17-35

[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]

Jde o objektiv stejné značky jako u fotoaparátu (Nikon). Na objektivu byl dále nasazen filtr Hoya CIR-PL.

Při snímkování bylo dále použito halogenových světel pro lepší světelnost objektů.

2.1.3 Totální stanice Leica TS06

Zaměření lokální bodové sítě a vřícovacích bodů bylo provedeno totální stanicí Leica TS06 (v. č. 765290). Jde o totální stanici s úhlovou přesností 0,6 mgon. Délková přesnost při měření na odrazné systémy dosahuje 1,5mm + 2 ppm. Měřitelná vzdálenost v případě koutového odražeče dosahuje až 3 500 m, v případě reflexní fólie je vzdálenost až 250 m. Při měření na surový povrch (bezodrazové měření) je délková přesnost 2 mm + 2 ppm. Přístroj je vybaven dalekohledem s 30x přiblížením a 0,3 mgon rozlišovací schopností.

Čerpáno z [4].



Obr. 4: Leica FlexLine TS06 plus Total Station

[Zdroj: <https://www.sccsurvey.co.uk/leica-flexline-ts06plus-total-station.html>]

Přístroj je produktem švýcarské firmy Leica Geosystems.

2.2 Software

Pro získání dat bylo následně použito softwarů, pro geodetické výpočty, fotogrammetrické zpracování a tvorbu výkresů, o kterých bude pojednáno v následující kapitole.

2.2.1 Výpočetní software GROMA

Zpracování dat z totální stanice bylo provedeno v softwaru GROMA. Zde byly vypočteny souřadnice (více v kapitole 4.1) místní polohové a vřícovacích bodů (dále jen VB).

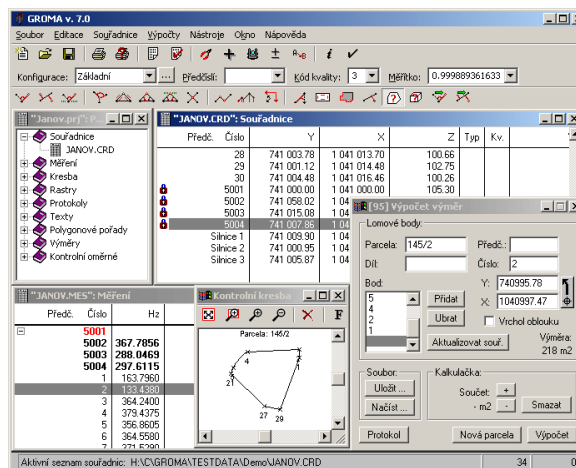
Veškeré výpočty jsou dokládány v příloze (A–1). Výsledky výpočtů (souřadnice) jsou doloženy v příloze (A–2).

GROMA je geodetický systém pracující v prostředí MS Windows. Systém je určen ke komplexnímu zpracování geodetických dat od surových údajů přenesených z totální stanice až po tvorbu výsledných seznamů souřadnic, výpočetní protokoly a kontrolní kresbu.

Program GROMA je určen ke geodetickým výpočtům. Lze v něm řešit všechny základní geodetické úlohy. Navíc obsahuje jednoduchou grafiku a možnost digitalizace rastrových dat. Umí zpracovávat data ve formátech všech běžných záznamníků, dávkově i jednotlivými výpočty.

Veškeré výpočetní úlohy probíhají v dialogových oknech, v nichž jsou přehledně uspořádány všechny vstupní i výstupní údaje. Výpočetních oken můžete mít najednou otevřeno libovolné množství. Souřadnice i měřená data můžete do výpočetních oken přetahovat myší, případně můžete zadat číslo bodu a nechat program doplnit souřadnice ze seznamu. Počet orientací na stanovisku, identických bodů pro transformaci, atd. není omezen.

Čerpáno z [5].



Obr. 5: GROMA – náhled do programu

[Zdroj: <https://www.groma.cz/cz/showimg.php?img=screen.gif>]

Software je produktem české firmy Geoline, spol. s r.o.

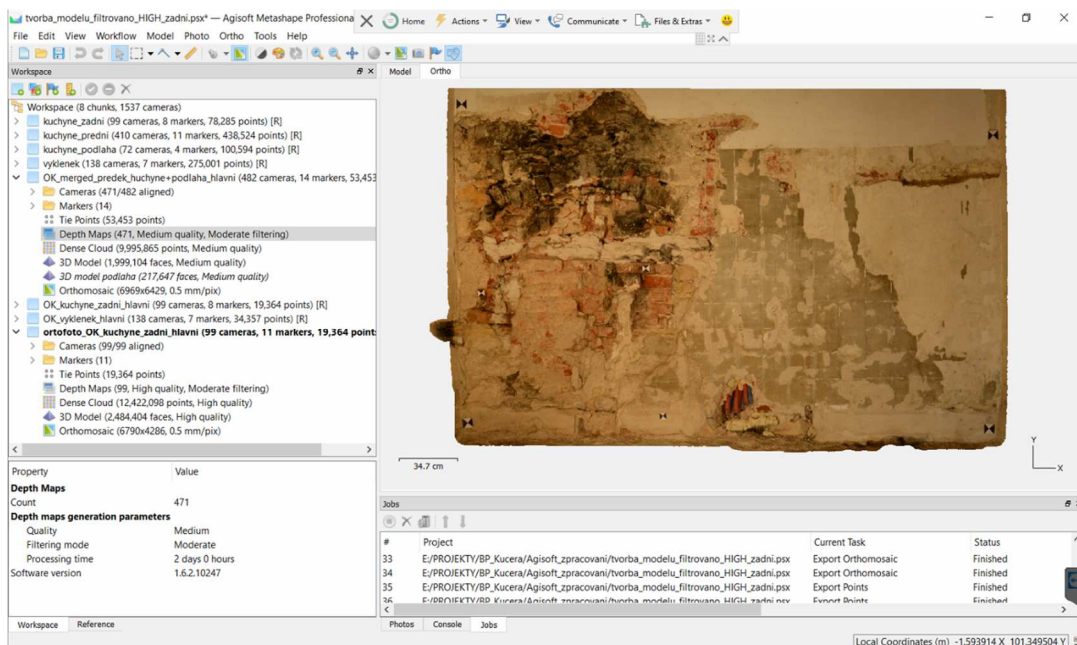
2.2.2 FTG software Agisoft Metashape

V softwaru Agisoft Metashape byl vytvářen 3D model a následný export výsledků. Pro zpracování v tomto softwaru je už zapotřebí mít roztríděných snímků a vypočtených souřadnic VB. Zpracování v tomto softwaru je stěžejní částí bakalářské práce.

Agisoft Metashape je samostatný software, který provádí fotogrammetrické zpracování digitálních snímků. Generuje 3D prostorová data použitelná v GIS aplikacích, dokumentaci historických památek, tvorbu vizuálních efektů a nepřímého oměřování objektů různých měřítek.

Implementace fotogrammetrických metod společně se zobrazovacími schopnostmi počítačů dává za výsledek chytrý automatizovaný systém, který dokáže zvládnout začátečník na poli fotogrammetrie a zároveň má co nabídnout i specialistům, kteří si mohou nastavit pracovní prostředí k mnoha specifickým úkolům a typům dat. Skrže mnoho čtených prací a studií, se software osvědčil produkováním kvalitních a přesných výsledků.

Čerpáno z [6].



Obr. 6: Prostředí softwaru Agisoft Metashape

Agisoft Metashape je produkt ruské firmy Agisoft LLC.

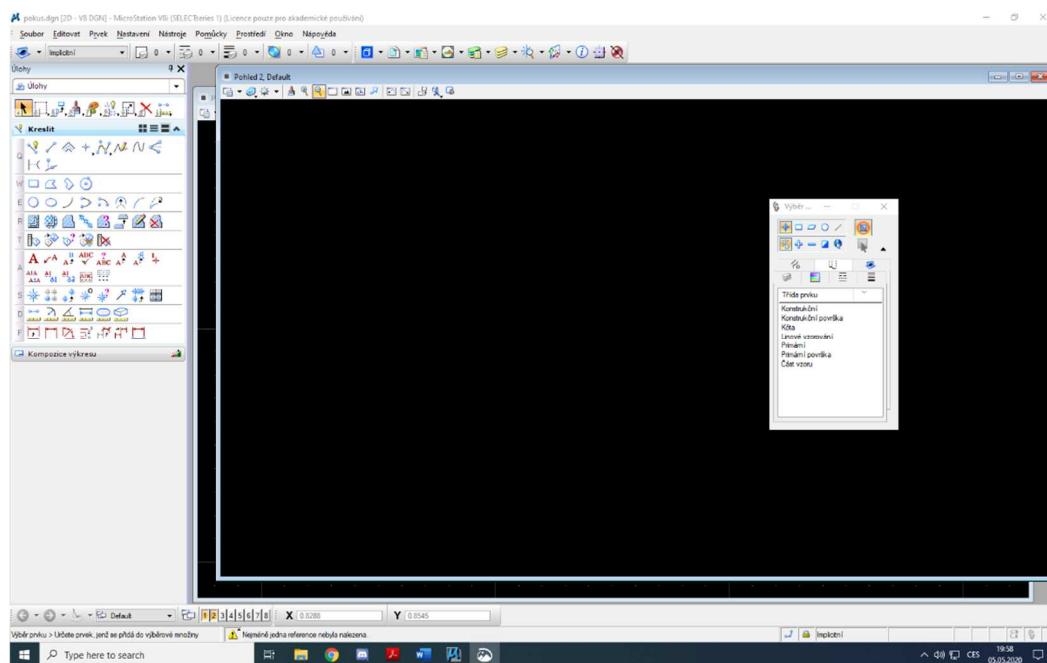
2.2.3 MicroStation

Programu Microstation bylo použito ke tvorbě výkresů ortofoto a k přípravě jejich tiskových verzí ve formátu PDF.

Jde o CAD software pro tvorbu 2D a 3D projektů. MicroStation dokáže snadno zobrazovat, modelovat, dokumentovat a vizualizovat projekty libovolné velikosti nebo složitosti. Program je vhodný pro libovolný projekt návrhu, výstavby nebo provozu.

MicroStation poskytuje výkon a všestrannost pro přesné zobrazování, modelování, dokumentaci a vizualizaci informačně bohatých 2D a 3D návrhů libovolného typu a rozsahu; je určena profesionálům ze všech oborů, kteří pracují na jakýchkoli infrastrukturních projektech.

Čerpáno z [7].



Obr. 7: Prostředí MicroStation

MicroStation je vyvíjen americkou firmou Bentley Systems v Pensylvánii.

3 Práce v terénu

Nyní bude psáno o postupech použitých při sběru dat v terénu. Téma bude opět rozděleno na geodetickou a fotogrammetrickou část.

Měření proběhlo 18. prosince 2019 mezi 11-16 hodinou ve spolupráci se spolužákem a bratrem Janem Kučerou, kterémuž i touto cestou patří dík.

Na počátku jakéhokoliv měření se z pravidla provádí tzv. rekognoskace terénu se zadavatelem. Jde o zkoumání zaměřovaného území a jednání o vhodném postupu. V rámci této činnosti byly s ohledem na časové možnosti a postup stavby, zadány prostory pro dokumentaci. Předmětem dokumentace byly stěny v přízemních místnostech, a to severní a jižní stěna v klenutého sálu (fotoplány, prostor č. 102), severní stěnu severního výklenku (ortofoto) téže místnosti, zadní stěnu černé kuchyně (ortofoto, prostor č. 107) a čelní stěnu černé kuchyně spolu s valounovou podlahou (ortofota, prostor č. 112). Byla dohodnuta tvorba 2 modelů černé kuchyně a okenní niky. Z nich budou pak vygenerovány 4 ortofota. Měřítko vyhotovovaných výstupů bylo zvoleno 1:20.

S ohledem na typ výstupů byla hlavní metodou pro dokumentaci zvolena FTG metoda IBMR a jednosnímková metoda. Z konzultace se zadavatelem vyplynulo, že bude vybudována lokální polohová síť, která bude připojena na místě na jeden výškový bod „probíhající stavby“.

Při rekognoskaci a domluvě výstupů byli přítomni pracovníci zadavatele arch. Ing. Piskáčková Anna + arch. Ing. Matouš Semerád + Mgr. M. Cejmová (doktorandka z FArch.).

Nakonec byla rozvržena lokální polohová síť plastovými víčky přibitými hřebíkem a na zaměřované objekty byly nalepeny černobílé křížové štítky, pro jednoznačné znázornění vlíčovacích bodů (VB).

3.1 Geodetické zaměření

Geodetická část měření proběhla na principu prostorové polární metody.

Prostorová polární metoda je geodetická metoda měření polohopisu a výškopisu založená na měření úhlů a délek. V případě prostorové polární metody jde konkrétně o vodorovný směr, zenitový úhel a šikmou nebo vodorovnou vzdálenost. Výsledné souřadnice se pak vypočtou z tzv. rajonových rovnic.

$$X = X_{stan} + s * \cos \omega$$

$$Y = Y_{stan} + s * \sin \omega$$

$$Z = Z_{stan} + s * \cotg z$$

X, Y, Z – souřadnice určovaného bodu

(X, Y, Z)_{stan} – souřadnice stanoviště

s – měřená vzdálenost

ω – měřený vodorovný směr

z – měřený zenitový úhel

V terénu byla praxe taková, že byla nejprve vyznačena a stabilizována lokální polohová síť (v našem případě plastovým víčkem do země přibitým hřebíkem). Z těchto bodů bylo pak bezhranolově měřeno na VB a na koutový odražeč na sousedních bodech lokální polohové sítě. VB, signalizované dvoubarevnými papírovými terčíky, byly měřeny v jedné poloze. Body polohové sítě byly měřeny ve dvou polohách dalekohledu, které byly zároveň na konci měření kontrolně zaměřeny opět ve dvou polohách dalekohledu. Celá měřická síť pak byla připojena na výškový systém Bpv (Balt po vyrovnání) zaměřením bodu o známé výšce v tomto systému. Výškové určení onoho bodu bylo výsledkem práce jiné osoby. Bod sloužil jako vztažný pro celou stavbu.

Měřeno bylo totální stanicí Leica TS06 na celkem 40 VB a na 4 bodech lokální bodové sítě. Registrování dat proběhlo do interní paměti přístroje, které byly následně vyexportovány ve formátu gsi.



Obr. 8: Situace geodetického zaměření

Legenda

Modrá – stěny s VB

Červená – lokální měřická síť (osa X definována body 4002 -> 4001)

Tmavě červená – výškový připojovací bod do Bpv o výšce 191.33 m n. m

3.2 Snímkování

Snímky pro ortofoto byly pořizovány za účelem použití v rámci metody obrazové korelace (IMBR) o které bude pojednáno v budoucí kapitole. Snímky mohou být pořizeny z různých úhlů, vzdáleností a pozic. Konstanta komory ale musí být neměnná. Základem pro další FTG zpracování je mít každé místo minimálně na 2 snímcích. V takovémto případě je vhodné pro objekty, jako jsou stěny, pořídit větší množství snímků.

Pro sběr snímků byly nastaveny tyto parametry:

Číslo clony - f/9

Světelná citlivost – 640 ISO

Ohnisková vzdálenost – 17 mm

Formát – 6000 x 4000 (24 MP) 24 bit – JPEG

Pro fotoplán byly pořizovány snímky jednosnímkovou metodou ve formátu NEF.

Pro každý objekt bylo pořízeno vícero snímků s odlišným nastavením.

Rozdílné nastavení obsahovalo:

Světelnost citlivost - mezi hodnotami ISO 500, 640 a 800

Odchylna expozice - mezi hodnotami EV -0,33; 0; 0,33

Předmětem snímkování byly stěny v přízemních místnostech (dále i obrázek Obr. 14:

Situace snímaných stěn):

- severní, klenutý sál (fotoplán, 7 snímků, prostor č. 102)
- jižní, klenutý sál (fotoplán, 10 snímků, prostor č. 102)
- severní stěna severního výklenku klenutého sálu (ortofoto, 138 snímků, prostor č. 102)
- zadní stěna černé kuchyně (ortofoto, 99 snímků, prostor č. 112)
- čelní stěna černé kuchyně spolu s valounovou podlahou (ortofoto, 482 snímků, prostor č. 107).

Snímkování bylo provedeno digitálním fotoaparátem Nikon D7100 s objektivem AF-S Nikkor 17-35 mm. Ke snímkování bylo dále použito mobilních halogenových lamp pro zajištění dostatečného rovnoměrného osvětlení.



Obr. 9: Černá kuchyně – přední stěna



Obr. 10: Černá kuchyně - valounková podlaha



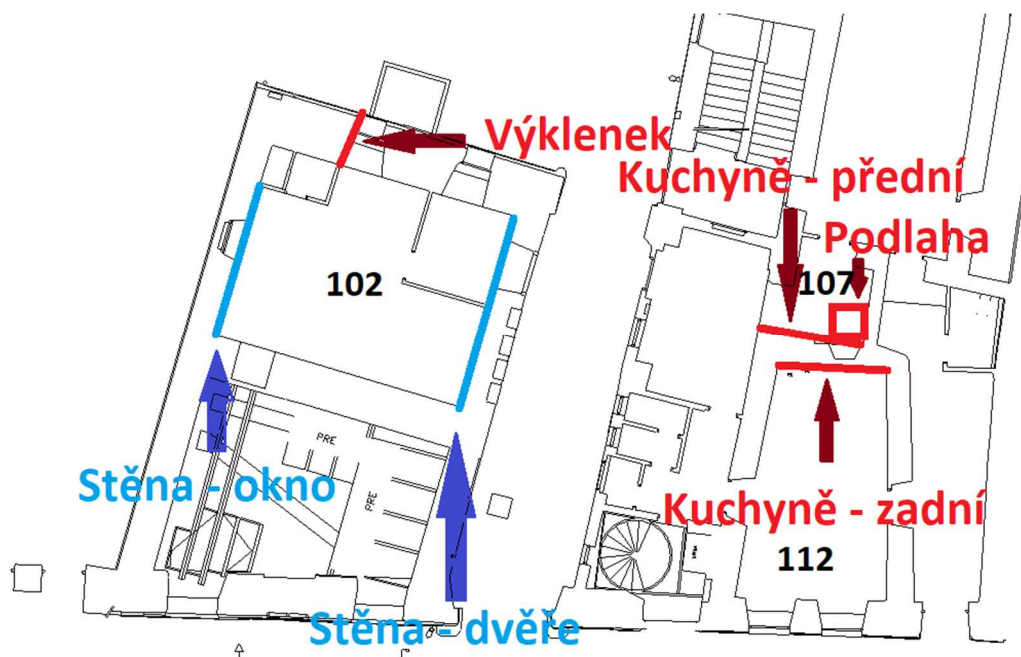
Obr. 11: Černá kuchyně – zadní stěna



Obr. 12: Výklenek – horní část



Obr. 13: Výklenek – spodní část



Obr. 14: Situace snímaných stěn

Legenda

Modře – stěny pro fotoplán

Červeně – objekty pro ortofoto

4 Zpracování měření

Zpracování dat je nedílnou součástí veškeré práce. Zpracováním získávají data námi určený charakter, o kterém bude pojednáno v následující kapitole. Obsahem kapitoly bude zpracování geodetického měření a fotogrammetrické zpracování. V rámci FTG zpracování bude dále popisován postup tvorby modelu až k výslednému ortofotu.

4.1 Zpracování geodetického měření

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, prostorovou polární metodou byla totální stanicí (kapitola 2.1.3) nasbírána data. Rozhodl jsem se pro zpracování v softwaru GROMA (kapitola 2.2.1), který je jednoduchý k ovládní a ověřený.

Z totální stanice byla exportovány data ve formátu *gsi*, který software GROMA podporuje. Jde o formát tzv. elektronického zápisníku. Data byla po importu automaticky uložena do formátu *mes*, se kterým software může provádět výpočty. V zápisníku byly poté u měření nastaveny charaktery stanovisek, orientací, podrobný bodů a byla provedena případná kontrola dat, dokud byla situace z měření v „živé paměti“.

Z důvodu, že měření probíhalo v interiéru a měřeny tak byly malé vzdálenosti, nebyly zaváděny žádné opravy vzdáleností z refrakce a redukce, které by v tomto případě byly nevýznamné.

Ještě před výpočtem bylo nutné zadat souřadnice minimálně dvou bodů, které nám určí umístění a orientaci sítě. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, jde o lokální měřickou síť, tudíž „křovákovskou“ orientaci sítě (+X na jih, +Y na západ) definovala strana určená body 4002 na 4001 (Obrázek Obr. 8: Situace geodetického zaměření). Nyní mohl být proveden výpočet. V záložce výpočty byla vybrána možnost „Polární metoda dávkou...“, nastaven byl vstupní soubor (naše měření ve formátu *mes*) a výstupní soubor. Výstupním souborem byl nový seznam souřadnic, do kterého budou ukládány výsledky výpočtu (veškeré souřadnice). Během výpočtu s námi software interagoval a ukazoval nám střední chyby měření na jednotlivých stanoviskách.

Střední chyby při výpočtu vycházeli v jednotkách milimetrů (příloha A-1), a tedy výpočet proběhl v pořádku. V rámci tohoto výpočtu byly dále porovnávány odchylky protisměrných měření, které se opět pohybovali v řádu milimetrů. V těchto případech byly výsledky měření zprůměrovány. Veškeré výpočty, výsledky, odchylky a střední chyby jsou dokládány v příloze A-1 jakožto protokol výpočtu, který tento program umožňuje ukládat při veškerých činnostech v něm provedených. Tímto souborem můžeme dokladovat naše výsledky, které pak dostávají svoji váhu a důvěryhodnost.

Výsledkem výpočtu je tedy seznam souřadnic všech bodů v naší lokální bodové síti. Tento soubor je dokládán v příloze A-2.

4.2 Fotogrammetrické zpracování (3D modelu, ortofot)

Fotogrammetrické zpracování je už založeno na samotném zpracování snímků. Před začátek bylo nutné snímky roztřídit podle jednotlivých objektů, zkontrolovat jejich obrazovou kvalitu a případně odmazat nepovedené snímky. Také byly odstraňovány snímky se špatným nastavením, kterým se zejména míní konstanta komory. Snahou bylo získání stejné konstanty komory na všech snímcích v rámci projektu. Po této kontrole byly snímky naimportovány do nového projektu v softwaru Agisoft Metashape a dále vloženy jednotlivých *chunků* podle objektů. V rámci jednoho *chunku* můžete zpracovávat objekt nezávisle na ostatních. Díky tomuto není třeba zakládat pro veškeré objekty nový projekt.

IMBR je metoda nezbytná pro tvorbu modelu ze snímků. Mají-li snímky překryv (část objektu, která se nachází na více snímcích) lze na základě transformací určit polohu všech bodů (pixelů) na snímku. Díky různému úhlu a vzdálenosti snímání a postupnému překrytu snímků, tak můžeme získat relativní prostorovou informaci o objektu.

Zpracování bylo provedeno za pomoci instruktážních videí a podkladů, vytvořených panem Ing. Hodačem, Ph.D.

4.2.1 Odhad obrazové kvality

Počáteční úpravu v programu nám zajistila funkce *Estimate image quality* (odhad kvality snímků). Zde nám software pomáhá odhadnout obrazovou kvalitu všech vložených snímků. Tato kvalita, jako číselná hodnota, je určována na základě ostrosti nejzaostřenějšího místa na snímku. Vývojáři je doporučeno, že snímky s obrazovou kvalitou menší než 0,5 je dobré tzv. zakázat (snímky nevstoupí do výpočtu) nebo je přímo smazat. V našem případě byly snímky smazány

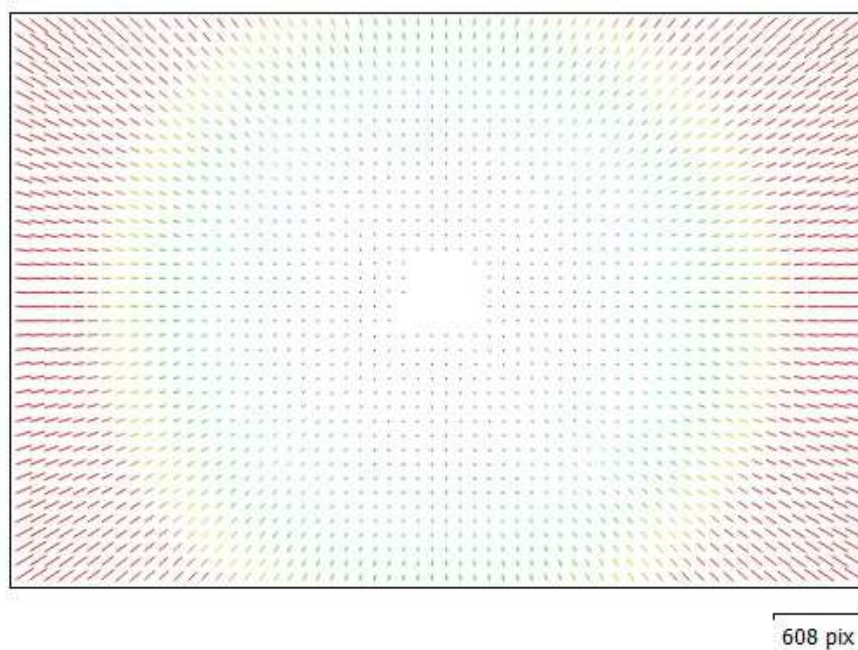
Čerpáno z [8].

4.2.2 Kalibrace kamery

Camera calibration neboli kalibrace fotoaparátu, je důležitá část pro následnou orientaci snímků. Tato funkce nám umožní odhadnout prvky vnitřní a vnější orientace kamery včetně radiální distorze (distorze pro naši kameru na obrázku Obr. 16: Vliv distorze na použitou kameru Nikon D7100). Pro přesné určení, byly zadána hodnota velikosti pixelu 3,9x3,9 μm daná výrobcem pro daný typ kamery a námi nastavená ohnisková vzdálenost 17 mm. Program pak následně na základě snímků určil parametry přesněji.

Software je schopný provést kalibraci na více kamerách, je ale důležité, mít pro tyto účely roztříděné snímky podle kamer. Program je tyto fotky schopný roztřídit do tzv. kalibračních skupin a provést tedy kalibraci pro každou z těchto skupin zvlášť. Je ovšem nutné, mít dostatečný počet snímků pro přesné určení parametrů jednotlivých kamer („čím více, tím lépe“).

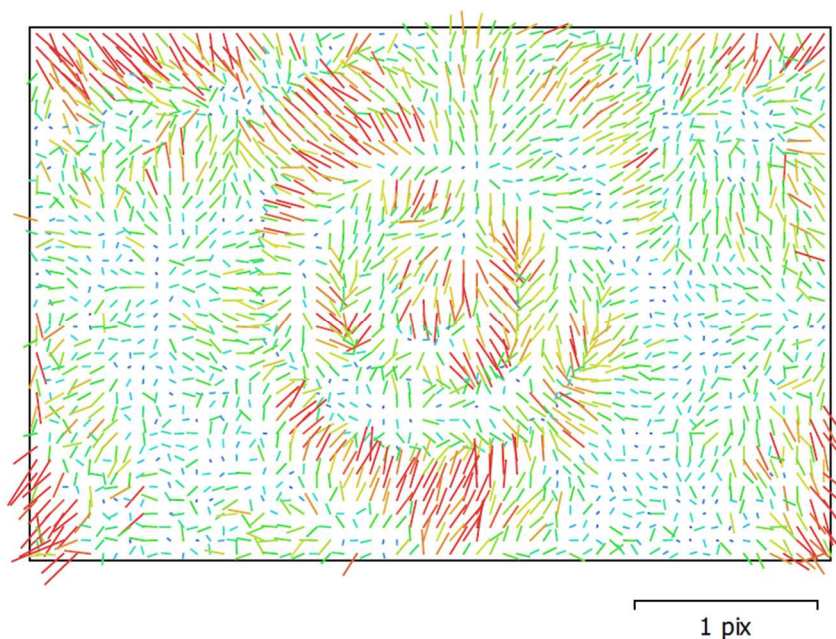
Čerpáno z [8].



Obr. 15: Vliv distorze na použitou kameru – ideální stav

[Zdroj: Z prostředí Agisoft Metashape]

Obrázek znázorňuje působení distorze na vzniklém snímku v ideálním případě. Pro případ námi použité kamery Nikon D7100 je vliv distorze na obrázku Obr. 16: Vliv distorze na použitou kameru Nikon D7100.



Obr. 16: Vliv distorze na použitou kameru Nikon D7100

4.2.3 Propojení snímků

Aligning photos neboli propojení snímků je jeden s dalších stěžejních kroků v programu. Jak vyplývá z názvu, jde o propojení snímků a metodou IMBR (Image Based Modeling and Rendering) nám vytvoří tzv. řídké mračno bodů.

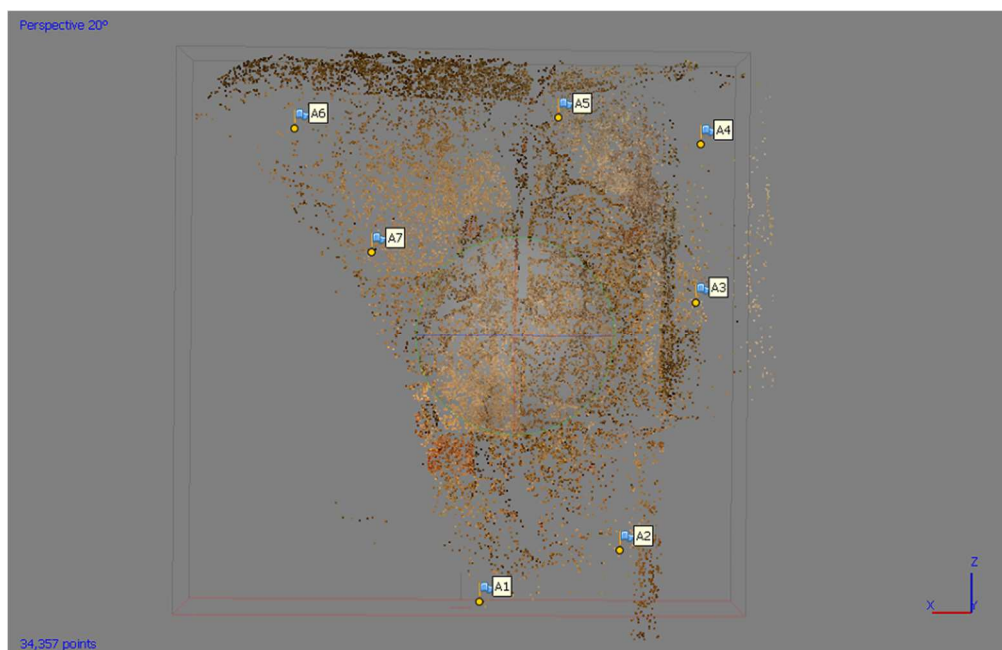
Pro náš případ byly v předvolbách funkce nastaveny tyto parametry:

Accuracy – High

Generic preselection – checked

Keypoint limit – 40 000

Tie point limit – 10 000 pro přední stěnu černé kuchyně s podlahou, 0 pro výklenek a zadní stěnu černé kuchyně



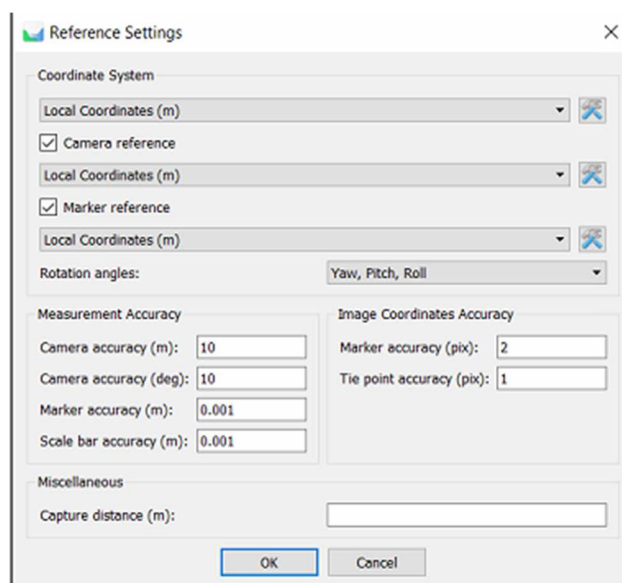
Obr. 17: Řídké mračno bodu - výklenek

4.2.4 Vložení vlíčovacích bodů

Nyní nastává chvíle, kde se výsledky geodetické měření promítnou do fotogrammetrického zpracování. Souřadnice vlíčovacích bodů byly nyní vkládány do prostředí reference v softwaru jako reference points (referenční body). Díky těmto bodům orientujeme a umístíme model našeho místního souřadnicového systému. Model díky tomuto zároveň získá svůj rozměr a měřítko.

Body bylo následně nutné umístit na snímky. Po vložení VB na 2 snímky nám software vypočítal na základě vztahu těchto dvou snímků polohu VB i na těch ostatních. Námi umísťované body byly značeny zelenou vlaječkou, body navržené (vypočtené) programem modrou. Všechny tyto body jsou relevantní při výpočtu. Pro nej přesnější výsledky byly VB ručně umístěny na všech snímcích, tudíž se modré vlaječky nevyskytovali. Dále se v softwaru mohou objevit bílé vlaječky, to jsou naopak body, které do výpočtu zahrnuté nejsou. Tyto vlaječky mohou vzniknout polohou VB na okrajích snímku. V případě potřeby, kdy na snímku daný bod prokazuje velké odchylky, lze umístěný bod změnit na bílou vlaječku a odpojit ho tak od výpočtu.

Následně bylo v *Reference settings* (nastavení reference) nastavena přesnost vstupních hodnot vlíčovacích bodů a snímání. Hodnoty a veškeré nastavení najdeme na obrázku Obr. 18: Reference settings.



Obr. 18: Reference settings

Program nám díky tomuto nastavení vypočítá střední chyby v poloze VB ze snímků jako je tomu na obrázku Obr. 19: Střední chyby VB v prostředí Agisoft Metashape.

Markers	X err (m)	Y err (m)	Z err (m)	Accuracy (m)
<input checked="" type="checkbox"/> D22	0.000685	-0.001215	0.004553	0.001000
<input checked="" type="checkbox"/> D23	-0.000294	0.000239	-0.003925	0.001000
<input checked="" type="checkbox"/> D24	0.000049	0.000805	-0.001998	0.001000
<input checked="" type="checkbox"/> D25	-0.000678	0.001382	0.000720	0.001000
<input checked="" type="checkbox"/> D26	0.000226	0.000918	0.001168	0.001000
<input checked="" type="checkbox"/> D27	-0.000009	0.000536	0.003930	0.001000
<input checked="" type="checkbox"/> D28	0.000247	-0.000931	0.003396	0.001000
<input checked="" type="checkbox"/> D29	0.000229	-0.000566	-0.002893	0.001000
<input checked="" type="checkbox"/> D30	0.000773	-0.000717	-0.003149	0.001000
<input checked="" type="checkbox"/> D31	-0.000447	-0.000230	-0.000164	0.001000
<input checked="" type="checkbox"/> D32	-0.000782	-0.000222	-0.001637	0.001000

Obr. 19: Střední chyby VB v prostředí Agisoft Metashape

4.2.5 Optimalizace mračna

Metashape během propojování snímků (Aligning photos, kapitola 4.2.3) vnitřní a vnější orientaci odhaduje. Tento odhad je realizován použitím snímkových dat samotných, díky čemuž zde mohou vznikat chyby na výsledném odhadu. Přesnost výsledného odhadu je dána mnoha faktory, jako překryt sousedních snímků, tak i povrchem snímaného objektu. Tyto chyby mohou vést k nelineárním deformacím výsledného modelu.

Během georeferencování je model lineárně transformován na základě 7 prvkové transformace (3 prvky pro posun, 3 pro rotaci a 1 pro měřítko). Taková transformace dokáže kompenzovat pouze lineární nesrovnalosti modelu. Ty ostatní můžeme díky Optimize Camera Alignment (optimalizaci snímkového propojení kamer). Jinými slovy nám tento proces upřesní umístění a natočení kamer.

Jelikož jsme neměřili speciální měřickou komorou, ale pouze přesnější digitální kamerou, byla v optimalizaci zaškrtnuta možnost Adaptive camera model fitting, která je pro tyto kamery určená.

Čerpáno z [8].

Takovýto proces zároveň přepočítává odchylky na bodech.

Na této etapě zpracování jsem se zastavil nejdéle. Přesnosti VB mi nedosahovali požadované přesnosti maximálně 1 cm (dopovídající výstupu v měřítku 1:20) a pohybovali se v některých případech i v řádu desítek cm. Problém byl po pár týdnech vyřešen a šlo o systematickou chybu z důvodu rozdílné definice souřadnicového systému. Na území ČR je zvykem používat případ S-JTSK vytvořený Ing. Josefem Křovákem, kdy kladná osa X směřuje k jihu a kladná osa Y k západu. Software ovšem počítá v kartézské soustavě a předpokládá, že i zpracovatelův systém je takto orientován. Neuvážením toho předpokladu vzniknou velké odchylky. Problém byl tedy vyřešen jednoduchou záměnou os X, Y a otočením znamének souřadnic u VB. Tento problém jsem v úvodu výskytu chyby pokoušel takto řešit, jenže software vykazoval až kilometrové chyby. V softwaru bylo nutné, v referenčním nastavení, opětovně zadat, že jde o případ lokální sítě. Následně se program přizpůsobil a odchylky přepočítal. V našem případě na již přijatelné hodnoty okolo 3 mm.

Výsledky jsou dokladovány v protokolech jako příloha A–3.

4.2.6 Filtrace řídkého mračna

Řídké mračno není homogenní a body jsou určeny s různou přesností. Pro výpočet přesného modelu je nutno uvážit pouze body s odpovídající přesností. Pro tyto případy nám pomůže funkce *Gradual selection* (postupný výběr -> bodů). V této funkci si nejprve zvolíme, podle jakého kritéria chceme vybírat body. V každém kritériu máme numerické zadání hranice přesnosti. Body, které kritérium přesnosti nespĺňují, budou vybrány a je pak na uvážení zpracovatele, jak s výběrem naloží. Obvykle se body smažou, jako tomu bylo i v našem případě. Po každé editaci řídkého mračna je potřeba provést novou optimalizaci, kde se nám poté na bodech přepočítají odchylky. Výběr pak znovu nastavíme jako v předešlém případě a mračno iterativně editujeme do doby, kdy se nám bude vybírat minimální množství bodů nebo se nám nevybere bod žádný. Nad touto editací je nutno brát v ohled počet

zbylých bodů, kterých opět musí být dostatečný pro budoucí výpočty modelu. V rámci mnou zaměřovaných objektů, byla zvolena hranice 15 000 bodů.

Použité nastavení pro filtraci řídkého mračna:

Image count = 2

Projection accuracy = 10

Reconstruction uncertainty = 7

Reprojection error = 0,45

4.2.7 Výpočet hustého mračna

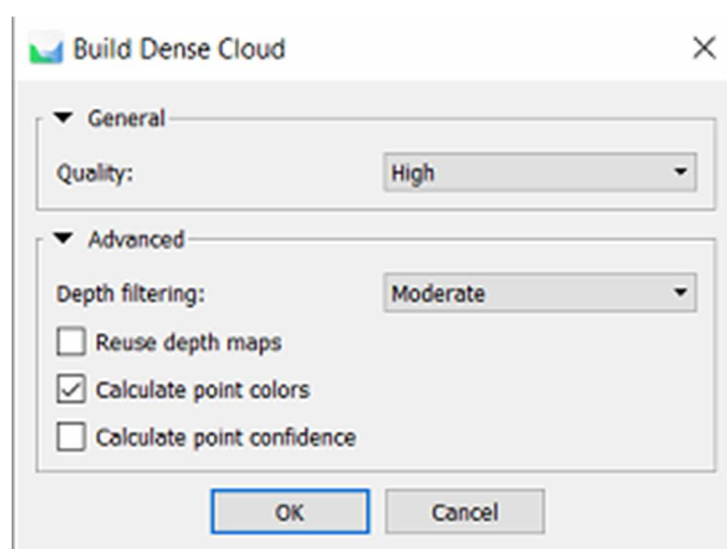
Následuje nejdelší výpočetní část celého zpracování. Řídké mračno bodů není model vhodný pro zpracování výstupů, jde pouze o body v malém počtu. Je zapotřebí mít toto mračno několikanásobně podrobnější. Na rozdíl od počátečního propojení snímků, zde máme už přesně lokalizované kamery (model je již orientován = jsou získány hodnoty prvků vnitřní a vnější orientace) získané iteračním procesem v kapitolách 4.2.5 a 4.2.6 určené nad řídkým mračnem. Na základě tohoto přesného umístění program počítá tzv. *depth information* (hloubkovou informaci) pro všechny kamery (snímky). Uvážení těchto informací se promítne do celého hustého mračna. Výsledkem je tedy husté mračno o přesnosti založené na našich požadavcích (zadaných parametrech). V rámci toho výpočtu je možno zvolit možnost výpočtu barvy jednotlivých bodů hustého mračna.

Tento proces v závislosti na požadované přesnosti a velikosti objektu může trvat v řádech několika hodin až dnů. Pro objekty výklenek a zadní stěna kuchyně trval výpočet s vysokou kvalitou (podrobností) 1 den. Pro objekt přední stěny kuchyně s podlahou šlo o dobu delší jak týden při stejné kvalitě. Počítač byl ovšem naneštěstí restartován a mračno neuloženo. Proto bylo nutné spustit výpočet znovu a kvůli časové náročnosti byla zvolena kvalita střední (medium). Tento výpočet trval zhruba 3 dny (přehledně v tabulce *Tab. 1: Výpočty hustého mračna*).

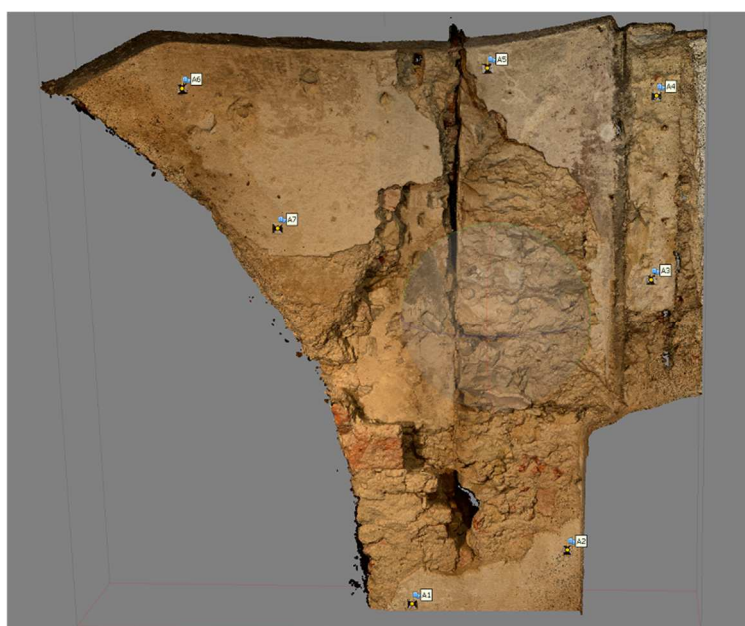
Nastavení výpočtu hustého mračna je vyobrazeno na obrázku Obr. 20: Nastavení výpočtu hustého mračna. Souřadnice bodů výsledného mračna najdeme v příloze B-8.

Model	Podrobnost	Doba (cca)
Přední stěna kuchyně + podlaha	MEDIUM	3 dny
Zadní stěna kuchyně	HIGH	1 den
Výklenek	HIGH	1 den

Tab. 1: Výpočty hustého mračna



Obr. 20: Nastavení výpočtu hustého mračna

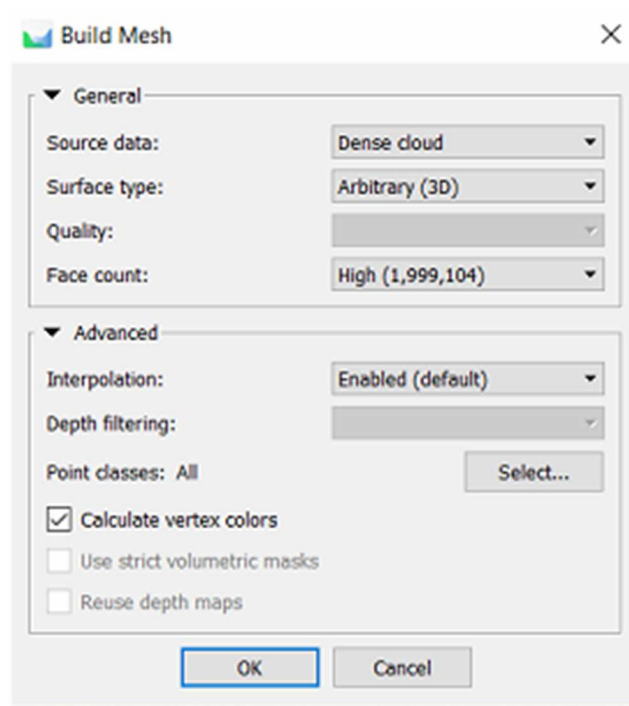


Obr. 21: Husté mračno bodů - výklenek

4.2.8 Výpočet sítě

Dalším krokem při cestě k modelu je vytvoření polygonové sítě ve vytvořeném hustém mračnu. Tato funkce propojí jednotlivé body a vytvoří povrch, který je výsledným geometrickým výstupem.

Před výpočtem sítě bylo provedeno oříznutí nezájmových oblastí objektu. Následně byl spuštěn výpočet s nastavením uvedeným na obrázku Obr. 22: Nastavení výpočtu sítě.

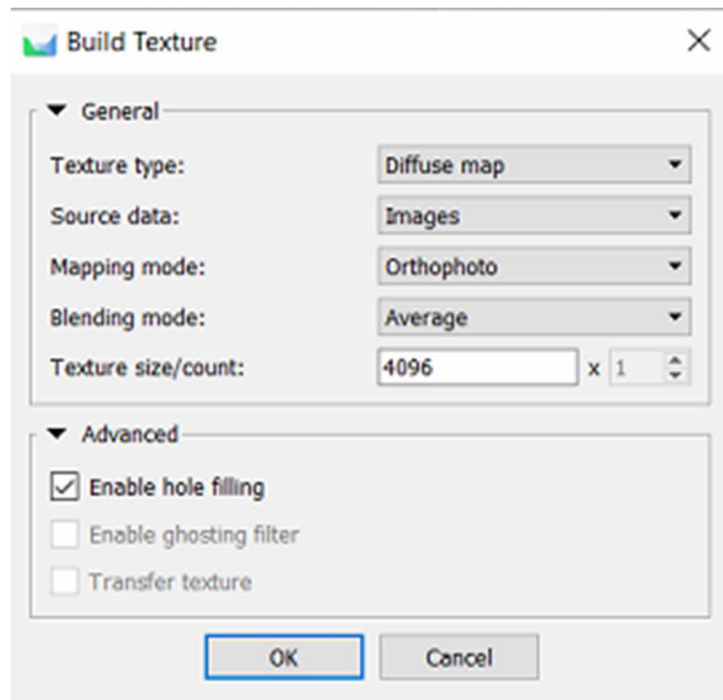


Obr. 22: Nastavení výpočtu sítě

4.2.9 Výpočet textury

Součástí modelu může být i věrné zachycení barev. K tomuto nám pomůže funkce Build texture (tvorba textury), která jednotlivým plochám (trojúhelníky) polygonové sítě vytvořené v kapitole 4.2.8, přiřadí barvu. Výsledkem je pak výsledný 3D model objektu, věrně zachycující jeho podobu.

Výpočet byl proveden s nastavením zobrazeným na obrázku Obr. 23: Nastavení výpočtu textury.



Obr. 23: Nastavení výpočtu textury

4.2.10 Tvorba ortomozaiky

Ortomosaika je rastrový výstup vysokého rozlišení vytvořený na základě zdrojových snímků a vytvořeného modelu.

Jde o jeden z nejběžnějších produktů zpracování prostorových snímkových dat. Jedním z dalších je detailní pohled na snímaný objekt (3D model). Pro zpracování multispektrálního snímání je zde nabízen speciální nástroj Raster Calculator (rastrový počítač), jako nástroj pro NDVI (normalized difference vegetation index – grafické (kvalitativní) znázornění vegetačních rozdílů) a další vegetačně indexové výpočty.

Čerpáno z [8].

Nástroj pro tvorbu ortomosaiky nám vytváří výsledné ortofoto. Při jeho tvorbě bylo nutné zadat požadovanou rovinu ortofota pro výsledný pohled ve 2D. Tato rovina byla určena trojicí bodů (markers), které vycházely z kopií dvojice VB na stěnách. Byly použity kopie dvou bodů dobře vystihujících hlavní svislou rovinu pro zájmovou část objektu. Jejich výšky byly nastaveny jako nulové a třetím bodem, pro jednoznačné

určení roviny, byla kopie jedné z předchozích se změněnou výšky na +1 m. Tyto 3 fiktivní body nám tedy určili rovinu, ve které se bude ortofoto vytvářet. Jinak řečeno nám to určilo jeho natočení ve výsledném pohledu.

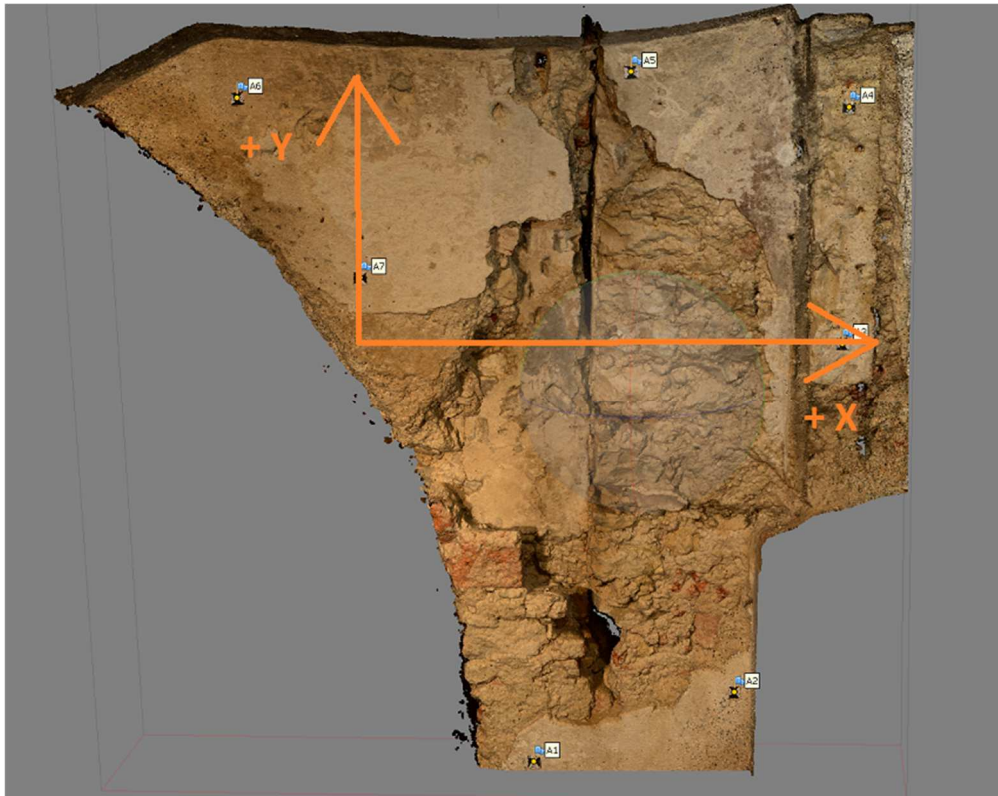
Pro případ výklenku byla rovina určena kopiemi bodů A7 -> A3 a A7 -> A7 + 1 m. Body A3 a A7 mají nastavenou výšku 0 metrů, když to bod A7 + 1 m má výšku 1 metr. Příkladná situace je znázorněna na obrázku Obr. 24: Určení roviny ortofota.

V případě výklenku byla použita metoda *Top XY*. Jde o pohled ze shora na definovanou měřickou síť. Pohled na model podlahy tak bude kolmý (za předpokladu, že je podlaha zhruba vodorovná).

Přehledná orientace ortofot znázorněna v tabulce *Tab. 2: Orientace ortofot*.

Model	Metoda	Osa +X	Osa +Y
Přední stěna kuchyně	Markers	D31 -> D22	D31 -> D31+1m
Zadní stěna kuchyně	Markers	E39 -> E33	E39 -> E39+1m
Výklenek	Markers	A7 -> A3	A7 -> A7+1m
Podlaha	Top XY	-	-

Tab. 2: Orientace ortofot



Obr. 24: Určení roviny ortofota

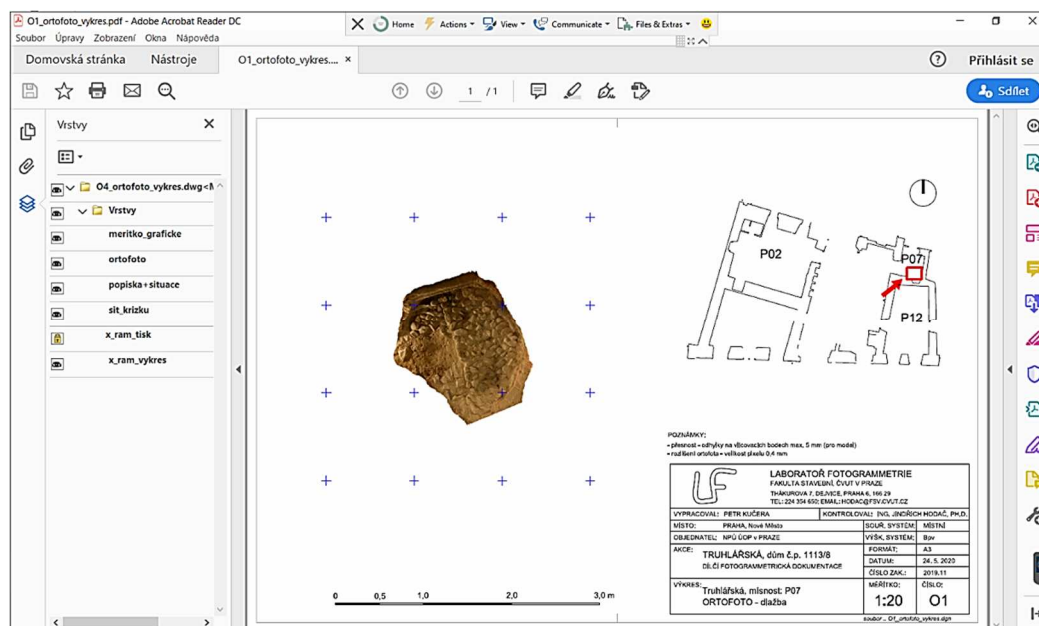
Ortofoto bylo vytvořeno při nastaveném *blending* módu (způsob, jak budou hodnoty pixelů ze snímků zkombinovány do výsledné ortomosaiky) „Mosaic“. Dále byly nastavovány velikosti pixelů v návaznosti na měřítko vyhotovovaných výstupů (1:20), které byly pro přední a zadní stěnu černé kuchyně 0,5 mm a pro výklenek s podlahou před černou kuchyní 0,4 mm. Nakonec bylo ortofoto exportováno v kompresi (LZW – bezztrátová) v nejvyšší kvalitě ve formátu *tif*.

4.3 Tvorba výsledného výstupu

Ortofoto již bylo vytvořeno, ale výsledný tvar by stále měl dosahovat v rámci projektu určitých standardů. Posledním krokem bylo nahraní ortofot jako rastrů do softwaru Microstation, kde byly doplněny o základní a mimorámové údaje, souřadnicovou síť a lokalizaci v rámci situace apod. K tomuto doplnění bylo použito již existujících šablon, do kterých bylo ortofoto referenčně připojeno. Každý výkres nesl označení v rámci bakalářské práce.

- O1 - valounková podlaha
- O2 - Černá kuchyně – přední stěna
- O3 - Černá kuchyně – zadní stěna
- O4 - Okenní nika

Dále byly výkresy doplněny do popisové tabulky o již zmíněné základní údaje jako vyhotovitel, objednatel, měřítko, souřadnicové systém atd. Poté byla doplněna souřadnicová síť, upraveny výškové kóty a vložen situační náčrt s vyznačenou polohou zobrazovaného objektu. Nakonec byl výsledek exportován do pdf, s možností vykreslování po vrstvách a měření vzdáleností za pomoci speciálního Bentley ovladače. Výtisk slouží jako finální výkres. Příklad výkresu, konkrétně pro valounkovou podlahu, s veškerým popisem najdeme na obrázku *Obr. 25: Výkres ortofota*.



Obr. 25: Výkres ortofota

5 Zhodnocení přesnosti výsledků

Přesnost výsledku lze posuzovat na základě dosažených přesností mezivýsledků. V této kapitole budou ve zkratce uváděny výsledné přesnosti důležitých fází zpracování. Výsledky a dosažené přesnosti lze najít v příložených patřičných protokolech.

Geodetické zpracování

Přesnost geodetického měření lze posuzovat na základě vícenásobných měření. V našem případě byl bod 4002 zpětně určen z každého bodu měřické sítě (obrázek Obr. 8: Situace geodetického zaměření). V tabulce Tab. 3: Rozdíly dvojího určení bodů budou uváděny souřadnicové rozdíly uváděné vzhledem k původním souřadnicím bodu 4002 ($X = 5000$, $Y = 1000$, $Z = 100$) získané vlastním určením (vlastním umístěním měřické sítě). Souřadnice bodů v tabulce lze nalézt v příloze A-1 (protokolu o výpočtu souřadnic VB).

Bod	dY [m]	dX [m]	dZ [m]
A4002	0,0008	0,0000	0,0056
B4002	0,0002	0,0006	0,0075
C4002	0,0000	0,0010	0,0059

Tab. 3: Rozdíly dvojího určení bodů

Důvodem nepoměrně větší chyby v určení výšek je pravděpodobně nesprávné určení výšky přístroje za pomoci svinovacího dvoumetru.

Fotogrammetrické zpracování

Jako výslednou přesnost ortofota a tedy modelu a vůbec veškerého fotogrammetrického zpracování lze uvést střední chybu VB (obrázek Tab. 4: Přesnosti modelů) při transformaci v softwaru Agisoft Metashape v rámci jednotlivých objektů. Hodnoty jsou převzaty z protokolů vytvořených softwarem v příloze B-5 (protokoly o výpočtu modelu). V těchto chybách se projeví veškerá dosažená přesnost při snímkování a geodetickém měření. Požadovaná přesnost na VB pro tvorbu ortofota v měřítku 1:20 byla do 10 mm.

Model	dY [mm]	dX [mm]	dZ [mm]	Počet VB	Počet snímků
Černá kuchyně – přední stěna	0,80	0,48	2,86	11	482
Černá kuchyně – zadní stěna	1,12	0,51	1,95	8	99
Podlaha	0,80	0,48	2,86	11	482
Výklenek	1,01	1,75	2,61	7	138

Tab. 4: Přesnosti modelů

Požadovaná přesnost byla dodržena s příznivými hodnotami.

Ortofoto

Samotná ortofota mohou být ovlivněna určitou nekvalitou modelu. Na různých místech se mohou vytvářet jamky, z důvodu chybějících dat nebo obraz může být rozmazaný.



Obr. 26: Kuchyně, přední stěna - chyby



Obr. 27: Kuchyně, přední stěna – chyby (detail A)

Na

obrazku



Obr. 27: Kuchyně, přední stěna – chyby (detail A) nahoře lze vidět rozmazaný obraz a ve spodní části, stejně jako na obrázku Obr. 28: Kuchyně, přední stěna – chyby (detail B) můžeme spatřit jamky.



Obr. 28: Kuchyně, přední stěna – chyby (detail B)



Obr. 29: Kuchyně, zadní stěna – chyby



Obr. 30: Kuchyně, zadní stěna – chyby (detail)

Na obrázku Obr. 30: *Kuchyně, zadní stěna – chyby (detail)* lze vidět místa špatně vypočteného modelu. Jsou to místa s mírně vyčnívající texturou a kontrastním zbarvením.

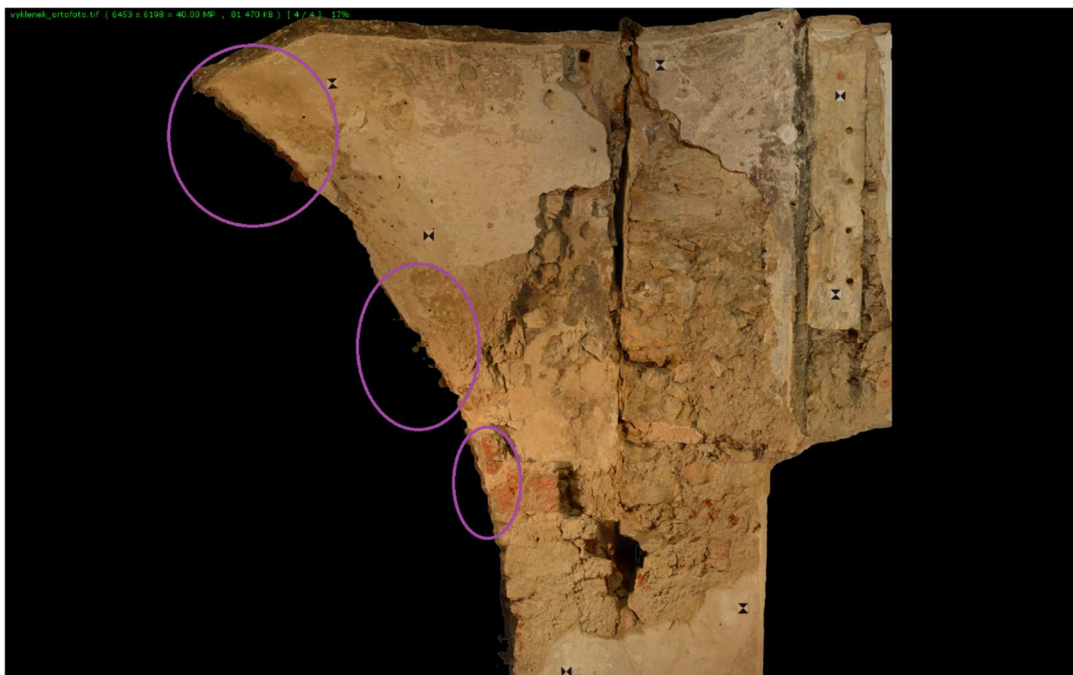


Obr. 31: Podlaha - chyby



Obr. 32: Podlaha – chyby (detail)

Na obrázku *Obr. 32: Podlaha – chyby (detail)* jsou vidět rozmazané úseky.



Obr. 33: Výklenek - chyby



Obr. 34: Výklenek – chyby (detail)

Obrázek *Obr. 33: Výklenek - chyby* a *Obr. 34: Výklenek – chyby (detail)* obsahují hůře vypočtené krajní nezájmové oblasti.

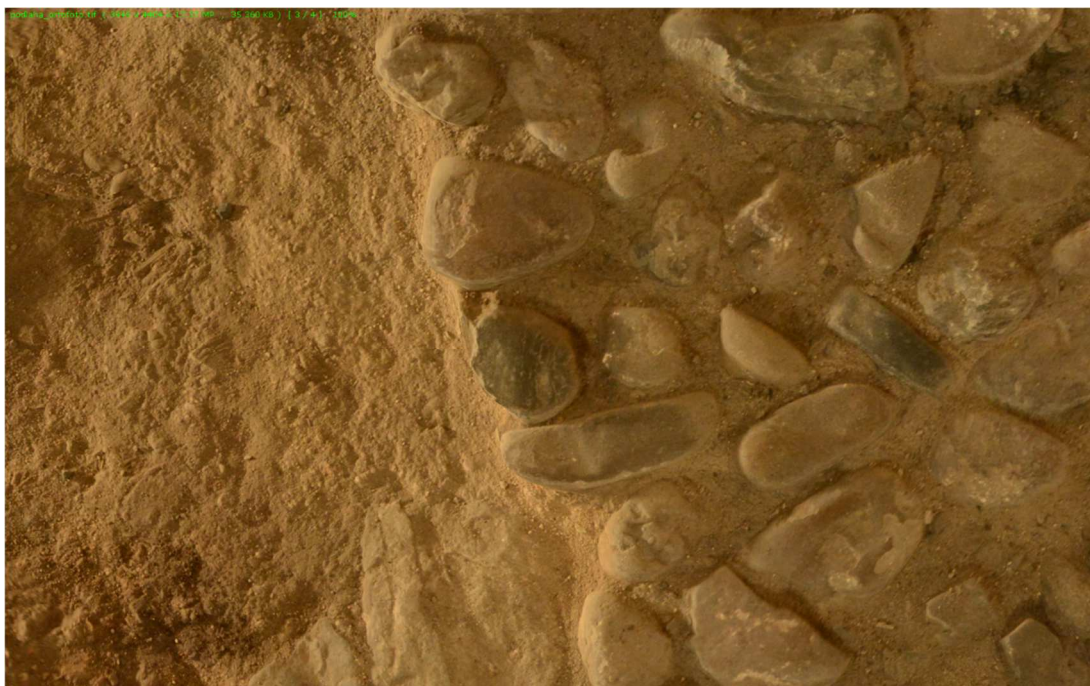
Dále lze předvést pár ukázek z míst, které se oproti zmíněným chybám vykreslily kvalitně.



Obr. 35: Kuchyně, přední stěna – kvalitní úsek



Obr. 36: Kuchyně, zadní stěna – kvalitní úsek



Obr. 37: Podlaha – kvalitní úsek



Obr. 38: Výklenek – kvalitní úsek

Až na zmíněné nedokonalosti, byly ortofota vesměs ostrá a dobře viditelná. Kvůli časovému nedostatku již nebyly barevně upraveny a z toho důvodu se ortofota zobrazují naoranžovělá.

6 Závěr

Cílem bakalářské práce je dílčí měřické dokumentace na zakázku NPÚ (Národní památkový ústav). Bakalářská práce je tak realizovaná na základě skutečného projektu. Veškerý postup zpracování je tak strukturou podobající se (rovnající se) běžnému zpracování toho typu.

V průběhu projektu byly tedy provedeny tyto navazující kroky rekognoskace terénu s umístěním VB na stěnách a navazujícím rozmístěním bodů lokální polohové sítě, sběr dat geodetickou metodou totální stanicí, sběr snímků neměřickou digitální kamerou a jejich zpracování v softwarech GROMA (pro data získaná geodetickou metodou), Agisoft Metashape (fotogrammetrické zpracování VB a snímků) a Microstation (pro výsledné ztvárnění výkresů ortofot).

Výsledkem práce jsou vytvořené výkresy ortofot v měřítku 1:20 a digitální modely. Ortofota byla vytvářena ve dvou velikostech pixelů na základě rozlohy zaměřovaných částí objektu. Jde o 0,5 mm pro přední a zadní stěnu černé kuchyně a 0,4 mm pro valounovou podlahu a výklenek. Důležitým parametrem, zohledňujícím veškerou dosaženou přesnost, byly odchylky na vlíčovacích bodech, které měly dosahovat maximálně 10 mm pro měřítko výstupu 1:20. Toho požadavku na zpracování bylo dosaženo a největší dosažená odchylka projektu byla v rámci objektu přední stěna černé kuchyně na bodě D22, kde odchylka vycházela 4,55 mm.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, původně mělo dojít i ke zpracování fotoplánů. Kvůli momentální situaci COVID-19, která se váže k jaru roku 2020, zapříčinila zpracovatelský handicap, a tudíž jsem byl nucen provést celé zpracování z domova. Byl jsem vázán na vzdálený přístup k počítačům na fakultě, kvůli softwarům potřebným pro zpracování. Z tohoto důvodu mi bylo vedoucím mé práce panem Ing. Hodačem, Ph.D. doporučeno, abych se zaměřil na zpracování ortofot. S blížícím se koncem semestru, mi při daném prostředí a různých potížích se zpracováním už nezbýval čas na tvorbu fotoplánů. Mělo jít o stěny v severní místnosti přízemního podlaží, a to stěnu severní s oknem a jižní s dveřním otvorem.

Hlavními problémy zpracování bakalářské práce byly odchylky VB a časově náročný výpočet hustého mračna bodu. Výpočet byl v řádu dní a omezoval tak společně

s probíhajícími studii další zpracování. Odchyly VB dlouhou dobu v důsledku rozdílného definování souřadnicových systémů nevycházeli. Teprve po vložení bodů v kartézském systému pomohlo problém vyřešit.

Bakalářská práce mě velice obohatila ve znalostech snímání a fotogrammetrickém zpracování dat. 3D modely a ortofota byly vytvářeny v softwaru Agisoft Metashape, díky čemuž jsem si osvojil základní ovládání a práci s programe. Věřím, že mi tyto znalosti pomohou k profesnímu životu v budoucnu.

Seznam použitých zkratek

AV – augšpurské vyznání

HV – helvétské vyznání

FTG - fotogrammetrie

VB – vlíčovací body

GIS – geografické informační systémy

Bpv – Balt po vyrovnání

IMBR – obrazová korelace (Image-Based Rendering)

NDVI – normalized difference vegetation index

Literatura

[1] PROCHÁZKOVÁ, Marta. Neznámá toleranční modlitebna v centru Prahy – kolébka pražských evangelických sborů. *Evangelický týdeník Kostnické jiskry* [online]. 2016-01-20 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <http://evangelickytydenik.cz/archiv/et-2016-3.pdf?fid=1453277728>

[2] *Nikon: Digitální fotoaparát Nikon D7100* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/discontinued/digital-cameras/2018/d7100#overview

[3] *Nikon: 17-35mm f/2.8D ED-IF AF-S Zoom-Nikkor* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: 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] *FlexLine TS06 Total Station* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/FlexLine%20TS06/brochures-datasheet/FlexLine_TS06_Datasheet_en.pdf

[5] *Groma* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.groma.cz/cz/groma>

[6] *About Metashape* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z:

<https://www.agisoft.com/>

[7] *Modelovací, dokumentační a vizualizační software* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z:

<https://www.bentley.com/cs/products/brands/microstation>

[8] *Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, Version 1.5* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf

Seznam tabulek

Tab. 1: Výpočty hustého mračna	27
Tab. 2: Orientace ortofot	30
Tab. 3: Rozdíly dvojího určení bodů.....	33
Tab. 4: Přesnosti modelů	34

Seznam obrázků

Obr. 1: Dům Truhlářská 1113/8 (Praha 1).....	2
Obr. 2: Fotoapráč Nikon D7100	5
Obr. 3: Objektiv AF-S Nikkor 17-35	6
Obr. 4: Leica FlexLine TS06 plus Total Station	7
Obr. 5: GROMA – náhled do programu	8
Obr. 6: Prostředí softwaru Agisoft Metashape.....	9
Obr. 7: Prostředí MicroStation.....	10
Obr. 8: Situace geodetického zaměření.....	13
Obr. 9: Černá kuchyně – přední stěna	15
Obr. 10: Černá kuchyně - valounková podlaha.....	15
Obr. 11: Černá kuchyně – zadní stěna	16
Obr. 12: Výklenek – horní část.....	16
Obr. 13: Výklenek – spodní část.....	17
Obr. 14: Situace snímaných stěn	17
Obr. 15: Vliv distorze na použitou kameru – ideální stav.....	21
Obr. 16: Vliv distorze na použitou kameru Nikon D7100	21
Obr. 17: Řídké mračno bodu - výklenek	22
Obr. 18: Reference settings	23
Obr. 19: Střední chyby VB v prostředí Agisoft Metashape.....	24
Obr. 20: Nastavení výpočtu hustého mračna	27
Obr. 21: Husté mračno bodů - výklenek.....	27
Obr. 22: Nastavení výpočtu sítě.....	28
Obr. 23: Nastavení výpočtu textury.....	29
Obr. 24: Určení roviny ortofota	31
Obr. 25: Výkres ortofota	32
Obr. 26: Kuchyně, přední stěna - chyby.....	35
Obr. 27: Kuchyně, přední stěna – chyby (detail A)	35
Obr. 28: Kuchyně, přední stěna – chyby (detail B)	36
Obr. 29: Kuchyně, zadní stěna – chyby	37
Obr. 30: Kuchyně, zadní stěna – chyby (detail)	37

Obr. 31: Podlaha - chyby.....	38
Obr. 32: Podlaha – chyby (detail)	38
Obr. 33: Výklenek - chyby	39
<i>Obr. 34: Výklenek – chyby (detail)</i>	<i>39</i>
Obr. 35: Kuchyně, přední stěna – kvalitní úsek	40
Obr. 36: Kuchyně, zadní stěna – kvalitní úsek	40
Obr. 37: Podlaha – kvalitní úsek	41
Obr. 38: Výklenek – kvalitní úsek.....	41

Seznam příloh

A – tištěné přílohy

1. Protokol o výpočtu souřadnic VB
2. Seznam souřadnic VB
3. Výkresy ortofot v měřítku 1:20

B – digitální přílohy

1. Protokol o výpočtu souřadnic VB – *M_VB-protokol.pro*
2. Náčrt VB – *M_VB-nacrty.pdf*
3. Seznam souřadnic VB – *M_VB-3D.txt*
4. Použité snímky (složka s jpg, nef) - *snimky*
5. Protokoly o výpočtu modelu (složka s pdf) – *projekt_protokoly*
6. Finální verze projektu (složka s psx) – *projekty_finalni*
7. Archivní verze (složka s psz) - *projekty_archivni*
8. Export mračna bodů (složka s txt) – *M_point_clouds*
9. Export polygonového modelu (složka s obj, mtl, tif) – *M_modely*
10. Export modelů (složka s pdf) – *M_modely_tisk*
11. Odkaz na adresář 3D modelů – *O_README.txt*
12. Výsledné ortofoto (složka s tif, tfw) – *O_ortofoto_XY*
13. Výkresy k tisku (složka s dgn, dwg) – *O_ortofoto_vykresy*
14. Tištěné výkresy a přílohy (složka s pdf, txt) – *O_ortofoto_tisk*

A – 1 Protokol o výpočtu souřadnic VB

[1] POLÁRNÍ METODA DÁVKOU

=====

Orientace osnovy na bodě 4001:

Bod	Y	X	Z
4001	1000.0000	5007.8860	99.9939

Orientace:

Bod	Y	X	Z
4002	1000.0000	5000.0000	100.0000

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0	Red.
4002	30.5260	200.0000	0.0000	7.8870	-0.0010	0.0058		

Orientační posun : 169.4740g

Test polární metody:

Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Podrobné body

Polární metoda

Bod	Hz	Z	dH	V cíle	Délka	Y	X	Z	Popis
A1	266.1310	129.2470		0.0000	2.1879	1001.1609	5009.7405	100.4415	
A2	278.8260	119.8720		0.0000	2.6333	1001.8116	5009.7971	100.6741	
A3	284.3880	93.2490		0.0000	2.8767	1002.1537	5009.7931	101.8301	
A4	284.4830	78.0860		0.0000	2.8984	1002.1728	5009.8042	102.5630	
A5	273.7400	71.5650		0.0000	2.3999	1001.5068	5009.7539	102.6733	
A6	241.1730	65.6790		0.0000	1.8073	1000.3009	5009.6681	102.6051	
A7	252.4870	83.2530		0.0000	1.9293	1000.6524	5009.7016	102.0435	
B8	203.4700	123.5460		0.0000	3.9095	998.3881	5011.4477	100.0082	
B9	238.3270	121.3180		0.0000	3.9129	1000.4783	5011.7696	100.1623	
B10	228.8850	89.0400		0.0000	3.8266	999.9014	5011.7113	102.1893	
B11	205.6920	76.7640		0.0000	3.9672	998.4914	5011.5552	103.0398	
B12	185.5270	78.9190		0.0000	4.5005	997.0772	5011.3083	103.0712	
B13	173.8430	88.1680		0.0000	5.1321	996.0108	5011.1147	102.4889	
B14	165.2180	114.8490		0.0000	5.8531	994.9947	5010.9201	100.1334	
B15	183.6100	121.2750		0.0000	4.4863	996.9850	5011.2082	99.9662	
C16	76.9440	115.8510		0.0000	5.8818	996.0814	5003.4996	100.0284	
C17	71.0280	92.0770		0.0000	5.2918	996.8559	5003.6295	102.1859	
C18	51.2590	77.0190		0.0000	4.1782	998.6632	5003.9274	103.1013	
C19	17.8300	86.4600		0.0000	3.6665	1000.7264	5004.2922	102.3157	
C20	1.4130	123.4440		0.0000	3.8475	1001.6988	5004.4338	100.0393	
C21	48.9260	120.9960		0.0000	4.0711	998.8397	5003.9838	100.1303	
A4002	30.5325	111.4160		0.1000	7.8860	999.9992	5000.0000	99.9944	

Orientace osnovy na bodě 4002:

Bod	Y	X	Z
4002	1000.0000	5000.0000	100.0000

Orientace:

Bod	Y	X	Z
4001	1000.0000	5007.8860	99.9939
4003	1004.3871	4994.9480	100.0679
4004	995.9045	4992.8614	99.9512

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0	Red.
4001	207.0695	0.0000	-0.0003	7.8860	0.0000	0.0000	0.0001	*
4003	361.5460	154.4770	0.0002	6.6907	0.0003	0.0000	0.0002	
4004	40.2285	233.1593	0.0001	8.2300	-0.0000	0.0000	0.0004	

Orientační posun : 192.9308g

$m0 = \text{SQRT}(|\text{v}|/(n-1))$: 0.0003g

$\text{SQRT}(|\text{v}|/(n*(n-1)))$: 0.0002g

Test polární metody:

Oprava orientace [g]: Skutečná hodnota: 0.0003, Mezní hodnota: 0.0800
Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Podrobné body

Polární metoda

Bod	Hz	Z	dH	V cíle	Délka	Y	X	Z	Popis
A191.33	56.7740	117.7730			0.0000	1.1007	999.2253	4999.2181	101.2245
B191.33	256.7750	282.2630			0.0000	1.1008	999.2252	4999.2180	101.2251
A4001	207.0685	111.5460			0.1000	7.8860	999.9999	5007.8860	99.9939

Orientace osnovy na bodě 4003:

Bod	Y	X	Z
4003	1004.3871	4994.9480	100.0679

Orientace:

Bod	Y	X	Z
4002	1000.0000	5000.0000	100.0000

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0	Red.
4002	105.2030	354.4770	0.0000	6.6900	0.0010	0.0077		

Orientační posun : 249.2740g

Test polární metody:

Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Podrobné body

Polární metoda

Bod	Hz	Z	dH	V cíle	Délka	Y	X	Z	Popis
D22	85.3990	128.1840			0.0000	2.9005	1001.9063	4996.4508	100.2138
D23	85.9560	100.2970			0.0000	2.9260	1001.8978	4996.4858	101.5752
D24	86.0480	77.1680			0.0000	2.9037	1001.9190	4996.4777	102.6774
D25	49.8820	63.4220			0.0000	2.0742	1002.3131	4994.9205	102.9318
D26	34.1180	75.0470			0.0000	2.1838	1002.2772	4994.3847	102.4916
D27	7.2950	87.6650			0.0000	2.2717	1002.6239	4993.5157	102.0347
D28	1.0630	116.5180			0.0000	2.1293	1002.8735	4993.4503	101.0237
D29	6.7920	133.8920			0.0000	2.2100	1002.6828	4993.5411	100.2870
D30	35.1500	134.1320			0.0000	2.1406	1002.3103	4994.4295	100.3170
D30a	35.1460	134.1320			0.0000	2.1406	1002.3103	4994.4293	100.3170
D31	50.4090	136.1630			0.0000	2.0838	1002.3033	4994.9376	100.2590
D32	49.9760	92.7190			0.0000	2.0883	1002.2989	4994.9234	101.8288
B4002	105.1980	114.0080			0.1000	6.6907	999.9998	4999.9994	99.9925

Orientace osnovy na bodě 4004:

Bod	Y	X	Z
4004	995.9045	4992.8614	99.9512

Orientace:

Bod	Y	X	Z
4002	1000.0000	5000.0000	100.0000

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	V délky	V přev.	m0	Red.
4002	344.1725	33.1593	0.0000	8.2310	-0.0010	0.0056		

Orientační posun : 88.9868g

Test polární metody:

Mezní odchylky stanovené pro práci v katastru nemovitostí byly dodrženy.

Podrobné body

Polární metoda

Bod	Hz	Z	dH	V cíle	Délka	Y	X	Z	Popis
E33	13.3330	114.4680			0.0000	6.4050	1002.3052	4992.6281	100.0180
E34	13.5850	97.5560			0.0000	6.4113	1002.3106	4992.6025	101.7455
E35	394.6780	93.9780			0.0000	5.8786	1001.5906	4994.3533	102.0569
E36	381.3020	95.3340			0.0000	5.8383	1001.1184	4995.4883	101.9279
E37	382.5520	107.3980			0.0000	5.8413	1001.1717	4995.3867	100.8173
E38	381.6800	115.5110			0.0000	5.8121	1001.1105	4995.4456	100.0544
E39	394.1560	114.9780			0.0000	5.8639	1001.5640	4994.3960	100.0935
E40	393.0240	105.8010			0.0000	5.8974	1001.5680	4994.5058	100.9603
C4002	344.1685	110.7640			0.1000	8.2309	1000.0000	5000.0010	99.9941

A – 2

Seznam souřadnic VB

4001	1000.000	5007.886	99.99
4002	1000.000	5000.000	100.00
4003	1004.387	4994.948	100.07
4004	995.905	4992.861	99.95
A1	1001.161	5009.741	100.44
A191.33	999.225	4999.218	101.22
A2	1001.812	5009.797	100.67
A3	1002.154	5009.793	101.83
A4	1002.173	5009.804	102.56
A5	1001.507	5009.754	102.67
A6	1000.301	5009.668	102.61
A7	1000.652	5009.702	102.04
B10	999.901	5011.711	102.19
B11	998.491	5011.555	103.04
B12	997.077	5011.308	103.07
B13	996.011	5011.115	102.49
B14	994.995	5010.920	100.13
B15	996.985	5011.208	99.97
B8	998.388	5011.448	100.01
B9	1000.478	5011.770	100.16
C16	996.081	5003.500	100.03
C17	996.856	5003.630	102.19
C18	998.663	5003.927	103.10
C19	1000.726	5004.292	102.32
C20	1001.699	5004.434	100.04
C21	998.840	5003.984	100.13
D22	1001.906	4996.451	100.21
D23	1001.898	4996.486	101.58
D24	1001.919	4996.478	102.68
D25	1002.313	4994.921	102.93
D26	1002.277	4994.385	102.49
D27	1002.624	4993.516	102.03
D28	1002.874	4993.450	101.02
D29	1002.683	4993.541	100.29
D30	1002.310	4994.429	100.32
D31	1002.303	4994.938	100.26
D32	1002.299	4994.923	101.83
E33	1002.305	4992.628	100.02
E34	1002.311	4992.602	101.75
E35	1001.591	4994.353	102.06
E36	1001.118	4995.488	101.93
E37	1001.172	4995.387	100.82
E38	1001.110	4995.446	100.05
E39	1001.564	4994.396	100.09
E40	1001.568	4994.506	100.96