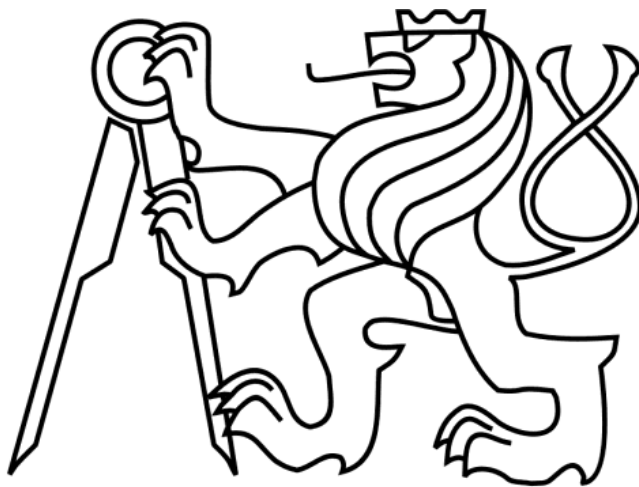


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Fotogrammetrická dokumentace vybraného fyzického modelu
vesnického domu**

**Photogrammetric documentation of selected physical
model of a village house**

Vedoucí práce: Ing. Jindřich HODAČ, Ph.D.
Katedra geomatiky

Květen 2020

Martin Vajner

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vajner Jméno: Martin Osobní číslo: 473434
Zadávací 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: Fotogrammetrická dokumentace vybraného fyzického modelu vesnického domu

Název bakalářské práce anglicky: Photogrammetric documentation of selected physical model of a village house

Pokyny pro vypracování:

- ve spolupráci se zadavatelem provedte výběr vhodného fyzického modelu objektu a definujte typ a parametry výstupů projektu,
- proveďte řešerši technologických možností přesné fotogrammetrické dokumentace fyzických modelů stavebních objektů,
- na základě řešerše navrhnete vhodné technologické postupy pro vytvoření definovaných výstupů,
- proveďte sběr dat a testováním najděte optimální technologii jejich fotogrammetrického zpracování,
- při zpracování dat věnujte zvýšenou pozornost otázkám kontroly a ověření přesnosti/ kvality,
- zpracujte pořízená data do podoby výstupů,
- shrňte dosažené výsledky a zhodnoťte jejich přesnost a vypovídací schopnost v kontextu dalšího využití zadavatelem.

Seznam doporučené literatury:

LANGWEILŮV MODEL PRAHY. Digitalizace Langweilova modelu [online]. 2020 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <http://www.langweil.cz/>

SEDLACEK, David, BURIANEK, Jan, ŽÁRA, Jiří. 3D Reconstruction Data Set -The Langweil Model of Prague. International Journal of Heritage in the Digital Era, 2013, volume: 2, issue: 2, page(s): 195-220

ZEMÁNKOVÁ, Anna. Detailní měřická dokumentace povrchů kamenných kvádrů. diplomová práce; Praha: Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2019.

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 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“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá detailním zpracováním fotogrammetrická dokumentace vybraného fyzického modelu vesnického domu. Dává si za cíl nalezení optimálního postupu pro fotogrammetrickou dokumentaci fyzických modelů a její následné zpracování. Obsahem je postup snímkování a následného zpracování fotogrammetrické dokumentace s výstupy a navržený optimální postup.

Klíčová slova

Fotogrammetrická dokumentace, vícesnímková fotogrammetrie, Agisoft Metashape Professional, Cloud compare

Abstract

This thesis deals with photogrammetric documentation of the selected physical model of a village house. Its goal is to find an optimal method for photogrammetric documentation of physical models and its further processing. It contains the process of scanning and further processing of photogrammetric documentation, provides the outcomes, and suggests an optimal method.

Keywords

Photogrammetric documentation, stereophotogrammetry, Agisoft Metashape Professional, Cloud compare

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci s názvem Fotogrammetrická dokumentace vybraného fyzického modelu vesnického domu vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího bakalářské práce Ing. Jindřicha Hodače, Ph.D. Veškeré podklady, které jsem použil na tuto bakalářskou práci, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne: 17. 5. 2020

Martin Vajner

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, Ing. Jindřichu Hodačovi, Ph.D., za poskytnutí námětu pro bakalářskou práci a cenné rady a pomoc při jejím zpracování. Za podnětné rady při tvorbě modelu děkuji Ing. Zdeňkovi Poloprutskému. Dále bych chtěl poděkovat své mamince za korekturu textu a podporu při studiu.

Obsah

1	Rešerše	8
1.1	Publikace.....	8
1.2	Volba technologie zpracování.....	8
2	Popis objektu	9
3	Přístroje	10
3.1	Fotoaparát Nikon D700.....	10
3.2	Objektiv AF-S DX Micro NIKKOR 40 mm f/2,8G.....	11
4	Použitý software	11
4.1	Agisoft Metashape	11
4.1.1	Podporované formáty	12
4.2	CloudCompare	13
5	Metody fotogrammetrické dokumentace	14
5.1	Vícesnímková fotogrammetrie.....	14
5.1.1	Princip metody.....	14
5.1.2	Vstupy	14
5.1.3	Výstupy	14
5.2	3D triangulační skenování.....	15
5.3	Optické korelační systémy	15
5.4	Parametry fotoaparátů	16
6	Praktická část	17
6.1	Nastavení parametrů fotoaparátu	17
6.2	Sběr dat.....	18
6.3	Postprocessing.....	19
6.4	Tvorba modelu.....	20
6.4.1	Agisoft Metashape Professional	20
6.4.1.1	Vliv nastavení kvality při tvorbě hustého mračna	20
6.4.1.2	Problematika tvorby modelu	22
6.4.2	Cloud compare.....	24
7	Zhodnocení přesnosti	25
8	Doporučený postup	27
8.1	Nastavení parametrů fotoaparátu	27
8.2	Snímkování.....	27
8.3	Postprocessing	28
9	Závěr	29
	Seznam příloh:.....	30

Bibliografie 31

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

1. Rešerše

1.1. Publikace

V této části jsou přiblíženy důvody výběru dále zmíněných publikací.

Prvním na seznamu doporučené literatury je digitální *Langweilův model Prahy*, který posloužil jako inspirace pro praktické zpracování snímkování objektu.

Druhou publikací je *3D Reconstruction Data Set - The Langweil Model of Prague*. (1)

Jako další byla vybrána diplomová práce *Detailní měřická dokumentace povrchů kamenných kvádrů* (2), neboť se zabývá problematikou, jaká je řešena i v této práci. Byla vybrána, protože v ní autor popisuje postup snímkování objektů malého rozměru a také obsahuje prospěšná data.

V rámci příprav bakalářské práce byla provedena rešerše použitelných metod pro 3D dokumentaci fyzických modelů budov. Pro získání bodového mráčka fyzického modelu je na výběr z různých technologií. Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících výběr technologie je velikost zájmového objektu. Pro orientaci v používaných technologiích bylo čerpáno z různých zdrojů. K získání informací byla využita publikace *Fotogrammetrie 3: digitální metody* (3), diplomová práce *Optické korelační systémy - Průzkum a zhodnocení aktuálního stavu* (4) a diplomová práce *Detailní měřická dokumentace povrchů kamenných kvádrů* (2). Všechny tyto publikace se zabývají problematikou snímkování a tvorby 3D výstupů za použití fotogrammetrických metod a zhodnocují, pro které objekty je která metoda vhodnější.

1.2. Volba technologie zpracování

Po prozkoumání byly zvoleny jako nejvhodnější technologie:

Vícesnímková fotogrammetrie (objekty menšího i většího rozsahu, milimetry až metry);
3D triangulační skenování (objekty menšího rozsahu, řádově milimetry až centimetry);
Optické korelační systémy - OKS (objekty menšího i většího rozsahu, milimetry až metry).

Popis těchto technologií viz. kapitola 5. Metody fotogrammetrické dokumentace.

Metoda 3D triangulačního skenování byla zhodnocena jako nevhodná z důvodu prostorové složitosti a nákladů na vybavení. OKS je sice vhodnou metodou, avšak je časově velice náročná. Jelikož byl požadavek i vytvoření postupu pro snímkování a zpracování fotogrammetrické dokumentace pro předmět Fotogrammetrie 1, nebyla tato metoda použita. Jako nejvhodnější pro zadanou práci byla vyhodnocena vícesnímková fotogrammetrie. Byla vybrána pro svou nenáročnost na vybavení, rychlost a dostatečnou přesnost.

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

2. Popis objektu

Inv. číslo: H4-3518

Poř. č dle katalogu Bureše, Procházky a Tempíra: 312

Původ: Dar: Národopisný odbor v Hlinsku, 1894 (NVČ)

Název předmětu: Model – chalupa

Popis – muzejní evidence: Model dřevěný malé chaloupky, která má v průčelní stěně jedno okno. Po straně ze dvora krytý vchod předsíní.

Současná pozorování a stav: dobrý

Rozměry: 20 x 27 x 40 cm

Lokalita: Čechy vých., o. Chrudim, Hlinsko

Zachován v terénu:?

Literatura: Pavel BUREŠ – Lubomír PROCHÁZKA – Zdeněk TEMPÍR, *Modely...*, s. 117; Národní muzeum, Etnografické oddělení, Inventární kniha 2912-4164; Hlinecko na Národopisné výstavě československé, Naše Národopisná výstava československá – Bezplatná příloha „Českých novin“ k čís. 71. ze dne 11. srpna 1895, s. 222–226. Umístění modelu ve výstavě zachyceno na fotografii na s. 225, možná jde o „pazderku chlumskou“ zmiňovanou na s. 224. (5)



Obr. 2.1: Fyzický model vesnického domu

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

3. Přístroje

Na základě zadání bylo rozhodnuto, že snímání modelu bude provedeno pomocí fotoaparátu. K fotoaparátu byl použit objektiv AF-S DX Micro NIKKOR 40 mm f/2,8G. Kromě fotoaparátu bylo taktéž použito čtyř reflektorů pro nasvícení modelu. Použity byly reflektory o výkonech 500 W, 300 W, 30 W a 20 W. Důvodem jejich užití byla nutnost dodatečného nasvícení modelu za účelem získání kvalitnějších fotografií.

3.1. Fotoaparát Nikon D700

K pořízení dat v podobě fotografií bylo použito fotoaparátu NIKON D700, který je zařazen do kategorie digitálních zrcadlovek. Ten disponuje mimo jiné obrazovým snímačem CMOS 12,1Mpx s velikostí 23.5x15.6 mm, rozlišením 6000x4000 pixelů, rozsahem citlivostí ISO 200-6400 a možností exportovat do JPEG, RAW a TIFF. Disponuje také systémem automatického zaostřování s 51 zaostřovacími poli, a nabízí tak vysokou rychlost a extrémní přesnost na profesionální úrovni. Pro naše účely bylo využito ukládání snímků pouze do formátu JPEG. (6)



Obr. 3.1: Nikon D700, zdroj: https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/discontinued/digital-cameras/2018/d7100#overview

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

3.2. Objektiv AF-S DX Micro NIKKOR 40 mm f/2,8G

Při fotofokumentaci bylo využito monofokálního makroobjektivu AF-S DX Micro NIKKOR 40 mm f/2,8G o základní ohniskové vzdálenosti 40 mm. Tento objektiv disponuje vysokou světelností objektivu F2,8, rozsahem clony f/2,8 až f/22 a obrazovým úhlem 38°50'. Disponuje taktéž automatickým ostřením. Nejkratší zaostřitelná vzdálenost je 0,163 m. (7)



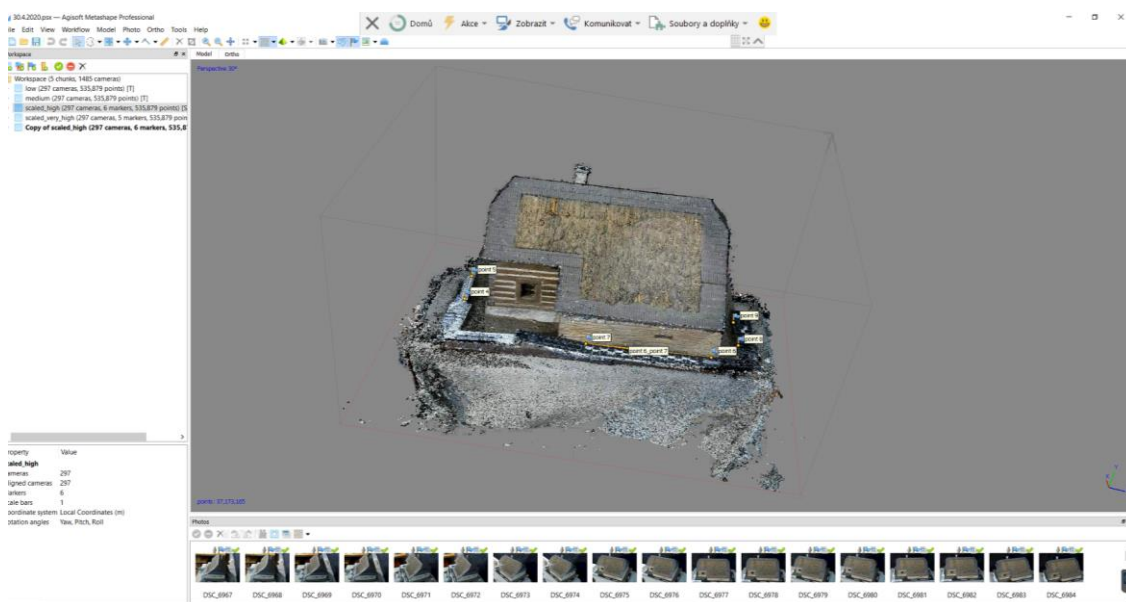
Obr. 3.2: AF-S DX Micro NIKKOR 40 mm f/2,8G, zdroj:
https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/nikkor-lenses/auto-focus-lenses/dx/single-focal-length/af-s-dx-micro-nikkor-40mm-f-2-8g#overview

4. Použitý software

4.1. Agisoft Metashape

Agisoft Metashape je samostatný software, který umožňuje fotogrammetrické zpracování digitálních obrázků (pozemní i letecká fotogrammetrie). Umožňuje generování 3D výstupů pro potřeby geografických informačních systémů (GIS), dokumentaci objektů kulturního dědictví, výrobu vizuálních efektů a v neposlední řadě nepřímé měření vzdáleností objektů různých velikostí. Software umožňuje zpracovávat obrázky z RGB, termokamer, multispektrálních kamer i vícekamerových systémů do informace zpracované ve formě hustých mračen bodů, polygonových modelů, ortomozaiek a DSM/DTM. Technika digitální fotogrammetrie umožňuje automatizovaný postup celého procesu a uživatel si tedy volí pouze hodnotu kvality výstupu. (8)

Thákurova 7, 166 29 Praha 6



Obr. 4.1: Agisoft Metashape Professional – pracovní prostředí

4.1.1. Podporované formáty

Grafika

- Import
- JPG
- TIFF
- PNG
- BMP
- OpenEXR
- JPEG 2000
- TARGA
- Digital negative (DGN)
- Portable Bit Map (PGM, PPM)
- Multi-Picture Object (Mpo)
- Norpix Sequence (SEQ)
- AscTec Thermal Images (ARA)

Řídké/ husté bodové mračno

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| Import | Export |
| Wavefront OBJ (*.obj) | Wavefront OBJ (*.obj) |
| Stanford PLY (*.ply) | Stanford PLY (*.ply) |
| ASCII PTS (*.pts) | ASCII PTS (*.pts) |
| ASPRS LAS (*.las) | ASPRS LAS (*.las) |
| LAZ (*.laz) | LAZ (*.laz) |

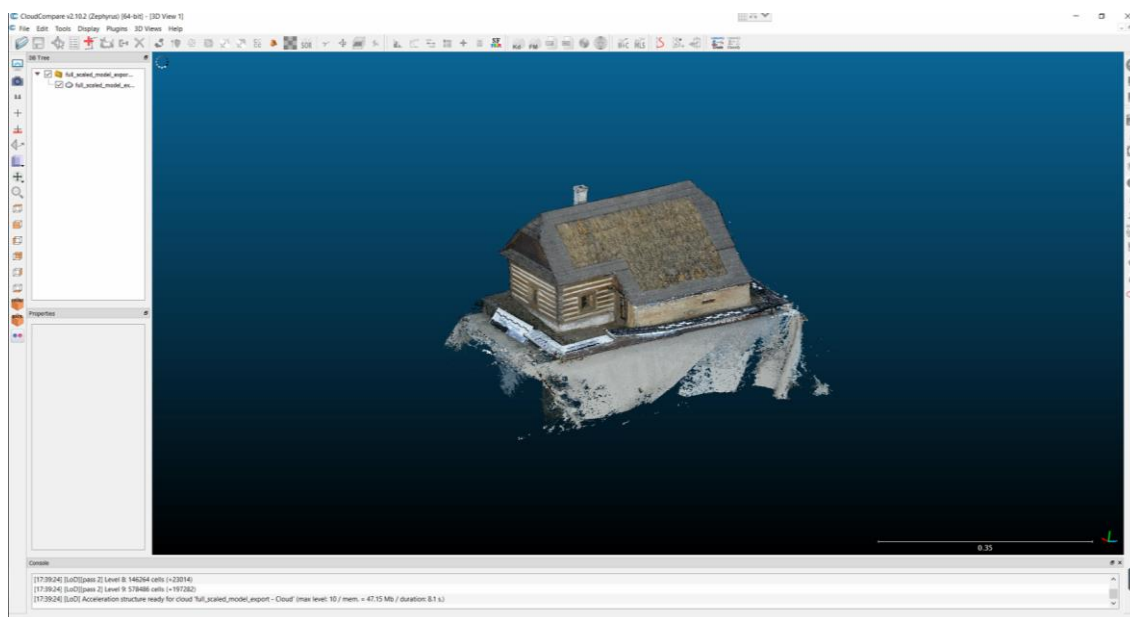
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ASTM E57 (*.e57)

ASTM E57 (*.e57)
XYZ Point Cloud (*.txt)
Cesium 3D Tiles (*.zip)
Universal 3D (*.u3d)
Autodesk DXF (*.dxf)
potree (*.zip)
Agisoft OC3 (*.oc3)
Topcon CL3 (*.cl3)
Adobe 3D PDF (*.pdf)

4.2. CloudCompare

CloudCompare je software na editaci a zpracování (processing) 3D bodových mračen. Původně vytvořen pouze pro přímé porovnání dvou bodových mračen, postupně však bylo přidáno mnoho nových funkcí, mezi něž patří například transformace mračen. Dokáže mezi sebou porovnat bodová mračna a vyjádřit jejich rozdíl pomocí volitelné palety barev i pomocí histogramu. (9)



Obr. 4.2: Cloud Compare – pracovní prostředí

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

5. Metody fotogrammetrické dokumentace

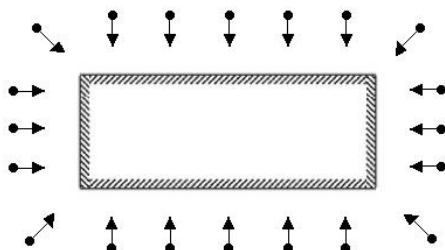
Tato kapitola obsahuje přiblížení metod uvažovaných pro praktické zpracování.

5.1. Vícesnímková fotogrammetrie

Vícesnímková pozemní fotogrammetrie nachází uplatnění při tvorbě dokumentace prostorově členitých objektů různého rozsahu. Jak již název napovídá, jedná se o prostorové vyhodnocení objektu pomocí většího množství snímků.

5.1.1. Princip metody

Princip metody je historicky založen na protínání vpřed z úhlů měřených snímkových souřadnic bodů. Princip metody je vyhodnocení prostorových souřadnic na základě dvou snímků. Prostorové souřadnice povrchu objektu jsou určeny díky překrytí snímků. Snímky musí obsahovat tzv. identické body. Identické body jsou takové, které se vyskytují na obou snímcích. Minimální počet identických bodů je 3 a ideální úhel protnutí promítacích paprsků je 60-120 stupňů. Pomocí těchto bodů dochází k prolnutí snímků a následnému vytvoření prostorového obrazu. (3)



Obr. 5.1: Schéma snímání metodou vicesnímkové fotogrammetrie

5.1.2. Vstupy

Vstupními daty jsou snímky objektu snímáné z rozdílných poloh. Snímky by měly mít překryt alespoň 60 %. Osvětlení objektu by mělo být stálé, tzn. nemělo by se během snímání měnit, pokud to není nezbytně nutné, a objekt musí být nehybný. Mezi další vstupní data patří měřené vzdálenosti na objektu.

5.1.3. Výstupy

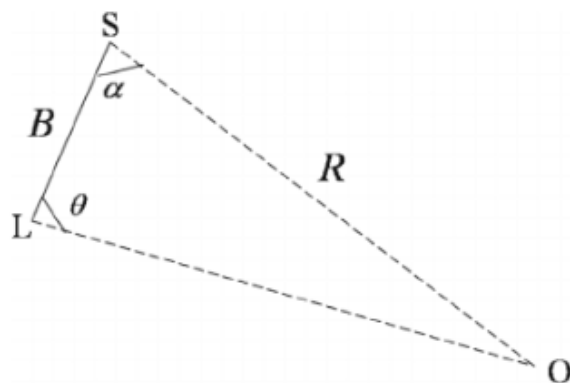
Výstupem je této metody je 3D model. A to v podobě řídkého či hustého mračna, plného modelu, stínovaného modelu či drátového modelu.

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

5.2. 3D triangulační skenování

Metoda 3D laserového triangulačního skenování je technologie, při níž je fyzický tvar objektů převeden na digitální pomocí triangulace. Laserová triangulace je stereoskopická technika, kde je vzdálenost objektů vypočtena pomocí rozkmitávaného laserového paprsku a kamer. Na povrch snímaného objektu jsou promítány paprsky, které jsou snímány kamerami. Kamery digitalizují všechny body zaznamenané z průřezu paprsků na povrchu objektu. V závislosti na vzdálenosti dopadu laseru na povrch se zobrazí laserový bod v zorném poli kamery. Tato technika se nazývá triangulace (laserový bod, fotoaparát a laserový zářič tvoří trojúhelník). Využívá známých úhlů a známé vzdálenosti mezi kamerou a laserovým zářičem. Paprsek je promítán na povrch pod určitým úhlem. Kamera tento průřez zaznamená a následně je vyhodnocena prostorová pozice bodu, vzhledem ke vztažené rovině. (10)

Na obrázku 5.2 je zobrazen princip triangulace. Body L a S zobrazují pozici kamerového systému a zdroje paprsku, vzdálenost R je vzdálenost mezi zdrojem paprsku a povrchem objektu. α a θ jsou úhly vztažené k základní rovině.



Obr. 5.2: Princip triangulační geometrie

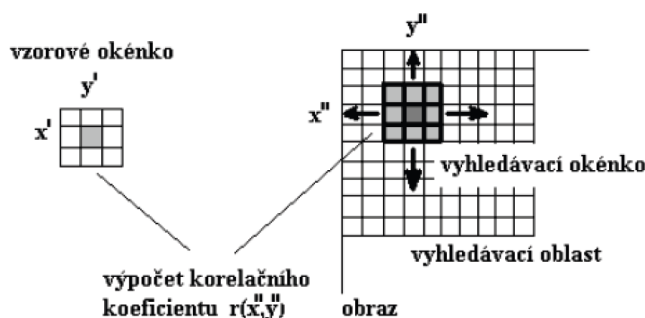
5.3. Optické korelační systémy

Základem optických korelačních systémů je obrazová (optická) korelace. Principem je nalezení dvou identických bodů na dvou nebo více snímcích, které zobrazují stejný objekt z různých stanovisek.

Je vybrán bod, který je třeba nalézt i na druhém snímku. Pro provedení identifikace je třeba, aby snímek zachycoval i širší okolí bodu. Čím větší okolí bodu zachytíme, tím snadnější je bod nalézt. Se zvětšováním okolí bodu však narůstá i doba výpočtu korelace. K vyhledávání bodu slouží tzv. „vyhledávací okénko“ s velikostí totožnou se „vzorovým okénkem“. Tím je poté prohledávána oblast očekávaného výskytu bodu. Míra ztotožnění je vyjádřena korelačním koeficientem. Ten je počítán pro každý pixel v oblasti.

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Korelační koeficient má rozmezí hodnot $\langle -1, 1 \rangle$. Hodnota -1 vyjadřuje úplnou neshodu a hodnota $+1$ úplnou shodu. Prvky vnitřní a vnější orientace jsou určeny až v rámci výpočtů.
(4)



Obr. 5.3: Princip obrazové korelace

5.4. Parametry fotoaparátů

Ohnisková vzdálenost objektivu

Ohnisková vzdálenost se udává v milimetrech a určuje šířku záběru. Při menší vzdálenosti dostáváme širší úhel záběru. Příkladem fotografie pořízené s velmi krátkou ohniskovou vzdáleností je typ fotografie tzv. „rybí oko“. Naopak velmi dlouhou ohniskovou vzdálenost mají teleobjektivy a dalekohledy, které nám poskytují velmi úzký úhel záběru. Taktéž existují fotoaparáty s proměnlivou ohniskovou vzdáleností, tzn. disponují funkcí zoom (přiblížení). Ohnisková vzdálenost je rovněž jedním z parametrů ovlivňujících hloubku ostrosti.

Hloubka ostrosti

Hloubkou ostrosti je myšlena šířka pruhu, který se bude jevit na fotografii ostrým, tzn. snímek bude rozostřený před ním a za ním. Při menší ohniskové vzdálenosti je hloubka ostrosti větší, většina snímku je tedy ostrá. Při větší ohniskové vzdálenosti bude ostrá jen část a zbytek bude rozostřený. Hloubka ostrosti se zmenšuje také při nižším clonovém čísle.

Expoziční čas

Expoziční čas je doba, po kterou dopadá světlo procházející objektivem na čip fotoaparátu. Udává se ve zlomcích sekund. Při vyšším expozičním čase působí světlo na čip déle, a tudíž zaznamenává obraz delší dobu. To způsobuje jak zvětšenou světlost snímku, tak to, že se fotografie při sebemenším pohybu může jevit rozmazaná. Proto je třeba při fotografování pohybujících se věcí či fotografování takzvaně z ruky použít kratší expoziční čas, aby byl zachycen co nejkratší okamžik.

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Clona

Clona reguluje množství světla, které jí prochází. Má tvar kruhu s otvorem uprostřed, mnohoúhelníkovým až kruhovým, jímž světlo na čip prochází. Relativní velikost tohoto otvoru udává clonové číslo. Je to poměr ohniskové vzdálenosti a průměru otvoru clony. Při větším clonovém čísle je otvor menší, a tudíž jím prochází méně světla.

Pro fotografování při slabém osvětlení je naopak žádoucí, aby bylo clonové číslo co nejmenší a clonou procházelo co nejvíce světla. Jako clonové číslo je též uváděna světelnost objektivu. Clona je rovněž jedním z parametrů hloubky ostrosti.

Citlivost ISO

Citlivost snímáče určuje, kolik světla bude snímáč potřebovat. S narůstající citlivostí roste hladina „šumu“ na fotografiích. Šum způsobuje zrnitost snímků, kazí barvy a snižuje ostrost. Proto je vhodné fotografovat s nižší citlivostí. Ačkoliv lze šum do jisté míry eliminovat postprodukcí.

6. Praktická část

V této části byl testován ideální postup a nastavení pro snímání a tvorbu výstupů na fyzickém modelu.

6.1. Nastavení parametrů fotoaparátu

V prvním dnu snímání byla zaměřena pozornost na nastavení vhodných parametrů fotoaparátu pro dosažení co nejvyšší kvality snímků. Bylo využito systematizované metody, kdy byly postupně zkoušeny různé konfigurace nastavení parametrů fotoaparátu. Nastavované a zkoušené parametry byly číslo clony, citlivost ISO a odchylka expozice.

Parametr času expozice nebyl nastavován, ale byl kladen důraz na co nejmenší hodnotu času z důvodu zvýšení kvality pořízeného snímku. Parametr číslo clony byl testován na hodnotách $\langle f/8, f/11 \rangle$. Tyto parametry byly vybrány vzhledem k osvětlení objektu jako nejvhodnější pro testování.

Parametr citlivosti ISO byl podle doporučení Ing. Jindřicha Hodače, PhD., testován na nižších až středních hodnotách $\langle 400-800 \rangle$. Při vyšších hodnotách by mohlo docházet ke zvýšené zrnitosti snímku, a tudíž výraznému snížení kvality.

Parametr odchylka expozice byl testován na hodnotách $\langle -1, 1 \rangle$. Mimo tyto hodnoty byly snímky velmi přesvětlené nebo příliš tmavé na to, aby se s nimi dalo dále pracovat.

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Testovány byly různé kombinace těchto parametrů (příklady viz níže). Kombinace parametrů číslo clony, citlivost ISO a odchylka expozice o hodnotách f/9, ISO 640 a ev -0,67 byla zhodnocena jako nejlepší varianta pro snímání objektu při použití osvětlení. Nastavení vyšší hodnoty ISO způsobovalo zrnitost snímku a hodnoty nižší naopak nedostatečnou ostrost. U odchylky expozice byl při nastavení nižší hodnoty snímek příliš tmavý, při nastavení hodnoty vyšší byl přesvětlený. Tato porovnání jsou uvedena pro kombinaci s uvedenými nastavenými hodnotami parametrů. U jiných hodnot se výsledky lišily, avšak snímek byl vždy nedostatečné kvality pro další zpracování, tj. projevovala se zvýšená zrnitost, nedostatečná ostrost, špatná úroveň světelnosti, nebo výrazné snížení celkové kvality či rozmazání obrazu, způsobené příliš vysokým časem expozice.

Atributy: 6000 x 4000 (24.00 MP) 24bit	
Velikost tisku: 20.00 x 13.33 palce , DPI: 300 x 300 DPI	
EXIF	Poznámka JPEG
Vytvořeno	NIKON CORPORATION
Model	NIKON D7100
Software	Ver.1.04
Datum/čas	2020-04-30 10:14:11
Čas expozice	1/80 sec
Číslo clony	f/9
Citlivost ISO	ISO 640
Program expozice	Aperture priority
Režim měření	Center weighted average
Odchylka expozice	-0.67 EV
Blesk	No flash, compulsory
Ohnisková délka	40 mm
Ekvivalent 35mm	60 mm
Kamerové čočky	
GPS	

Obr. 6.1: Nastavení parametrů fotoaparátu

6.2. Sběr dat

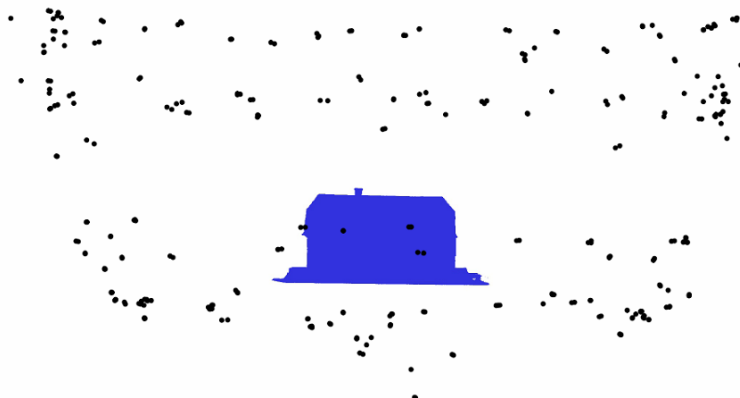
Sběr dat, tzn. pořizování snímků, probíhalo pomocí fotoaparátu NIKON D700 s objektivem AF-S DX Micro NIKKOR 40 mm f/2,8G v šesti dnech v průběhu trvání letního semestru. K dodatečnému osvětlení objektu bylo užito reflektorů o výkonu 500 W, 300 W, 30 W a 20 W. Snímkování probíhalo v suterénu Fakulty stavební ČVUT v Praze v místnosti BS-112.

V první části bylo potřeba zajistit, aby byl snímán objekt dostatečně osvětlen. Taktéž byla snaha o to, aby byl objekt během snímkování nasvícen pořád stejně, tzn. aby se světelné podmínky během snímkování neměnily.

Dále bylo nutné, aby bylo zajištěno dostatečné překrytí snímků (min. 60 procent plochy) a aby byl objekt dostatečně hustě nasnímán po celé své ploše. Snímání probíhalo ve čtyřech výškách. Tyto polohy byly vybrány kvůli dostatečnému překrytí snímků a zajištění dostatku snímků pro zpřesnění kvality výstupu. Objekt byl snímán dokola s cílem nasnímat co největší množství snímků. Snímání probíhalo tak, že postupně kolem dokola vždy v jedné z výšek byla nasnímána první část (popis částí níže). Poté byly vytvořeny detaily ploch spodní části

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

přesahu střechy dostupných stran. Dále byl objekt otočen o 180° a ten samý postup se opakoval.



Obr. 6.2: Pozice snímkování

Objekt byl umístěn ke stěně před černou plochu (zástěnu), aby se místnost mohla i nadále používat, a proto bylo samotné snímkování rozděleno do tří částí. Fotografie pořízené z těchto částí se překrývaly. Boční části, tzn. kratší stěny, byly snímkovány ve všech částech kvůli překrytí a vzájemné provázanosti snímků. V první části byla snímkována přední strana a strany boční. Ve druhé části byl objekt otočen o 180° a nasnímána byla zadní stěna spolu se stěnami bočními. Problémem u snímání objektu a jeho stěn jako celku bylo to, že při následném zpracování nebyl program Agisoft Metashape Professional schopen vyhodnotit plochu spodní části přesahu střechy a nedetekoval v této oblasti žádné body. Nebyl schopen je vyhodnotit, protože podpůrné světlo dopadalo na objekt ze dvou lamp shora a zbylé dvě lampy o výkonu 20 W a 30 W nebyly v dostatečné blízkosti, aby tato zákoutí osvětlily.

Proto bylo potřeba přidat třetí část, kde byly 20W a 30W lampy přesunuty tak, aby osvětlovaly plochy spodní části přesahu střechy. Tyto plochy pak byly snímkovány jako detaily.

6.3. Postprocessing

Postprocessing byl prováděn u všech snímků pouze u prvních pokusů o vytvoření modelu v rané fázi testování. Úprava snímků byla zvolena pouze v základní formě a spočívala v úpravě hodnoty stínů, světla, kontrastu a sytosti v programu FastStone image viewer. Bylo potřeba tyto parametry zvolit tak, aby byla navýšena ostrost a barevnost snímku a zároveň potlačena hodnota šumu (zrnitosti). Od úpravy všech snímků bylo postupně upuštěno, protože docházelo k navýšování počtu snímků na sérii a zpracovávat každý snímek zvlášť by

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

bylo časově velice náročné. Snímky navíc dosahovaly takových kvalit, že většinu nebylo třeba nikterak upravovat a byly použitelné ve stavu, v němž byly vyfotografovány.

Postprocessing byl tedy ve výsledku uplatněn pouze na fotografie, které to vyžadovaly. Mezi nimi byly například snímky detailů ploch spodní části přesahu střechy, které byly z důvodu nutného kvalitního nasvícení nakonec přesvícené. Bylo tedy zapotřebí je ztmavit a dodat jim barevnost podobnou ostatním snímkům.

6.4. Tvorba modelu

6.4.1. Agisoft Metashape Professional

Tvorba modelu proběhla v programu Agisoft Metashape Professional. Bylo postupně vytvořeno několik testovacích modelů, avšak proces byl ve své podstatě stejný. Nejprve bylo třeba nahrát danou sérii fotografií do prostředí programu. Proto bylo v první řadě vytvořeno nové modelovací prostředí, tzv. *chunk*, a poté přes funkci *add photos* byly vybrány potřebné snímky. Po nahrání snímků byla použita funkce *process-align photos*, která vytvořila bodový základ pro tvorbu modelu. Při použití dostatečného počtu kvalitních snímků nebylo nutné vyhledat a označit na importovaných snímcích identické body, přes které by program tyto fotografie identifikoval jako „sousední“. Pro tvorbu hustého mračna bodů byla použita funkce *process-Build dense cloud*. Modely byly vytvořeny funkcí *process-Build mesh*.



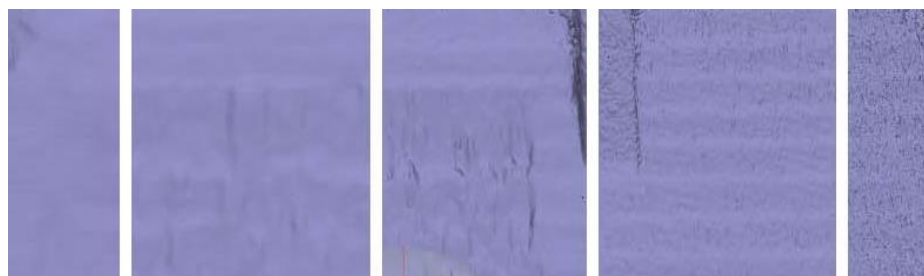
Obr. 6.3: Husté mračno vysoké kvality generované v AMP

6.4.1.1. Vliv nastavení kvality při tvorbě hustého mračna

Nastavení kvality tvorby hustého mračna neovlivňuje pouze husté mračno, ale i například modely, které se na základě mračna generují. Je proto třeba

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

předem rozmyslet, jak kvalitní výstup je požadován, už jen z časových důvodů, neboť u nejvyšší kvality je časová náročnost v řádu dní.



Obr. 6.4: Vliv kvality mračna na model

Na obrázku 6.4 je zobrazen vliv nastavení kvality tvorby hustého mračna na výsledný stínovaný model. Tento obrázek zobrazuje povrch střechy postupně ve všech nastaveních kvality (zleva: lowest, low, medium, high, very high). Z tohoto je patrné, že za použitelné modely lze považovat až ty s nastavením medium a vyšší.

Dalším ukazatelem kvality je počet bodů, které obsahuje husté mračno. Pro porovnání slouží tabulka níže, která byla vytvořena pro testované modely generované ze stejných snímků při rozdílném nastavení kvality tvorby hustého mračna. Zmíněné testování probíhalo na jedné straně modelu.

Počet použitých snímků: 18

Align photos

Accuracy: High

Generic preselection Source

Key point limit: 40,000

Tie point limit: 10,000

Počet generovaných bodů ze snímků: 39 993

Nastavení kvality tvorby	Počet bodů hustého mračna
Lowest	103 183
Low	462 793
Medium	1 903 670
High	8 583 565
Very high	41 065 901

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že nárůst počtu bodů je exponenciální a s počtem bodů exponenciálně stoupá kvalita i časová náročnost procesu.

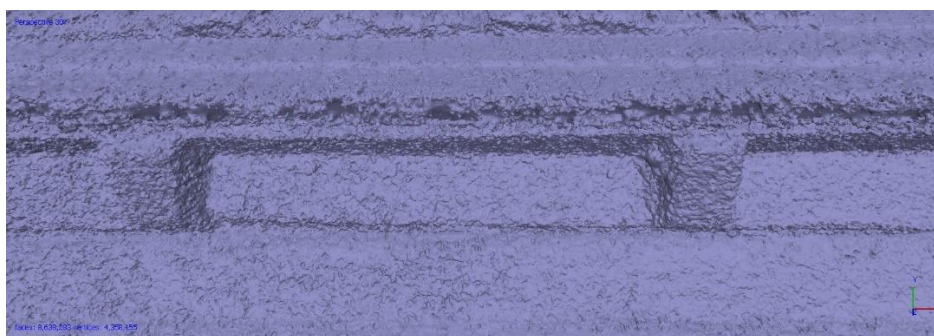
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Do počtu bodů ovšem zasahuje i takzvaný šum. S vyšší kvalitou zpracování se generuje do modelu i zvýšené množství šumu. Model je tedy sice kvalitnější, ale vyžaduje zvýšenou následnou filtraci a potlačení šumu.

6.4.1.2. Problematika tvorby modelu

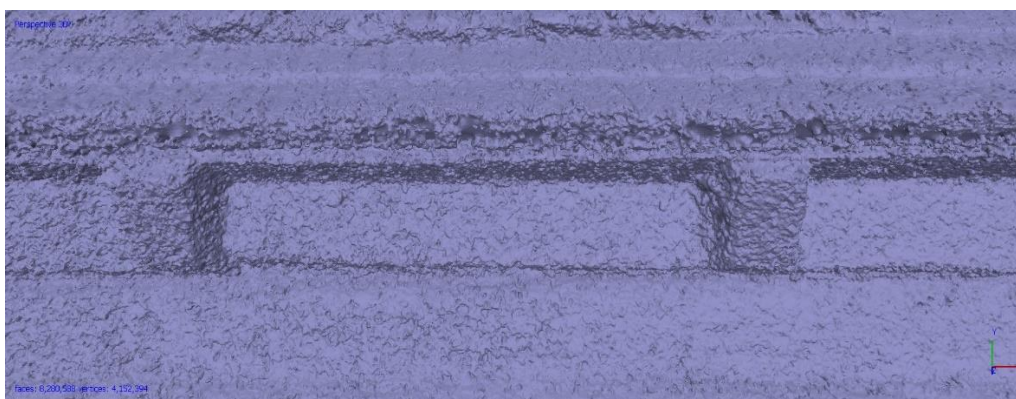
Při tvorbě modelu je třeba dbát na to, jaký model je zpracováván. Pokud je model hladký, je třeba použít jiné nastavení než u modelu s členitostí a detaily. Proto je při tvorbě modelu v Agisoft Metashape Professional možnost výběru takzvaného „depth filtering“. Tato funkce má čtyři nastavení.

Prvním z nich je „disabled“. Při tomto nastavení není uplatněna žádná filtrace bodů a výsledný model je nevyhlazený a obsahuje velké množství šumu. Pro vybraný model to v praxi znamenalo nevyhlazené hrany a členitý povrch neodpovídající skutečnému stavu. (8)



Obr. 6.5: Depth filtering - Disabled

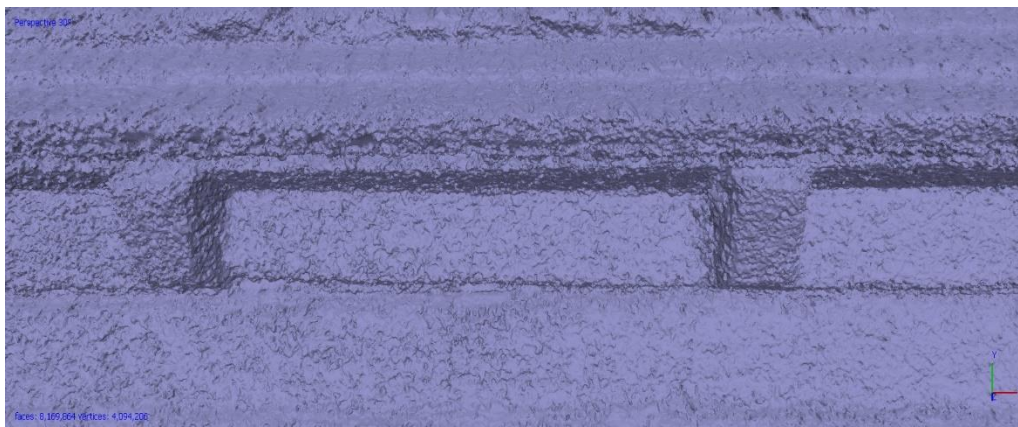
Druhým je možnost „mild“. Toto nastavení je vhodné, pokud jsou na snímaném objektu malé detaily, které je potřeba zachytit a u kterých je nežádoucí, aby byly filtrovány a zarovnávané. V praxi bylo vyhlazení lepší, než u funkce „disabled“, avšak stále obsahoval model velké množství šumu vytvářející nekvalitní členitý povrch. (8)



Obr. 6.6: Depth filtering - Mild

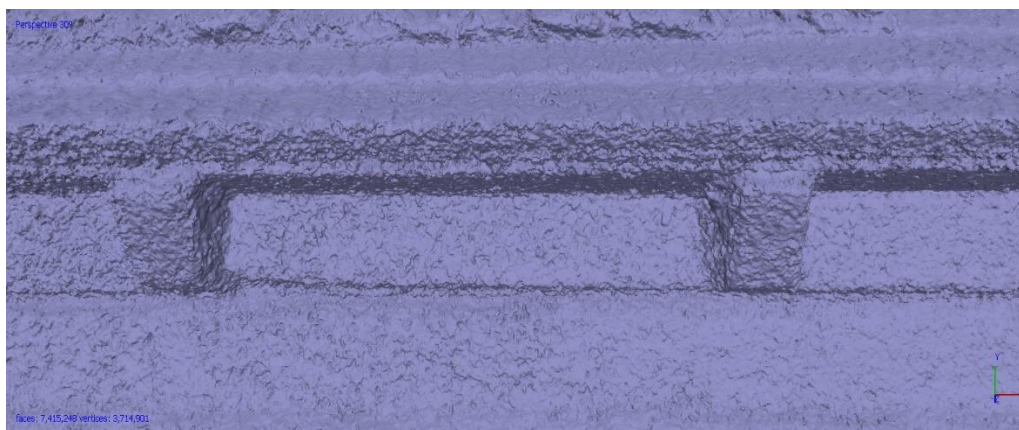
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Třetím nastavením je funkce „moderate“. Tato funkce je někde na pomezí mezi nastavením „mild“ a „aggressive“. Pro vybraný model domu však tato funkce vytvořila méně kvalitní alternativu funkce „aggressive“. (8)



Obr. 6.7: Depth filtering - Moderate

Čtvrtým a nejhodnějším nastavením je „aggressive“. Tato možnost je popisována jako nejhodnější pro nečlenité povrchy bez detailů. Pro zkoumaný model však znamenala kvalitní vyhlazení hran a povrchu bez ztráty detailů na slámové střeše. (8)



Obr. 6.8: Depth filtering - Aggressive

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

6.4.2. Cloud compare

V další části bylo do programu CloudCompare nahráno husté mračno bodů vyexportované z programu Agisoft Metashape. Byla provedena decimace mračna bodů. Tato funkce určí minimální vzdálenost mezi 2 sousedními body a body bližší odstraní. Dále byla provedena filtrace mračna bodů, která určuje poloměr koule, v níž se musí nacházet jiný bod. Pokud se v daném poloměru jiný bod nenachází, je bod odstraněn. Bylo zpracováno i porovnání dvou mračen. Výsledné zredukované mračno čítalo 26 601 364 bodů. Toto mračno bylo poté naimportováno zpět do programu Agisoft Metashape Professional a byl z něj vytvořen redukovaný model.



Obr. 6.9: Husté mračno redukované v programu CC a importované do SW AMP

1	Min dist.	0
2	Max dist.	0.0161777
3	Avg dist.	0.000120301
4	Sigma	0.000681399
5	Max error	0.00180872

Obr.6. 10: Tabulka porovnání neredukovaného a redukovaného hustého mračna v sw Cloud Compare

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

7. Zhodnocení přesnosti

V této části bude zhodnocena přesnost vytvořených hustých mračen a z nich vygenerovaných modelů.

Pro možnost transformace modelu do skutečné velikosti byla kolem modelu umístěna tři referenční měřítka. Na těchto měřítkách byla poté udána skutečná vzdálenost pro jednoznačné určení velikosti modelu a byly na ně umístěny body v dostatečné vzdálenosti.



Obr. 7.1: Snímek zobrazující rozložení měřitek

Pro objektivní zhodnocení přesnosti bylo potřeba nastavit referenční vzdálenost na různých měřítkách a v různých směrech pro to, aby bylo zřejmé, že transformace probíhá ve všech směrech stejně.

V prvním případě byla referenční vzdálenost určena na měřítku č. 3 na přední straně objektu. Vzdálenost na měřítku č. 1 se od skutečné vzdálenosti liší o 0,1 mm a u vzdálenosti kolmé na referenční je totožná odchylka jako u měřítka č. 1.

Bod-bod	Vzdálenost skutečná [cm]	Vzdálenost agisoft [cm]
4-5	8,00	8,01
6-7 (referenční)	17,00	17,00
8-9	10,00	10,01

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Ve druhém případě byla referenční vzdálenost určena na měřítku č. 1. Vzdálenost na měřítku č. 3 na přední straně se od skutečné vzdálenosti liší o 0,1 mm a vzdálenost rovnoběžná s referenční má odchylku od skutečnosti 0,1 mm.

Bod-bod	Vzdálenost skutečná [cm]	Vzdálenost agisoft [cm]
4-5(referenční)	8,00	8,00
6-7	17,00	16,9
8-9	10,00	9,99

Ve třetím případě byla referenční vzdálenost určena na měřítku č. 3 na pravé straně objektu. Vzdálenost na měřítku č. 3 na přední straně se od skutečné vzdálenosti liší o 0,1 mm a vzdálenost rovnoběžná s referenční má odchylku od skutečnosti 0,1 mm.

Bod-bod	Vzdálenost skutečná [cm]	Vzdálenost agisoft [cm]
4-5	8,00	7,99
6-7	17,00	16,9
8-9(referenční)	10,00	10

Z dosažených výsledků je patrné, že maximální rozdíl v každém směru dosahuje velikosti 0,1 mm. Z protokolu zpracovaného automatizovaně softwarem lze vyčíst total error 0.0003 m. Při měřítku 1:1 je tato odchylka zanedbatelná.



Obr. 7.2: Rozložení referenčních bodů

Body č. 4 a 5 jsou na levé straně, č. 6 a 7 jsou na přední straně a body č. 8 a 9 jsou na straně pravé.

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

8. Doporučený postup

8.1. Nastavení parametrů fotoaparátu

U nastavení parametrů záleží na mnoha faktorech. Osvětlení objektu, pozadí, jeho barevnost, atd. to vše ovlivní nastavení parametrů fotoaparátu. Doporučené číslo clony je v hodnotách $\langle f/8, f/11 \rangle$. Parametr citlivosti ISO hodnotách $\langle 400-800 \rangle$.

U tohoto parametru je třeba si všimnout zrnitosti a šumu ve výsledných snímcích. Je-li zrnitost vysoká, je doporučeno užít nižšího nastavení citlivosti ISO. Parametr odchylka expozice se pohybuje v hodnotách $\langle -1, 1 \rangle$. U tohoto parametru závisí hlavně na osvětlení snímaného objektu.

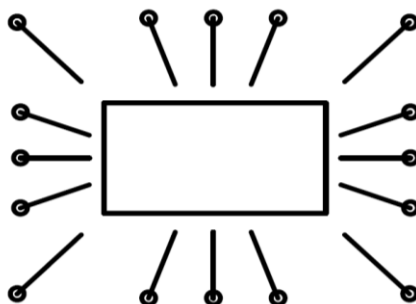
8.2. Snímkování

Před začátkem snímání je třeba zvolit vhodné osvětlení pro snímaný objekt. Nasvítit všechny jeho části rovnoměrně a pokud možno s osvětlením během snímání nemanipulovat.

Postup snímání závisí na snímaném objektu. Je-li objekt snímán celý, tzn. ze všech stran, je vhodné jej nasnímat alespoň třikrát z každé strany. První snímek kolmo na stranu objektu a další pod úhlem 15-20 stupňů oběma směry. Poté je třeba vytvořit propojovací snímky, které budou zobrazovat dvě sousední strany. Tyto snímky by měly nasnímat minimálně 60 % obou stran objektu.

Je-li snímán pouze detail či jedna strana, je vhodné nasnímat okolí detailu i detail samotný vícekrát pro zvýšení přesnosti.

Je-li objekt kruhového či nepravidelného tvaru, je třeba dbát na alespoň 60% překrytí snímků.



Obr. 8.1: Ideální směry snímání

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Snímání je doporučeno provádět v různých výškách. Ideální pro většinu případů je snímání pod třemi úhly přibližně 0 stupňů, 20 stupňů a 45 stupňů pro dostatečné prolnutí snímků a zabrání všech bodů na povrchu. Jsou-li na objektu části nesnímatelné z předchozích úhlů, je třeba doplnit snímací roviny podle potřeby.

8.3. Postprocessing

Při dostatečném počtu kvalitních fotografií lze postprocessing omezit jen na základní úpravu hodnoty stínů, světla, kontrastu a sytosti. Pokud je k dispozici šedá destička, je doporučeno provést vyvážení bíle pomocí šedé destičky a „kapátka“. Je třeba dbát na to, aby všechny snímky měly v co největší míře stejnou barevnost a světlost.

8.4. Tvorba modelu Agisoft Metashape Professional

Align photos

- Accuracy: High
 Generic preselection Source
Key point limit: 40,000
Tie point limit: 10,000
 Guided image matching
 Adaptive camera model fitting

Při požadavku na vyšší přesnost je doporučeno využít možnosti nastavení přesnosti na high, i když je tato funkce časově náročnější. Nastavení key point limit určuje nejvyšší počet bodů, které program extrahuje z jedné fotky. Pro většinu účelů postačí základní nastavení na 40,000. Tie point limit udává nejvyšší počet bodů, které budou použity pro párování snímků k sobě.

Build dense cloud

- Quality: High
Depth filtering: Aggressive
 Reuse depth maps
 Calculate point colors
 Calculate point confidence

Nastavení kvality určuje počet bodů, které budou vygenerovány v podobě hustého mračna. Depth filtering aggressive způsobuje vyhlazení výsledného mračna.

Build mesh

- Source data: Dense cloud
Surface type: Arbitrary(3D)
Face count: High
Interpolation: Enabled
 Calculate vertex colors

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

9. Závěr

Metodou nejvhodnější pro fotogrammetrickou dokumentaci vybraného fyzického modelu vesnického domu byla po zvážení dostupných metod vybrána vícesnímková fotogrammetrie pomocí fotoaparátu Nikon D700. Touto metodou byla následně zpracována dokumentace fyzického modelu malé dřevěné chaloupky.

Byl proveden sběr dat a jejich následné vyhodnocení. Pro samotnou tvorbu modelu byla využita série fotografií čítající 297 snímků. Výstupem je doporučený postup pro fotogrammetrickou dokumentaci modelů či objektů malého rozsahu. Dalším výstupem je model s přesností desetin milimetru ve skutečné velikosti.

Model má bohužel jednu stranu spodní části přesahu střechy barevně neodpovídající, přesevětlenou a dostatečně nevyhlazenou. Z pohledu z vrchu to není vidět a autor tuto chybu přehlédl a byl na ni upozorněn až v době, kdy už nebylo možné nasnímat oblast znova či zpracovat data postprocessingem a následně vytvořit model. Proč se zmíněná chyba ve výsledném modelu objevila se nepodařilo zjistit. Oblast byla fotografována podle doporučeného postupu a zpracovávána rovněž tak. Postup se tedy nelišil od jiných oblastí stejného typu, ty však danou chybou nedisponují. Taktéž bylo vygenerováno při tvorbě hustého mračna na jedné straně střechy velké množství bílých bodů, které se nepovedlo žádným způsobem vyfiltrovat. Tyto body však výsledný model nijak nepostihují, jelikož se v něm nevyskytují.

Výsledný doporučený postup popisuje dokumentaci fyzického modelu pro další využití/ publikaci. Doporučené hodnoty jsou určeny pro objekt podobné stavby a úrovně detailu, jakým je fyzický model chaloupky. Pro dokumentaci objektu s velkým množstvím detailů či jinak odlišných objektů ve formě velmi kvalitních výstupů je třeba vždy zvážit vhodnost nabízených nastavení. S hodnotami doporučenými v této práci by však mělo být ve většině případů dosaženo kvalitního výsledku u kteréhokoliv modelu.

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Seznam příloh:

- 1) Výsledná podoba projektu ze SW Agisoft Metashape Professional
 - a) použité *snímky*
 - b) textový *protokol* o výpočtu modelu (*vajner_protokol.pdf*)
 - c) *finální verze projektu* (*vajner_final.psx*)
 - d) *archivní verzi projektu* (*vajner_archiv.psz*)
- 2) export výsledného mračna bodů do *formátu* TXT (*vajner_MX_point_cloud.txt*)
- 3) export výsledného polygonového modelu do *formátu* OBJ (*vajner_MX_model.obj*)
- 4) minimálně tři sejmuté *obrázky* dokumentující kvalitu modelu *tj. pohledy na - mračno / model bez textury / model s texturou* (*vajner_MX_model_xx.jpg*)
- 5) export modelu do *formátu* 3D PDF (*vajner_MX_model_tisk.pdf*)

Seznam obrázků:

Obr. 2.1: Fyzický model vesnického domu

Obr. 3.1: Nikon D700

Obr. 3.2: AF-S DX Micro NIKKOR 40 mm f/2,8G

Obr. 4.1: Agisoft Metashape Professional – pracovní prostředí

Obr. 4.2: Cloud Compare – pracovní prostředí

Obr. 5.1: Schéma snímání metodou vicesnímkové fotogrammetrie

Obr. 5.2: Princip triangulační geometrie

Obr. 5.3: Princip obrazové korelace

Obr. 6.1: Nastavení parametrů fotoaparátu

Obr. 6.2: Pozice snímkování

Obr. 6.3: Husté mračno vysoké kvality

Obr. 6.4: Vliv kvality mračna na model

Obr. 6.5: Depth filtering – Disabled

Obr.6.6: Depth filtering - Mild

Obr.6.7: Depth filtering - Moderate

Obr.6.8: Depth filtering - Aggressive

Obr. 6.9: Husté mračno redukované v programu Cloud Compare

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Obr. 6.10: Tabulka porovnání neredukovaného a redukováného hustého mračna v sw Cloud Compare

Obr. 7.1: Snímek zobrazující rozložení měřitek

Obr. 7.2: Rozložení referenčních bodů

Obr. 8.1: Ideální směry snímkování

Bibliografie

1. **David Sedlacek, Jan Burianek, Jan Žára.** *3D Reconstruction Data Set -The Langweil Model of Prague.* 2. 2013. stránky 195-200. Sv. 2.
 2. **Zemánková, Anna.** *Detailní měřická dokumentace povrchů kamenných kvádrů.* Praha : ČVUT Praha, 2019.
 3. **Pavelka, Karel.** *Fotogrammetrie 3: digitální metody.* Praha : České vysoké učení technické, 2001. ISBN 80-01-02413-X.
 4. **Boháč, Ondřej.** *Optické korelační systémy - Průzkum a zhodnocení aktuálního stavu.* Praha : ČVUT v Praze, 2014.
 5. **Pohunek, Jan.** Modely lidové architektury z Národopisné výstavy československé v sbírkách Etnografického oddělení Národního muzea. *academia.edu.* [Online] 2015. [Citace: 22. 5 2020.] https://www.academia.edu/20299225/Modely_lidov%C3%A9_architektury_z_N%C3%A1rodopisn%C3%A9_v%C3%BDstavy_%C4%8Deskoslovansk%C3%A9_v_sb%C3%ADrk%C3%A1ch_Etnografick%C3%A9ho_odd%C4%9Blen%C3%AD_N%C3%A1rodn%C3%ADho_muzea.
 6. **Nikon D700 overview.** *Nikon.cz.* [Online] [Citace: 16. 5 2020.] https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/discontinued/digital-cameras/2018/d7100#overview.
 7. **AF-S DX Micro NIKKOR 40 mm f/2,8G overview.** [Online] [Citace: 16. 5 2020.] https://www.nikon.cz/cs_CZ/product/nikkor-lenses/auto-focus-lenses/dx/single-focal-length/af-s-dx-micro-nikkor-40mm-f-2-8g#overview.
 8. **Agisoft Metashape Professional documentation.** [Online] [Citace: 13. 5 2020.] <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>.
 9. **CloudCompare User documentation.** [Online] [Citace: 13. 5 2020.] <https://www.danielgm.net/cc/>.
 10. **CAD.cz.** [Online] [Citace: 17. 5 2020.] <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2851-3d-skenovani.html>.
- HODAČ, Jindřich.** Instruktažní videa k programu Agisoft Metashape Professional
- HODAČ, Jindřich.** Instruktažní videa k programu CloudCompare