



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

3D MODEL KAPLE PANNY MARIE SNĚŽNÉ U TVAROŽNÉ

3D MODEL OF THE CHAPEL OF OUR LADY OF THE SNOWS NEAR TVAROŽNÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vladimir Komarov

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub Nosek

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav geodézie
Student: **Vladimir Komarov**
Vedoucí práce: **Ing. Jakub Nosek**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: B0532A260001 Geodézie a kartografie

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

3D model kaple Panny Marie Sněžné u Tvarožné

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytvořte 3D model kaple Panny Marie Sněžné v Tvarožné s využitím technologie fotogrammetrie a laserového skenování.

Cíle a výstupy bakalářské práce:

- Zaměřte a určete souřadnice přirozeně signalizovaných vlíčovacích/kontrolních bodů na kapli a jejím nejbližším okolí.
- Pořídte fotogrammetrické snímky exteriéru poutní kaple Panny Marie Sněžné v Tvarožné low-cost kamerou tak, aby bylo umožněno automatizované zpracování.
- Vyhotovte georeferencovaný 3D model.
- Analyzujte dosaženou přesnost pomocí kontrolních bodů a referenčního mračna TLS včetně posouzení relativní četnosti vybočujících a odlehlých měření.
- Vyhotovte vhodnou prezentaci výsledného modelu.

Seznam doporučené literatury a podklady:

LUHMANN, Thomas, Stuart ROBSON, Stephen KYLE a Jan BOEHM, 2019. Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging [online]. 3rd revised and expanded edition. Berlin: De Gruyter [cit. 2021-10-27]. ISBN 9783110607253. Dostupné z: doi:10.1515/9783110607253

PAVELKA, Karel a Jindřich HODAČ, 2008. Fotogrammetrie 3: digitální metody a laserové skenování. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-03978-6.

ONIGA, Valeria-Ersilia, Norbert PFEIFER a Ana-Maria LOGHIN, 2018. 3D Calibration Test-Field for Digital Cameras Mounted on Unmanned Aerial Systems (UAS). Remote Sensing [online]. 10 (12) [cit. 2021-10-27]. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs10122017

YILMAZTURK, Ferruh a Ali Ersin GURBAK, 2019. Geometric Evaluation of Mobile-Phone Camera Images for 3D Information. International Journal of Optics [online]. 2019, 1-10 [cit. 2021-02-10]. ISSN 1687-9384. Dostupné z: doi:10.1155/2019/8561380

COSTANZO, Antonio, Sergio FALCONE, Rosalbino BISIGNANO, Michele STRAFACE, Giuseppe RITACCO, Carmelo La PIANA, Massimo MUSACCHIO a Francesco CALIMERI, 2018. A Smartphone Application for Supporting the Data Collection and Analysis of the Cultural Heritage Damaged during Natural Disasters. Proceedings [online]. 2 (3) [cit. 2021-02-10]. ISSN 2504-3900. Dostupné z: doi:10.3390/ecsa-4-04930

BARBERO-GARCÍA, Inés, José Luis LERMA, Ángel MARQUÉS-MATEU a Pablo MIRANDA, 2017. Low-Cost Smartphone-Based Photogrammetry for the Analysis of Cranial Deformation in Infants. World Neurosurgery [online]. 102, 545-554 [cit. 2021-02-10]. ISSN 18788750. Dostupné z: doi:10.1016/j.wneu.2017.03.015

Dokumentace k použitému software.

Odborné články v národních i zahraničních časopisech.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 30. 11. 2023

L. S.

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

Ing. Jakub Nosek
vedoucí práce

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

ABSTRAKT

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo vytvoriť georeferencovaný 3D model pútnickej kaplnky Panny Márie Snežnej v Tvarožnej s využitím technológie fotogrametrie a laserového skenovania. Pre dosiahnutie tohto cieľa boli zamerané a určené súradnice vlíčovacích a kontrolných bodov na kaplnke a v jej najbližšom okolí. Boli zhotovené fotogrametrické snímky exteriéru kaplnky low-cost kamerami, a to mobilným telefónom Xiaomi Mi 10T Pro a Dronom DJI Mavic Air 2S, ktoré umožnili automatizované spracovanie v softvéri Agisoft Metashape. V práci bola analyzovaná dosiahnutá presnosť pomocou kontrolných bodov a referenčného mračna TLS vytvoreného v softvéri Trimble RealWorks. Výsledný 3D model bol zverejnený na webovej stránke fakulty.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D model, fotogrametria, laserové skenovanie, georeferencovanie, Agisoft Metashape, Trimble RealWorks

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis was to create a georeferenced 3D model of the Pilgrimage Chapel of Our Lady of the Snows in Tvarožná using photogrammetry and laser scanning technology. To achieve this goal, the coordinates of the tie points and control points on the chapel and its immediate surroundings were measured and determined. Photogrammetric images of the chapel's exterior were taken using low-cost cameras, specifically a Xiaomi Mi 10T Pro mobile phone and a DJI Mavic Air 2S drone, which allowed for automated processing in Agisoft Metashape software. The accuracy achieved was analyzed using control points and a reference TLS point cloud created in Trimble RealWorks software. The resulting 3D model was published on the faculty's website.

KEYWORDS

3D model, photogrammetry, laser scanning, georeferencing, Agisoft Metashape, Trimble RealWorks

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOMAROV, Vladimír. *3D model kaple Panny Marie Sněžné u Tvarožné*. Brno, 2024. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Jakub Nosek.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *3D model kaple Panny Marie Sněžné u Tvarožné* zpracoval samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2024

Vladimir Komarov
autor

Obsah

1	ÚVOD	11
2	TEORETICKÝ ZÁKLAD	12
2.1	Definícia a rozdelenie fotogrametrie	12
2.1.1	Presnosť blízkej fotogrametrie	12
2.2	Low-Cost zariadenia vo fotogrametrii	13
2.3	Kalibrácia Kamery	13
2.4	Structure from Motion (SfM)	14
2.5	Brownov Model Kamery	14
2.6	Pridávané Parametre	15
2.7	Vnútoraná Orientácia kamery	15
2.8	Vonkajšia Orientácia kamery	16
2.9	Relatívna Orientácia Snímok	16
2.10	Laserové Skenovanie	17
2.10.1	Výhody a nevýhody laserového skenovania	17
2.10.2	Kombinácia Fotogrametrie a Laserového Skenovania	18
2.11	Terestrické Merania vo Fotogrametrii	18
2.12	Georeferencovanie	18
3	OBJEKT ZÁUJMU	19
3.1	POPIS LOKALITY	19
4	POUŽITÉ PRÍSTROJOVÉ VYBAVENIE	20
4.1	Totalná stanica Trimble m3	20
4.2	GNSS prijímač	21

4.3	Mobilný telefón Xiaomi Mi 10T Pro	22
4.4	Dron DJI Mavic Air 2S	23
4.5	Laser scanner FARO Focus 3D X130	23
4.6	Referenčné gule/terče	24
5	TERENNÉ PRÁCE	25
5.1	Rekognoskacia terénu	25
5.1.1	Problémová oblasť	25
5.2	Zameranie bodov a založenie PMS	26
5.2.1	PMS	26
5.2.2	Zameranie vlicovacích bodov	26
5.3	Pozemné laserové skenovanie	26
5.4	Fotogrametrické snímkovanie	27
6	SPRACOVANIE DÁT	28
6.1	Groma	28
6.2	Trimble Realworks	28
6.2.1	Import dát	28
6.2.2	Registracia	29
6.2.3	Georeferencovanie	30
6.2.4	Production	30
6.3	Agisoft Metashape	31
6.3.1	Project Xiaomi	31
6.3.2	Projekt Dron	38
6.3.3	Projekt Merge	42
6.3.4	Projekt FML	46

7	ANALÝZA PRESNOSTI	50
7.1	Analýza presnosti pomocou kontrolných bodov	50
7.2	Analýza presnosti pomocou referenčného mračna	51
8	ZÁVER	54
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	55
	ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV	57
	ZOZNAM POUŽITÝCH TABULIEK	58
	ZOZNAM PRÍLOH	59

POĎAKOVANIE Chcem poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Jakubovi Noskovi, za poskytnuté odborné rady počas spracovávania tejto práce a pomoc pri meraní. Ďalej chcem poďakovať svojej rodine, za podporu počas štúdia.

1 ÚVOD

Bakalárska práca sa zameriava vyhotovením 3D modelu s využitím dát získaných fotogrametrický a dát získaných laserovým skenovaním. Práca približuje proces snímkovania pomocou mobilného telefónu Xiaomi, dronu DJI a proces laserového skenovania pri použití skeneru FARO FOCUS 3D X130. Fotogrametrické snímky boli spracované v softvéri Agisoft Metashape Professional a na spracovanie referenčného mračna bodov bol použitý softvér Trimble Realworks v.12.2. Bakalárska práca obsahuje aj analýzy presnosti výsledných modelov hovoriace o miere približnosti vyhotovených modelov ku skutočnosti.

Daná práca je rozdelená na 3 hlavné časti. Časť teoretická popisuje metodiku tvorby a teoretický základ charakterný pre dane spracovanie. V praktickej časti je priblížený spôsob získania dát z terénu a proces ich následného spracovania. Tretia časť prezentuje výsledné grafické výstupy modelov a analyzuje dosiahnutú presnosť modelov pri spracovaní.

2 TEORETICKÝ ZÁKLAD

2.1 DEFINÍCIA A ROZDELENIE FOTOGRAMETRIE

Fotogrametria je vedný a technický obor o získavaní spoľahlivých informácií o fyzických objektoch a prostredí, zaznamenávaním, meraním a interpretáciou snímok [1]. Táto bakalárska práca sa zameriava na tieto dva hlavné typy fotogrametrie: blízku fotogrametriu a leteckú fotogrametriu, a to z dôvodu, že tieto dva typy boli použité pri zbere dát určených k tvorbe 3D modelu kaplnky.

- **Blízka Fotogrametria:** Zameriava sa na objekty v blízkom predmetovom dosahu, ako sú budovy, sochy alebo menšie objekty, ktoré vyžadujú určitú presnosť. Používa sa taktiež aj na meranie a dokumentáciu objektov. Snímkovaný objekt by sa mal nachádzať vo vzdialenosti neprekračujúcej 100m. Táto vzdialenosť môže byť flexibilná podľa požiadaviek na presnosť [2]. Existuje niekoľko spôsobov snímkovania, a to jednosnímková fotogrametria, stereo fotogrametria a konvergentné snímkovanie.
- **Letecká Fotogrametria:** Zahŕňa fotografie získané z lietadiel alebo dronov, ktoré sú vhodné pre mapovanie veľkých oblastí. Letecká fotogrametria je široko používaná v kartografii pre tvorbu ortofotomáp, digitálnych modelov terénu (DTM) a digitálnych modelov povrchu („digital surface model“ alebo DSM) [2].

Tieto dve metódy boli vybrané a použité v tejto práci z dôvodu ich efektívnosti a schopnosti pokryť dostatočný rozsah a detaily objektov, čo je nevyhnutné pri kvalitnej tvorbe 3D modelu kaplnky Panny Marie Sněžné v Tvarožné.

2.1.1 Presnosť blízkej fotogrametrie

Presnosť blízkej fotogrametrie závisí od viacerých faktorov vrátane kvality snímok, kalibrácie kamery a výberom postupu pri softvérovom spracovaní. Moderné softvérové nástroje umožňujú dosiahnuť presnosť na úrovni milimetrov až centimetrov. Kľúčové faktory ovplyvňujúce presnosť zahŕňajú:

- **Rozlíšenie snímok:** Vyššie rozlíšenie snímok umožňuje zachytiť jemnejšie detaily, čo zvyšuje presnosť modelov.
- **Geometrická konfigurácia snímok:** Správna poloha a orientácia kamery počas snímkovania zlepšuje kvalitu výsledného modelu. Snímkovanie objektu z viacerých uhlov a vzdialeností zabezpečuje dostatočné prekrytie snímok.
- **Počet a rozloženie vlicovacích bodov:** Viac vlicovacích bodov rovnomerne rozložených po celom modeli zvyšuje jeho presnosť. Kontrolné body slúžia ako referencie na overenie nadobudnutej presnosti alebo k zlepšeniu samotnej presnosti výsledného modelu.
- **Kalibrácia kamery:** Správne kalibrovaná kamera minimalizuje skreslenie a zvyšuje presnosť meraní [2].

2.2 LOW-COST ZARIADENIA VO FOTOGRAMETRII

Fotogrametria pomocou low-cost zariadení, ako sú mobilné telefóny a drony, je čoraz populárnejšia vďaka ich cenovej dostupnosti a jednoduchosti pri ich použití. Tieto zariadenia umožňujú vytvárať 3D modely bez nutnosti investovať do drahého profesionálneho vybavenia, pričom v dnešnej dobe je možné dosiahnuť presnosť i pri tomto meraní na milimetre.

Low-cost zariadenia sú ideálne pre:

- **Rýchlu dokumentáciu stavieb:** Pomocou mobilných telefónov je možné rýchlo a jednoducho získať fotogrametrické dáta.
- **Vzdelávacie účely:** Študenti a amatérski nadšenci môžu pomocou dronov a mobilných telefónov získať praktické skúsenosti s fotogrametriou. Vzdelávacie inštitúcie môžu využiť tieto zariadenia na výuku fotogrametrie bez potreby veľkých nákladných investícií.
- **Monitoring a inšpekcie:** V stavebníctve a priemysle sa zariadenia ako dron, používajú na pravidelné monitorovanie stavieb, inšpekciu strešných konštrukcií a ďalších ťažko dostupných miest [2].

2.3 KALIBRÁCIA KAMERY

Kalibrácia kamery je proces určovania parametrov vnútornej orientácie kamery, ktoré sú nevyhnutné na odstránenie systematických chýb spôsobených optickými vlastnosťami kamery. Tieto parametre zahŕňujú ohniskovú vzdialenosť, polohu hlavného bodu a koeficienty skreslenia objektívu. Správna kalibrácia je kľúčová pre minimalizáciu skreslenia a zabezpečenie presnosti fotogrametrických meraní.

Existujú dva hlavné spôsoby kalibrácie:

- **Samokalibrácia:** Vykonáva sa automaticky počas spracovania snímok pomocou technológie Structure from Motion (SfM). SfM algoritmy rozpoznávajú a potom zhodujú body na viacerých snímkach, čím umožňujú kalibráciu kamery na základe týchto zhodných bodov. Samokalibrácia je efektívna, pretože nevyžaduje špeciálne kalibračné objekty a môže byť vykonaná automaticky počas procesu spracovania.
- **Prekalibrácia:** Proces opätovnej kalibrácie kamery v takom prípade, že sa zistia nezrovnalosti v údajoch. Prekalibrácia môže byť potrebná, keď sú výsledky modelu menej presné, než sa očakávalo, alebo keď sú zistené veľké systematické chyby. Prekalibrácia môže zahŕňať použitie špeciálnych kalibračných dosiek, terčov alebo algoritmov na presné určenie parametrov kamery [2].

2.4 STRUCTURE FROM MOTION (SfM)

Používaná na trojrozmernú rekonštrukciu 3D modelov z dvojrozmerných obrazov. Vo všeobecnosti, je to odvetvie metód slúžiace ku prepojeniu súborov snímok. SfM umožňuje automatickú kalibráciu kamery a vytváranie 3D modelov z prekrývajúcich sa snímok. Princíp SfM môžeme chápať ako určenie priestorového a geometrického vzťahu objektu pomocou pohybu kamery. Postup s využitím SfM zahŕňa nasledujúce kroky:

- **Získavanie snímok:** Nasnímkovanie objektu z rôznych uhlov tak, aby sa jednotlivé snímky prekrývali.
- **Detekcia a zhodovanie bodov:** Automatické vyhľadávanie spojovacích bodov na viacerých snímkach. Znamená to, že sa identifikuje záujmový bod najskôr na prvom snímku a potom sa ten istý bod identifikuje na ďalších snímkach. Tým sa docieli bodová zhoda medzi snímkami.
- **Kalibrácia a orientácia kamery:** Určenie vnútorných a vonkajších parametrov kamery pomocou algoritmov SfM. Tento krok zabezpečuje správnu geometriu a orientáciu snímok.
- **Rekonštrukcia 3D modelu:** Vytvorenie hustého mračna bodov a následne mesh modelu z rekonštruovaných bodov. Tieto modely sú potom ďalej spracované na finálne 3D modely [3].

2.5 BROWNOV MODEL KAMERY

Brownov model kamery opisuje geometrické skreslenie v kamerách spôsobené optickými vadami (distorzia objektívu). Jeho hlavnou úlohou je korigovať geometrické deformácie obrazu, ktoré vznikajú v dôsledku nedokonalostí optického systému kamery. Tento model zahŕňa nasledujúce parametre:

- **Radiálne skreslenie:** Skreslenie, pri ktorom sa body zdajú byť bližšie alebo ďalej od stredu snímky, než v skutočnosti sú. Radiálne skreslenie je často spôsobené nesúmerným ohniskom objektívu. Rovnako to môže zapríčiniť aj geometrické nepresnosti spôsobené pri výrobe objektívu. Parametre radiálneho skreslenia sú zvyčajne označované ako k_1 , k_2 a k_3 .
- **Tangenciálne skreslenie:** Vada spôsobená nesúmernosťou objektívu, kde body nie sú rovnomerne rozložené okolo stredu snímky. Tento typ skreslenia vzniká v dôsledku nesprávneho zarovnaní tzv. centrácie jednotlivých šošoviek v objektíve. Parametre tangenciálneho skreslenia sú označované ako p_1 a p_2 . Dané skreslenie sa z dôvodu problematickej kompenzácie a celkovo malého vplyvu v novodobých objektívoch vypúšťa.
- **Decentrálne skreslenie:** Vada spôsobená tým, že optická os objektívu nie je presne zarovnaná s osou snímača kamery. Tento typ skreslenia môže byť spôsobený výrobnými nedokonalosťami a je zvyčajne menej výrazný ako radiálne a tangenciálne skreslenie [4].

2.6 PRIDÁVANÉ PARAMETRE

Slúžia na kompenzáciu systematických chýb a zlepšenie presnosti modelov. Pridávané parametre sú často integrované do softvérových nástrojov na spracovanie fotogrametrických dát a pomáhajú minimalizovať chyby spôsobené nesprávnou kalibráciou alebo nepresným nastavením kamery. Tým sa zvyšuje kvalita a presnosť výsledných 3D modelov.

Tieto parametre zahŕňajú:

- **Korekcie skreslenia objektívu:** Úpravy na odstránenie radiálneho a tangenciálneho skreslenia. Presná korekcia týchto skreslení zabezpečuje vyššiu presnosť modelov. Parametre pre korekciu skreslenia sú zahrnuté v Brownovom modeli a zahŕňajú koeficienty k_1 , k_2 , k_3 pre radiálne skreslenie a p_1 , p_2 pre tangenciálne skreslenie.
- **Korekcie chromatickej aberácie:** Úpravy na odstránenie farebných okrajov spôsobených rozkladom svetla. Chromatická aberácia môže znižovať kvalitu a presnosť fotogrametrických modelov. Korekcia chromatickej aberácie zahŕňa kompenzáciu rozdielov vo vlnovej dĺžke svetla, ktoré sú spôsobené lomom svetla v šošovkách objektívu.
- **Kompenzácia vplyvu osvetlenia:** Úpravy na elimináciu vplyvu nejednotného osvetlenia na snímky. Správna kompenzácia osvetlenia je dôležitá pre minimalizáciu chýb spôsobených nerovnomerným osvetlením objektu. Tento parameter môže zahŕňať úpravy expozície, vyváženie bielej a redukciu tieňov [5].

2.7 VNÚTORNÁ ORIENTÁCIA KAMERY

Vnútoraná orientácia určuje geometrické vlastnosti paprskov v kamere, ktoré sú potrebné pre presnú rekonštrukciu 3D modelu. Zahŕňa parametre, ktoré opisujú internú geometriu snímača, ako sú poloha hlavného bodu a ohnisková vzdialenosť. Tieto parametre definujú umiestnenie projekčného centra v snímkovom súradnicovom systéme.

Parametre vnútornej orientácie sú označované nasledovne:

- **Ohnisková vzdialenosť (f):** Vzdialenosť medzi hlavným snímkovým bodom a stredom premietania v obrazovom priestore, ktorá ovplyvňuje mierku a perspektívu snímky. Ohnisková vzdialenosť je jedným z najdôležitejších parametrov pre správne meranie a modelovanie.
- **Poloha hlavného snímkového bodu (H')** Poloha, kde optická os pretína snímač, ktorá musí byť presne určená pre správnu kalibráciu. Definovaný môže byť tak isto ako priesečník roviny snímku s paprskom prechádzajúcim v obrazovom priestore stredom premietania a zároveň kolmý na rovinu snímku. Je počiatkový bod snímkového súradnicového systému. Hlavný bod je kľúčový pre elimináciu skreslenia a jeho súradnice sú zvyčajne udávané v pixeloch na snímači kamery.
- **Koeficienty skreslenia (k_1 , k_2 , k_3 , p_1 , p_2):** Hodnoty, ktoré popisujú radiálne a tangenciálne skreslenie spôsobené optickými vadami. Označujú sa ako distorzia objektívu. Presná kalibrácia týchto koeficientov je nevyhnutná pre minimalizáciu chýb v modeloch [6].

2.8 VONKAJŠIA ORIENTÁCIA KAMERY

Parametry danej orientácie sa vzťahujú ku snímku. Vonkajšia orientácia určuje polohu a orientáciu kamery v priestore v čase snímania. Tento proces zahŕňa určovanie externých parametrov kamery, ktoré popisujú jej polohu a orientáciu v objektovom súradnicovom systéme. Parametre vonkajšej orientácie zahŕňajú:

- **Súradnice stredu premietania tzv. súradnice projekčnej schémy (X_0, Y_0, Z_0):** Určujú polohu kamery v objektovom súradnicovom systéme. Tieto súradnice sú kľúčové pre georeferencovanie a správne umiestnenie modelu v priestore. Polohové súradnice sú zvyčajne určené pomocou GNSS alebo inou geodetickou metódou.
- **Uhly pootočenia (ω, φ, κ):** Určuje rotáciu kamery okolo troch osí, čo je potrebné pre správne zarovnanie snímok. Tieto parametre popisujú sklon kamery voči referenčnému súradnicovému systému a sú kritické pre rekonštrukciu trojrozmernej geometrie objektu [7].

2.9 RELATÍVNA ORIENTÁCIA SNÍMOK

Relatívna orientácia je proces vzájomného zarovnania dvoch a viacerých snímok tak, aby zodpovedali ich vzájomnej polohe v priestore a tým vytvorili stereoskopický model. V prípade vyhodnotenia snímkovej dvojice pomocou relatívnej orientácie musí predpoklad danej orientácie spĺňať podmienku komplanarity. Tato podmienka požaduje aby bod na objekte ležal v jednej rovine s projekčnými centrami snímkovej dvojice. Absolútna orientácia je teda proces pootočenia a posun modelu. Tento proces je základný pre tvorbu 3D modelov a zahŕňa tieto body:

- **Detekcia zhodných bodov:** Relatívna orientácia začína detekciou nadväzovacích bodov na dvoch alebo viacerých snímkach.
- **Výpočet polohy a orientácie:** Po detekcii nadväzovacích bodov sa vypočíta relatívna poloha a orientácia kamier. Tento krok zahŕňa riešenie sústavy rovníc, ktoré popisujú vzťah medzi zhodnými bodmi a pozíciami kamier.
- **Optimalizácia modelu:** Model sa optimalizuje na základe detekovaných nadväzovacích bodov a parametrov orientácie. Optimalizácia zahŕňa metódy na minimalizáciu chýb a zlepšenie presnosti zarovnania [8].

2.10 LASEROVÉ SKENOVANIE

Laserové skenovanie je metóda, ktorá využíva laserové lúče na meranie vzdialeností pulznou laserovou technológiou medzi skenerom a určovaným bodom na princípe priestorovej polárnej metódy (dĺžka, horizontálny a vertikálny uhol). Táto metóda dokáže zamerať vysoký počet bodov v minimálnom rozostupe za krátky čas a tým pokryť rozsiahle plochy. Súradnice bodov sú určené v lokálnom súradnicovom systéme. Konkrétne je laserový skener vysokofrekvenčný laserový diaľkomer, ktorého paprsok je automaticky pomocou optickej sústavy rozmetaný do zorného poľa skeneru. Základne všeobecné rozdelenie laserového skenovania je:

- **Terestrické Laserové Skenovanie (TLS):** Používa pevne umiestnené skenery na zemi, ktoré poskytujú vysoko presné a detailné mračná bodov. Skenery sú schopné zachytiť veľmi podrobné informácie o geometrii objektov, čo je dôležité pre modelovanie a analýzu.
- **Mobilné Laserové Skenovanie:** Skenery namontované na vozidlách alebo dronoch umožňujú rýchly a efektívny zber dát z pohyblivých platforiem. Táto technika je vhodná pre mapovanie komunikácií, železníc alebo mestských častí. Mobilné skenery sú vybavené systémami na určovanie polohy a orientácie, čo umožňuje georeferencovanie získaných dát.
- **Aerial Laserové Skenovanie (LiDAR):** Používa skenery namontované na lietadlách alebo na dronoch, ktoré sú určene pri zbere dát veľkých oblastí. Táto technika je ideálna pre mapovanie lesov a rozsiahlych krajinných oblastí [9].

2.10.1 Výhody a nevýhody laserového skenovania

- **Výhody:**
 - **Vysoká presnosť:** Laserové skenery dokážu zachytiť údaje s presnosťou na milimetre, čo je ideálne pre modelovanie a meranie.
 - **Rýchlosť zberu dát:** Laserové skenery môžu rýchlo zhromaždiť veľké množstvo dát, čo umožňuje časovo efektívne mapovanie a dokumentáciu veľkých oblastí.
 - **Možnosť skenovania zložitých geometrických tvarov:** Laserové skenery môžu zachytiť zložité a nepravidelné tvary, čo je ťažké dosiahnuť inými metódami.
- **Nevýhody:**
 - **Vysoké náklady:** Laserové skenery a softvér na spracovanie dát môžu byť veľmi drahé, čo môže byť pre niektoré projekty finančne náročné. Nákladovo je vybavenie a školenie personálu napríklad pre menšie firmy alebo projekty problematické.
 - **Potreba špecializovaných znalostí:** Spracovanie a analýza dát z laserového skenovania vyžaduje špecializované znalosti a skúsenosti, čo môže obmedziť prístupnosť tejto technológie. Odborníci na laserové skenovanie musia mať dôkladné znalosti o softvérových nástrojoch a metodikách spracovania dát [9] [10].

2.10.2 Kombinácia Fotogrametrie a Laserového Skenovania

Kombinácia fotogrametrie a laserového skenovania využíva výhody oboch technológií, čím sa môže dosiahnuť vyššia presnosť a detailnosť výsledných 3D modelov. Fotogrametria poskytuje farebné a textúrové informácie, zatiaľ čo laserové skenovanie prispieva ku geometrickej presnosti [11].

2.11 TERESTRICKÉ MERANIA VO FOTOGRAMETRII

Terestrické merania vo fotogrametrii zahŕňajú použitie rôznych geodetických nástrojov a techník na určenie polohy a orientácie objektov na zemi. Tieto merania sú kľúčové pre georeferencovanie fotogrametrických dát, čo znamená priradenie súradníc k digitálnym obrazom alebo modelom. Terestrické merania môžeme vykonať napríklad pomocou nasledujúceho prístrojového vybavenia použitého aj v tejto práci:

- **Totálne stanice:** Funguje na princípe elektronického merania vzdialenosti zároveň s uhlovým meraním, čo umožňuje presné určenie polohy bodov. Totálne stanice sú široko používané v geodézii na určovanie presných súradníc kontrolných a vlicovacích bodov, ktoré sú následne v tomto prípade použité pri spracovaní fotogrametrických dát.
- **GNSS prijímače:** Umožňujú určovanie priestorových súradníc pomocou globálnych navigačných satelitných systémov. Na základe aparatúry je možné využiť viac možných systémov. Príkladom sú americký systém GPS (Global Positioning System), ruský GLONASS, európsky Galileo alebo čínsky BeiDou. V tejto práci bola použitá technológia GNSS a konkrétne metóda RTK (Real-Time Kinematic). Táto metóda využíva korekčné dáta z referenčnej stanice, ktorej súradnice poznáme. Korekčné dáta sú prenášané do roveru (pohybujúceho sa GNSS prijímača), čo umožňuje okamžité opravy polohy [12] [13].

2.12 GEOREFERENCOVANIE

Georeferencovanie je v tejto bakalárskej práci chápaná ako proces transformácie mračien bodov z lokálneho súradnicového systému do potrebného geodetického súradnicového systému. Vykonáva sa pomocou priradenia známych súradníc vlicovacích bodov, ktoré sú určené pomocou geodetických metód, ku digitálnym dátam, ako sú snímky, mapy alebo modely. Tak isto umožňuje využitie dát pre rôzne analýzy a vizualizácie. Georeferencované dáta môžu byť použité na tvorbu digitálnych modelov terénu, analýzu zmien krajiny a tak isto plánovanie alebo prezentáciu stavieb.

Proces georeferencovania zahŕňa nasledujúce kroky:

- **Výber vlicovacích bodov:** sú to body na snímkach, ktorých súradnice sú presne určené. Tieto body slúžia pre priradenie súradníc k digitálnym dátam.
- **Transformácia súradníc:** Vlicovacie body sú použité na výpočet transformačných parametrov, ktoré umožňujú priradenie súradníc k všetkým bodom na snímke alebo v konkrétnom modeli. Transformácia môže zahŕňať rôzne typy transformačných modelov, ako sú napríklad afinné a polynomicke transformácie [14] [15].

3 OBJEKT ZÁUJMU

3.1 POPIS LOKALITY

Oblasť v okolí kaplnky Panny Marie Sněžné na kopci Santon v Tvarožné je bohatá na historické zaujímavosti. Táto lokalita je úzko spojená s bitkou pri Slavkove (Austerlitz) z roku 1805, jednou z najvýznamnejších bitiek napoleonského vojnového ťaženia. Kopec Santon sám o sebe predstavuje prírodnú pamiatku vďaka výskytu chránených a vzácných rastlín a živočíchov. Jeho význam počas bitky pri Slavkove ako strategický bod na severnej časti bojiska zvýrazňuje jeho historickú dôležitosť.

Okolie kaplnky a kopca Santon dnes láka návštevníka nielen svojou históriou, ale aj prírodnou krásou. Vedľa historických pamätných dosiek a kópii kanónu Gríbeauval, ktoré pripomínajú bitku, sa tu nachádza aj niekoľko ďalších pamiatok. Medzi nimi je Kosmákův kríž, venovaný pamiatke rozlúčení farára z Tvarožné, Václava Kosmáka, s miestnymi občanmi, a pomník generála Valhuberta, venovaný pamiatke francúzskeho brigádneho generála, ktorý zomrel na následky zranení získaných v bitke pri Slavkove.

Navštíviť tuto oblasť znamená prehľbiť svoje pochopenie historických udalostí, ktoré sa zúčastnili ku formovaniu Európy so súčasným využitím prírodných krás južnej Moravy [16].



Obrázok č. 1 Kaple Panny Márie Sněžné [16]

4 POUŽITÉ PRISTROJOVÉ VYBAVENIE

4.1 TOTALNÁ STANICA TRIMBLE M3

Totálna stanica Trimble M3 slúži na geodetické meranie a mapovanie terénu. Funguje na princípe elektronického merania vzdialenosti spolu s uhlovým meraním, čo umožňuje presné určenie polohy bodov. Je vybavená softvérom pre zber dát „Direct Reflex“ (priamy reflex) a technológiou pre meranie bez potreby hranolu [17].

V danom spracovaní projektu bola používaná totálna stanica na zameranie vličovacích a kontrolných bodov.

Tabuľka č.1 Popis parametrov totálnej stanice [17]

Parameter	Hodnota parametru
Výrobné číslo	D036482
Zväčšenie ďalekohľadu	30x
Smerová presnosť	2"
Presnosť meraných dĺžok	2 mm + 2 ppm (hranol) 3 mm + 2 ppm (bez hranol)
Dosah diaľkomeru	1,5 - 5000 m (hranol) 1,5 - 300 m (bez hranol)



Obrázok č. 2 Totálna stanica Trimble M3 [17]

4.2 GNSS PRIJÍMAČ

Trimble R8s je flexibilní GNSS přijímač, který podporuje sledování mnohých satelitných systémů zahrnující GPS, GLONASS, Galileo a BeiDou [18].

Pomocou GNSS přijímača Trimble R8s metódou RTK (využitie CZEPOS iMAX) sa určili súradnice pomocnej meračskej siete, z ktorých boli následne namerané vlicovacie a kontrolné body totalnou stanicou.

Tabuľka č.2 Popis parametrov GNSS prijímača [18]

Parameter	Hodnota parametru
RTK meranie (dĺžka základne<30km)	
Poloha	8 mm + 1 ppm
Výška	15 mm + 1 ppm
Sieťové RTK (k najbližšej fyzickej základňovej stanici)	
Poloha	8 mm + 0,5 ppm
Výška	15 mm + 0,5 ppm
Inicializácia	<8 s (spoľahlivosť >99,9%)
Družicové signály	GPS, GLONASS, SBAS, Galileo, BeiDou



Obrázok č. 3 Prijímač GNSS Trimble R8s [18]

4.3 MOBILNÝ TELEFÓN XIAOMI MI 10T PRO

Xiaomi Mi 10 T Pro je ideálny pre fotogrametriu vďaka jeho 108MP hlavnému fotoaparátu, ktorý umožňuje zachytenie detailných snímok. Tento mobilný telefón, uvedený v roku 2020, ponúka vysoký výkon s Qualcomm Snapdragon 865, 6.67 palcovým displejom s obnovovacou frekvenciou 144 Hz, a veľkou 5000mAh batériou. Jeho pokročilé fotoaparáty a silný hardvér robia z Mi 10 T Pro vynikajúci nástroj pre fotogrametrické projekty a aj každodenné použitie [19].

Mobilným telefónom sme objekt nasnímkovali zo zeme, za účelom získania fotogrametrických dát potrebných ku spracovaniu.

Tabuľka č.3 Popis parametrov mobilného telefónu [19]

Parameter	Hodnota parametru
Typ snímača	ISOCELL
Typ zariadenia	Mobilný telefón
Rozlíšenie fotografií	12032 x 9024
Rozlíšenie fotoaparátu	108 Mpx
Veľkosť pixelu	0,8 μm
Hmotnosť	218 g



Obrázok č. 4 Mobilný telefón Xiaomi Mi 10 T Pro [19]

4.4 DRON DJI MAVIC AIR 2S

DJI Air 2S je dron vhodný pro geodetické práce, umožňujúce GPS+GLONASS polohovanie s 31 minútovou výdržou batérie. S technológiou „OcuSync 3.0“ pre stabilný dátový prenos a integrovanými bezpečnostnými funkciami, zahŕňajúc systém detekcie prekážok, je Air 2 S ideálny pre zber dát a letecký prieskum v rôznych terénoch [20].

Dronom sme snímkovali záujmový objekt a jeho okolie. Detailné bola nasnímkovaná vežička objektu.

Tabuľka č.4 Popis parametrov dronu [20]

Parameter	Hodnota parametru
Hmotnosť	570 g
Maximálny dosah	10000 m
Maximálna výška	500 m
Maximálna výška nad morom	5000 m
Maximálna rýchlosť	68 km/h
Kamera	Integrovaná



Obrázok č. 5 Dron DJI Mavic Air 2S [20]

4.5 LASER SCANER FARO FOCUS 3D X130

FARO Focus 3D X130 je kompaktný 3D laserový skener s dosahom až 130 metrov, vhodný pre rôzne typy využitia napríklad v architektúre a forenzných vedách. Dokáže uskutočniť vysokorýchlostné skenovanie a je vybavený integrovaným GPS [21].

Skenery sme rozmiestnili dookola záujmového objektu za účelom nadobudnutia mračien bodov. Celkovo sa použili dva skenery Faro Focus X130 A a Faro Focus X130 B, ktoré skenovali objekt sústavne a zároveň. Získané mračna sa spojovali do výsledného georeferencovaného mračna bodov, ktoré sa použilo ako referenčné mračno v analýzach presnosti.

Tabuľka č.5 Popis parametrov laserového skeneru [21]

Parameter	Hodnota parametru
Značka	Faro
Maximálny možný rozsah	0,6 m - 130 m
Horizontálny/ Vertikálny	360°/300°
Maximálna rýchlosť skenovania	976000 bodov/s



Obrázok č. 6 Laser Scanner FARO Focus 3D x130 [21]

4.6 REFERENČNÉ GULE/TERČE

Vo fotogrametrii a laserovom skenovaní sa referenčné gule alebo terče často používajú ako nadväzovacie body, ktoré pomáhajú pri orientácii naskenovaných mračien bodov a fotogrametrických dát. Tieto objekty sú navrhnuté tak, aby boli ľahko rozpoznateľné na snímkach alebo v dátových mračnách, čo umožňuje automatické alebo poloautomatické ich rozpoznanie a spárovanie v rôznych datasetoch alebo pohľadoch [22].

5 TERENNÉ PRÁCE

Terénne práce prebehli v dvoch nasledujúcich etapách:

- Prvá etapa bola zrealizovaná s pomocou Ing. Jakuba Noska, pri ktorej boli vykonané nasledovné činnosti zoradené podľa ich časového priebehu:
 - Rekognoskácia
 - Založenie pomocnej meračskej siete
 - Zameranie vlicovacích a kontrolných bodov
 - Laserové skenovanie
- Druhá etapa bola zrealizovaná obdobne s pomocou Ing. Jakuba Noska a Bc. Mateja Petránka, kde sa vykonali nasledovné činnosti zoradené podľa ich časového priebehu:
 - S využitím metódy GNSS zameranie vlicovacích a kontrolných bodov určených pre spracovanie fotogrametrických dát
 - Fotogrametrické snímkovanie s pomocou mobilného telefónu
 - Fotogrametrické snímkovanie s využitím dronu, ktorý bol poskytnutý Bc. Matejom Petránkom.

5.1 REKOGNOSKACIA TERÉNU

Rekognoskácia v geodézii, a konkrétne vo fotogrametrii, je prieskumný proces, ktorý sa zameriava na zhromažďovanie informácií o určitom objekte alebo území pred samotným začatím podrobnejšieho geodetického alebo fotogrametrického merania.

Rekognoskácia týkajúca sa tejto práce sa robila pred meraním, v samotný deň realizácie prvej etapy. Deň pred meraním bolo zisťované, či existujú v blízkosti kaplnky body štátneho bodového poľa, ktoré by mohli byť využité. Takéto body v danej lokalite neboli, a preto bola zvolená možnosť založiť pomocnú meračskú sieť (ďalej PMS) pomocou technológie GNSS metódou RTK. Následne z bodov PMS sme zameriavali vlicovacie a kontrolné body. Dookola kaplnky sme rozmiestnili guľovité terče, ktoré boli následne využité pri spojení mračien bodov, získaných laserovým skenovaním. Tieto terče nemali svoje súradnice a považovali sa za naväzovacie. Tak isto sme rozmiestnili ploché čierno-biele šachovnicové terče, ktorých stred bol zameraný výškovo a polohovo, a to za účelom následnej georeferencie mračna bodov získaného skenovaním.

5.1.1 Problémová oblasť

Pri rekognoskácii sa vyjaviť problémová oblasť pre laserové skenovanie a fotogrametrické snímkovanie. Problém spočíval v tom, že blízko záujmového objektu bolo krovie a počiatok sklonu kopca, ktoré zabraňovalo rozmiestneniu skenera v pravidelnom rozostupe pri rozmiestnení skenerov. Rovnaký problém nastal aj pri snímkovaní zo zeme, kde sa napríklad nemohla v danej oblasti zachovať rovnaká vzdialenosť snímkovania od objektu v pravidelnom uzavretom reťazci, obkolesujúci objekt.

5.2 ZAMERANIE BODOV A ZALOŽENIE PMS

5.2.1 PMS

Pred samotným podrobným zameraním vlicovacích a kontrolných bodov kaplnky, museli byť určené súradnice bodov PMS (body 4001 - 4004). Rozpoloženie bodov bolo rozmiestnené tak, aby z každého bodu PMS bolo vidieť na nasledujúci a predchádzajúci bod siete. Tieto body sa po celú dobu nemenili a boli z nich následne zamerané vlicovacie a kontrolné body. Súradnice bodov PMS boli zamerané technológiou GNSS metódou RTK a to tak, že GNSS prijímač bol pripevnený na statív. Dôvodom polohy prijímača na statív bolo zníženie chýb z excentricity. Pri meraní technológiou GNSS boli dodržiavané pokyny a požiadavky voči platnej vyhláške č.31/1995 Sb., *Výhláška, ktorou sa prevádza zákon o zememěřictví*. Všetky body PMS boli určené dvakrát nezávisle pomocou Trimble R8s, s časovým odstupom cca 1 hodina 15minut. Observačná doba na každom bode bola minimálne 20 sekúnd. Maximálna hodnota parametru PDOP dosiahla 2.64.

5.2.2 Zameranie vlicovacích bodov

Po určení súradníc bodov PMS sme na lavičkách z každej strany rozmiestnili šachovnicové terče. Tie sme následne zamerali terestrický. Ďalej sme na jeden zo statívov bodov PMS postavili totálnu stanicu. Z nich boli zamerané smery a dĺžky v dvoch polohách d'alekohľadu. Body PMS boli signalizované odrazovými hranolmi (s súčtovou konštantou udávanou výrobcom “– 30 mm“) a rozmiestnené na trojpodstavcovej podložke upevnenej ku statívu.

Pre meranie samotných vlicovacích a kontrolných bodov, bol použitý odrazový minihranol so súčtovou konštantou 0 mm. Neprístupné body boli zamerané bezhranolovým módom merania. Šachovnicové terče boli zamerané bezhranolovým módom merania s cieľom do stredu terča, kde sa zbíhali všetky 4 štvorce. Celkovo tak boli určené polohovo a výškovo súradnice vlicovacích bodov o počte 34.

5.3 POZEMNÉ LASEROVÉ SKENOVANIE

Po zameraní vlicovacích a kontrolných bodov, nasledovalo pozemné laserové skenovanie. Po obvode sme rozmiestnili guľové terče s priemerom 14 cm a to tak, aby každý jeden nasledovný umiestnený skener mohol nasnímať aspoň dva guľové terče. Tato podmienka tak následovne umožňuje, aby sa mohli jednotlivé mračna bodov spoľahlivo zlúčiť. Guľové terče boli umiestnené v rôznych výškových úrovniach za účelom možného spresnenia, a to pomocou trojpodstavcového statívu určeného pre terče. Jednu guľu sme pripevnili pomocou magnetického držiaku určeného na kovové predmety. Celkovo pomocou oboch skenerov bolo naskenovaných 15 mračien bodov. Skenovalo sa dvomi prístrojmi súčasne za účelom časového zefektívnenia práce.

5.4 FOTOGRAMETRICKÉ SNÍMKOVANIE

Fotogrametrické snímkovanie bolo uskutočnené pomocou nasledujúcich snímačov:

- Mobilným telefónom (188 získaných snímok)
- Dronom (524 získaných snímok)

Pri snímkaní bolo potrebné zohľadniť ovplyvňujúci potencionálne problémový faktor vplyvu počasia a vybrať optimálne podmienky. Deň snímkovania sme vybrali taký, aby kaplnka nebola priamo osvetlená slnkom, čiže počas väčšieho zaťaženia oblakov. Snímkovanie prebehlo v obedňajších hodinách kvôli rozptylu svetla. Snažili sme dodržať pravidelný rozstup medzi miestami z ktorých sa snímkovalo. Cieľ daného dodržania rozostupu bol ten, aby bolo dosiahnuté postačujúce pravidelné prekrytie medzi snímkami. Stanoviská z ktorých sme snímkovali mobilným telefónom boli približne v rovnakej vzdialenosti od objektu. Kvôli problémovej oblasti (víc kapitola 5.1.1) bolo snímkovanie z jednej strany objektu uskutočnené z kratšej vzdialenosti. V momente expozície, sme sa vyvarovali zachytávaniu lesklých povrchov priamo osvetlených slnkom. Pomocou dronu sme objekt nasnímkovaný v rôznych výškových úrovniach a to v troch etapách. Prvá etapa bol automatizovaný let v jednej výškovej úrovni nad kaplnkou, ktorý s pravidelným rozstupom snímkoval kaplnku a jej okolie. V druhej etape došlo ku detailnejšiemu snímkovaniu vežičky v rôznych výškových úrovniach, s rovnakým rozstupom snímkovania a s rovnakou vzdialenosťou medzi dronom a vežičkou. V poslednej etape bolo prevedené snímkovanie celého objektu tak isto v rôznych výškových úrovniach, dookola celého objektu a s približne rovnakou vzdialenosťou medzi dronom a objektom.

6 SPRACOVANIE DÁT

6.1 GROMA

Softvér GROMA v. 13.0. (ďalej Groma) poslúžila na vyrovnanie súradníc bodov PMS a výpočet súradníc vlicovacích a kontrolných bodov.

Krátky proces spracovania dát v Grome bol nasledovný:

- Zápisník vo formáte „ZAP“ z merania totálnou stanicou a textový súbor spriemerovaných súradníc z merania GNSS boli importované do Gromy.
- S využitím zápisníku o meraniach medzi bodmi PMS totálnou stanicou, sme súradnice bodov PMS vyrovnali ako voľnú sieť bez využitia kartografického skreslenia dĺžok pri prvotných nastaveniach.
- Súradnice z terestrického merania vlicovacích a kontrolných bodov, boli následne vypočítané pomocou funkcie „Polárna dávka“ (polárna metóda) z vyrovnaných súradníc bodov PMS.
- Výsledný zoznam súradníc vlicovacích a kontrolných bodov obsahoval 34 bodov (1-34)

6.2 TRIMBLE REALWORKS

Softvér Trimble RealWorks V. 12.0 (ďalej RealWorks) sa použil na spracovanie dát z laserového skenovania. Daný softvér bol zvolený na základe odporúčania vedúceho práce Ing. Jakuba Noska.

Skrátený postup spracovania bol nasledovný:

- Import jednotlivých mračien bodov
- Vyhotovenie jednotného mračna bodov
- Georeferencovanie mračna bodov pomocou vlicovacích bodov vypočítaných v Grome

Vyhotovené mračno sa použilo v analýzach presnosti a tak isto na zakrytie dier v mračnách vyhotovených z fotogrametrických dát.

6.2.1 Import dát

Jednotlivé naskenované mračna bodov majú formát „fls“. Možnosti pri importe dát boli zvolené nasledovné:

- „Tilt and Compass“ (Naklonenie/Zhorizontovanie): Táto funkcia importuje informácie o náklone a orientácii zariadenia, ktoré bolo použité pri skenovaní. Daná možnosť je vhodná pre korekciu skenovaných dát, aby odzrkadľovali reálnu situáciu tak, ako boli objekty skutočne orientované v priestore.
- „Color“ (Farba): Do importovaných dát sa zahrnú aj farebné informácie o bodoch, ak sú dostupné. Toto je užitočné pre vizuálne analýzy, keďže farba jednotlivých detailov môže poskytovať dôležité informácie o materiáloch objektov v mračne bodov.

Nasledovne sme vytvorili komprimované mračna bodov jednotlivých skenov. RealWorks poskytuje viac možností vo výbere funkcií, určených pre vytvorenie komprimovaných mračien zo skenov, s rôznymi možnými riešeniami priblíženia nadobudnutých dát ku skutočnému stavu.

Použitá funkcia „Create Sampled Scans“ umožňuje efektívne spracovať veľké množstvo dát tým, že redukuje počet bodov v mračne s možnosťou zachovať určité informácie, potrebné ku vypracovaniu. Pri nastavení v danej funkcii, sme zvolili nastavenie „Sampling by step“. Toto nastavenie umožňuje výpočet vzorkovania bodov podľa určenia veľkosti tzv. kroku. Dané nastavenie zvoli počet krokov (alebo intervalov), ktorým sa určí koľko bodov bude vynechaných medzi vzorkovanými bodmi. U zvolenej možnosti sme nastavili redukcii bodov pomocou vzdialenosti od skeneru na 30 m (nebudú sa počítať body v nepotrebnnej vzdialenosti). Z dôvodu, že sme mračno riediť nechceli, aby bolo výsledné mračno čo najviac priblížené skutočnosti, sme zvolili krok na hodnotu 1 pixel.

6.2.2 Registracia

Registrácia mračien znamená spojovanie jednotlivých mračien do jedného. Na registráciu mračien sme mali viac možností, pričom jednotlivé metódy sa dajú aj kombinovať.

Popis použitých možností je nasledovný:

- „Cloud-Based Registration“: Tento prístup používa celé mračno bodov na nájdenie najlepšej zhody medzi mračnami, bez potreby špecifických terčov alebo značiek. Analýza je založená na celkovej štruktúre a rozloženia bodov v mračnách, čo umožňuje rýchlu registráciu. Miera kvality spojenia dvoch mračien pri tejto metóde je priamo úmerná veľkosti percentuálneho prekrytia medzi spájanými mračnami.
- „Auto-Extract Targets“: Metóda, ktorá automaticky identifikuje a extrahuje ciele (šachovnicové terče alebo guľovité terče) v mračne bodov. Tieto extrahované terče sú potom použité pre registráciu mračien.

Pri tvorbe jednotlivého mračna sme vyskúšali rôzne metódy za účelom zistenia, s pomocou ktorej možnosti sa docieli najlepší výsledok. Vyber metódy „Auto-Extract Targets“ bol z dôvodu najrýchlejšieho spracovania a lepšej docielenej presnosti, v porovnaní s inými metódami. Pri testovaní rôznych možností registrácie, bola dosiahnutá presnosť v jednotlivých metódach takmer rovnaká, a však metóda „Auto-Extract Targets“ bola oveľa rýchlejšia, keďže pri nej napríklad nebolo potrebné identifikovať terče v grafickom okne programu manuálne. Pri zvolenej metóde, bolo potrebné zvoliť pomocou ktorých terčov bude spojovanie prebiehať. Pri výbere „Spherical Targets“ (guľovité terče) sme nastavili priemer 14 cm. Pri tejto metóde môže nastať, že program identifikuje v jednotlivých mračnách terče, ktoré sú chybné a ktoré sme nezakladali. Tak isto sa stalo aj to, že jeden terč identifikovalo duplicitne. Také terče sme náslné odstránili. Daná metóda pospájala všetky mračná okrem jedného a to z dôvodu, že sa skener nachádzal v problémovej časti lokality (víc. kapitola 5.1.1). Program nedokázal identifikovať postačujúce množstvo terčov, s pomocou ktorých by sa mohlo dané mračno spojiť s ostatnými. Problémové mračno sme dodatočne spojili pomocou metódy „Cloud Based Registration“.

6.2.3 Georeferencovanie

Georeferencovanie výsledného mračna je možné využitím funkcie „Georeferencing Tool“.

Po spustení „Georeferencing Tool“ sme importovali súradnice vlicovacích bodov do projektu. Daná funkcia umožňuje priradenie importovaných súradníc ku terčom, ktoré sú už identifikované pomocou metódy automatickej registrácie mračien. Zároveň dokáže funkcia priradiť importované súradnice k ľubovoľnému bodu mračna.

6.2.4 Production

Výsledné mračno by malo byť vyhladené a zbavené nežiadúcich objektov (človek, auto, trávnaté porasty). Funkcia „Segmentation“ umožňuje označiť časť mračna pomocou kruhového, štvorcového alebo voľného výberu a následne po označení záujmovej časti pomocou tlačidla „IN/OUT“ vieme zvoliť, či ponecháme označenú časť alebo vymažeme.



Obrázok č. 7 Výsledné mračno bodov v RealWorks

6.3 AGISOFT METASHAPE

Pre tvorbu mesh modelu sme zvolili program Agisoft Metashape Professional (ďalej Agisoft). V danom programe sme spracovávali fotogrametrické dáta a následne s doplnením referenčného mračna bodov vyhotoveného v RealWorks, bol vyhotovený výsledný 3D model. Pri rozhodovaní v jakom programe sa budú spracovávať fotogrametrické dáta sme sa rozhodovali medzi ContextCapture Manager a Agisoft. Agisoft sme vybrali za účelom získania skúsenosti spracovania fotogrametrických dát v programe s ktorým skúsenosti neboli ešte nadobudnuté. Tak isto daný softvér odporúča aj vedúci práce Ing. Jakub Nosek.

Celkovo sme vypracovali 4 projekty. Projekt obsahujúci snímky zaobstarané iba z mobilného telefónu (ďalej Projekt Xiaomi), projekt obsahujúci fotky iba z dronu (ďalej Projekt Dron) a projekt ktorý obsahoval snímky z oboch projektov (ďalej Projekt Merge). V procese spracovania projektov Xiaomi a Dron boli vyjavené viditeľné nedostatky a chyby, ktoré viedli k vyhotoveniu modelov, s nepostačujúcou kvalitou. Tretí projekt Merge bol zhotovený za účelom toho, aby miesta kde projekty Xiaomi a Dron nedokázali alebo chybné zrekonštruovali určité časti objektu, sa vedeli navzájom doplniť. Bohužiaľ pri zjednotení dát z dvoch projektov, sa nám nepodarilo vytvoriť mesh model v chcenej kvalite. Preto v mojom prípade v Projekte Merge, sa muselo použiť aj mračno z laser skenovania, použité, ku nahradeniu nekvalitne zrekonštruovaných častí objektu, dosiahnutých pri spracovaní projektu Merge. Tento projekt bol pomenovaný FML.

Výsledné modely projektov Xiaomi a Dron nevstupovali do vyhotovených analýz presnosti. Preto sú dané dva projekty iba ilustratívne a ich cieľom je priblížiť postup spracovania dát.

Jednotlivé projekty sa skladajú z následného chronologického postupu spracovania:

- Import snímok a ich spracovanie
- Identifikácia vlicovacích a kontrolných bodov
- Tvorba hustého mračna bodov (ďalej Dense Cloud)
- Tvorba mesh modelu

6.3.1 Project Xiaomi

6.3.1.1 Import snímok a ich spracovanie

Ako prvé sme pomocou „Add Photos“ importovali snímky. Celkovo bolo importovaných 188 snímok. Po importe nasledovalo vyhodnotiť kvalitu snímok, pomocou funkcie „Estimate Image Quality“. Po vyhodnotení sa kvalita snímok pohybovala v intervale od 0,267237 do 0,990818. Manuál daného softvéru upozorňoval, že snímky, ktoré majú hodnotu nižšiu ako 0,5 sa považuje za snímok s nepostačujúcou kvalitou. Také snímky (celkovo 4) nemusíme vymazávať, ale stačí ich len deaktivovať pomocou funkcie „Disable Cameras“. Vo väčšine prípadov nežiadúcich snímok išlo o snímky dverí. Pred snímkovou orientáciou je potrebné pomocou funkcie „Camera Calibration“, určiť parametre vnútornej orientácie, a to pre každý snímok zvlášť.

To docielime pomocou „Image variant parameters“, kde boli zaškrtnuté nasledujúce možnosti:

- „f“ (ohnisková vzdialenosť)
- „cx,cy“ (poloha hlavného snímkového bodu).

Low-cost zariadenia, ako je mobilný telefón Xiaomi Mi 10T Pro, nemajú stabilné prvky vnútornej orientácie. To znamená, že parametre vnútornej orientácie sa môžu medzi jednotlivými snímkami líšiť. Preto je vhodné tieto parametre určovať pre každý snímok zvlášť.

Nasledovala relatívna snímková orientácia pomocou funkcie „Align Photos“, ktorá okrem výpočtu relatívnej orientácie importovaných snímkov, dodatočne vygeneruje aj riedke mračno bodov v grafickom okne softvéru. Jedno z kľúčových a potrebných nastavení výpočtu snímkovej relatívnej orientácie, je funkcia „Generic preselection“, ktorá umožňuje užívateľom vyhľadať snímkové páry pri vzájomnom prekrytí snímkov. Pri nastavení počtu spojovacích bodov sme doplnili „0“. Zvolili sme danú možnosť z dôvodu, že pri doplnení nuly, počet spojovacích bodov nemá limit. Po výpočte relatívnej snímkovej orientácie sa vytvorí riedke mračno bodov. Mračno je potrebné vizuálne skontrolovať a určiť mieru priblíženia vygenerovaného mračna ku skutočnému stavu za účelom zbavenia sa odľahlých spojovacích bodov. Filtráciu mračna sme robili pomocou „Gradual Selection“. V danom kroku spracovania projektu sa riedke mračno odporúča riediť pomocou nasledujúcich použitých funkcií:

- „Projection accuracy“: Označuje presnosť polohy bodov v mračne pomocou porovnania s pozíciou určenej polohy bodu na snímku. Interval v ktorom sme ponechali a nemazali body bol 0 až 6,5.
- „Reprojection error“: Určuje vzdialenosť medzi bodom na snímke, ktorý sa premieta späťne a pôvodnou polohou toho istého bodu, ktorý bol pri výpočte daný ako základ pre rekonštrukciu modelu. Pri tejto možnosti interval v ktorom sme ponechali body bol 0 až 0,55.

Po odfiltrovaní mračna sme pomocou „Optimize Cameras“ (opätovný výpočet vnútornej orientácie) zlepšili celkovú reprojekčnú chybu v projekte. Následne sa zopakovalo odfiltrovanie mračna pomocou „Projection accuracy“ (interval ponechaných bodov 0-5) a „Reprojection error“ (interval ponechaných bodov 0-0,3). Zmenšenie intervalov a opätovná filtrácia bola spravená z dôvodu odstránenia čo najviac odľahlých hodnôt, vyjavených po opätovnom prepočte prvkov snímkovej orientácie.

Výsledná optimálna hodnota reprojekčnej chyby v projekte, by nemala prekročiť 3 pixely. Dané kritérium bolo splnené nadobudnutou hodnotou 1,1 pixelu.



Obrázok č. 8 Riedke mračno bodov

6.3.1.2 Identifikácia vlicovacích a kontrolných bodov

Pomocou tlačidla „Import Reference“ sme importovali súradnice vlicovacích a kontrolných bodov, ktoré potom transformujeme do súradnicového systému (S-JTSK Krovak :5513). Súradnice bolo treba predom upraviť v textovom editore s jednou medzerou medzi jednotlivými súradnicami ($X_n Y_n Z_n$). Po importe bodov sa vytvoria v okolí modelu (riedke mračno) a na snímkach značky (biele vlajočky), znázorňujúce odhadovanú polohu všetkých importovaných bodov. Nastaví sa súradnicový systém pre snímku (WGS 84 :4326) a vlicovacie body (S-JTSK :5513).

Meranie bodov prebieha tak, že vlajočka (bielej farby), ktorá by mala zodpovedať pravdepodobnému rozmiestneniu bodu na snímke, presunieme na chcené miesto v snímku (jeho reálna projekcia na snímku). U takého nameraného bodu sa zmení farba vlajočky na zelenú, čo znamená, že daný bod je zameraný na danom snímku.

Po prvotných zameraniach bodov, vieme oprostíť nasledujúce zameranie pomocou funkcie „Update Transform“. Daná funkcia urýchluje proces zameriavania vlicovacích a kontrolných bodov tým, že po jej spustení, popresúvala body bližšie ku ich reálnemu rozpoloženiu na snímkach. Farba vlajky bodov, ktoré doposiaľ neboli zamerané na snímkach, sa pri ich transformácii nezmení a zostane biela. Pri zameraní bodov môžeme sledovať správnosť zameriavania. Sledovali sme hodnotu reprojekčnej chyby na jednotlivých bodoch (získaná zo snímkových súradníc) a hodnotu polohovej odchýlky (posudzuje sa medzi súradnicami vypočítanými na základe snímkovej

orientácie a zadávanými súradnicami). Vhodne je predom určenie bodov, ktoré budú vlicovacie pre potrebu georeferencovania a bodov ktoré budú slúžiť ako kontrolné pri analýzach presnosti.

Po zameraní všetkých bodov, sme na snímkach odznačili v okne „Cameras“ všetky snímky. Je to z dôvodu, aby súradnice projekčných centier neboli zahrnuté do nasledujúcich výpočtov, keďže ich presnosť je nízka. Nasledovne sa pomocou „Optimize Cameras“ model georeferencuje a preurčia sa prvky vnútornej orientácie.

Zvolené nastavenia pri „Optimize Cameras“ boli nasledujúce:

- „Estimate tie point covariance“ (vypočíta kovariančnú maticu na jednotlivých spojovacích bodoch). Tato možnosť bola zaškrtnutá z dôvodu vhodného použitia pre vizualizáciu.
- „Fit additional corrections“ (počíta ďalšie korekcie pre popis zakreslenia kamery, ktoré neodpovedajú nominálnemu Brownovmu modelu). Pri rozhodnutí o použití danej možnosti sme sa priklonili k jej použitiu z dôvodu, že snímkovanie v danom projekte sa uskutočnilo pomocou mobilného telefónu. Na rozdiel od „zrkadlovky“ s vysokou kvalitou optiky, je pravdepodobné, že kamera „zrkadlovky“ už bude pomerne dobre kalibrovaná a bude sa približovať k ideálnemu Brownovmu modelu. Naopak, pri použití mobilného telefónu je pravdepodobné, že kamera bude mať väčšie odchýlky od ideálneho modelu a budú potrebné dodatočné korekcie.

Nasledovne sme vygenerovali nové riedke mračno bodov (pomocou „Build Tie Points“) a opätovne je potrebné odfiltrovať pomocou „Gradual Selection“ odľahlé spojovacie body.

Použitie možnosti filtrovania boli v tejto etape nasledovné:

- "Reconstruction Uncertainty" (neistota rekonštrukcie): Táto funkcia slúži na identifikáciu a označenie bodov, ktoré majú vysokú mieru neistoty alebo nízku spoľahlivosť vo vytvorenom riedkom mračne. Interval spoľahlivosti v ktorom sme ponechali body bol nastavený od 0 po 50.
- „Projection accuracy“ (interval ponechaných bodov 0-5).
- „Reprojection error“ (interval ponechaných bodov 0-0,3).

Hodnota RMS (root mean square) poskytuje celkový prehľad o presnosti spojenia 2D bodov (poloha bodu na snímku), s ich odpovedajúcimi 3D pozíciami v priestore. Nižšie hodnoty RMS znamenajú lepšiu presnosť reprojekcie, čo naznačuje, že 2D body boli korektné sprojektované do 3D modelu. RMS chyba je vyjadrená v pixeloch a poskytuje celkový priemer chýb pre všetky body použité pri rekonštrukcii. Po filtrácii a správnom zameraní bodov, by výsledná optimálna presnosť mala mať RMS hodnotu do 0,5 pixelov a najväčšiu maximálnu jednotlivú chybu reprojekcie do 3 pixelov. Dosiahnutá maximálna reprojekčná jednotlivá chyba bola 137 pixelov a RMS činila okolo 50 pixelov. Tieto hodnoty javili javný problém v nesprávnosti zamerania určitých bodov.

Pri snahe doceliť lepšiu presnosť bolo podniknutých viacero krokov. Prvý krok bolo skúsiť poposúvať vlajočky na snímkach na vhodnejšie miesto. Daný krok síce spresnil, ale nie oveľa, keďže RMS stále presahovala hodnotu 30 pixelov. Po podrobnej analýze sa zistilo, že všetky body (body 5,12,26 a 27) zamerané terestrický, nachádzajúce sa na lavičkách v okolí kaplnky, sa neznámym spôsobom posunuli (meračská skupina v deň terestrického merania zle vyhodnotila pripevnenie lavičiek ku terénu).

Keďže snímkovanie a terestrické meranie neprebiehala v jeden deň, sme vyjavili body, ktoré sa už nemohli použiť pri spracovaní fotogrametrických dát. Všetky nasledujúce spomenuté body sme vymazali z importovaných bodov, nakoľko neboli ani raz počas merania identifikované na snímkach. Bod 24, ktorý bol na okraji kamenej dlažby zarástol trávnaým porastom. Bod 28 (červená bodka na kamenej dlažbe) už bol neidentifikovateľný. Body 6,11,16,17,29 a 30 (šachovnicové terče) boli tak isto vyradené, keďže už v deň snímkovania sa na pôvodnom mieste nenachádzali. Bod 32, ktorý síce bol veľmi dobre identifikovateľný na snímkach, vykazoval z neznámeho dôvodu veľké odchýlky a bol rovnako vyradený. Po premazaní zostalo celkovo 20 importovaných bodov. Po opätovnom vygenerovaní riedkeho mračna a jeho filtrácii bolo RMS 1,2 pixelov a maximálna reprojekčná jednotlivá chyba 8 pixelov. Po vyskúšaní rôznych postupov spracovania rôznymi metódami, spolu s nastavením importu súradníc sa optimálnejšej presnosti nedosiahlo.



Obrázok č. 9 Príklad šachovnicových terčov

6.3.1.3 Tvorba Dense Cloud

Vytvorenie Dense Cloudu (husté mračno bodov) sa robí pomocou funkcie „Build Dense Cloud“.

Popis zvolených možností nastavenia pri tvorbe hustého mračna bodov boli:

- „Quality“: Určuje kvalitu výslednej geometrie mračna. Zvolili sme možnosť „High“.
- „Calculate Point Confidence“: Pri vygenerovaní mračna vedie k možnosti následnej filtrácii alebo zobrazenia mračna na základe spoľahlivosti rekonštrukcie mračna.
- „Depth filtering“: Umožňuje nastavenie filtrovania hĺbkových máp. Pri tvorbe Dense cloudu, softvér automaticky vyhotovuje hĺbkové mapy každej snímky. Daná funkcia dokáže zanalyzovať pri vygenerovaní Dense Cloud odľahlé hodnoty a následne ich filtrovať. Vybrali sme si možnosť „Mild“, ktorá sa využíva, keď je potrebnosť rekonštrukcie kvalitných detailov, prípadne pokiaľ sú na snímkach oblasti so zlou (monotónnou) textúrou.

Pri prvotnej rekonštrukcii Dense Cloudu sme vyjavili obrovské diery v mračne. Zapríčinené to mohlo byť nepostačujúcou vzájomnou orientáciou snímok. Preto bolo nameraných nových 22 naväzovacích bodov. Snažili sme sa na každej snímke identifikovať nové naväzovacie body v dostatočnom počte (podľa manuálu je potrebné identifikovať 4 na každej snímke) [25], čo však nebolo možné na niektorých snímkach docieľiť. Po zameraní, sme opätovne pristúpili k výpočtu snímkovej orientácie. Dosiadnutá hodnota RMS bola 0,9 pixelov a maximálna reprojekčná jednotlivá chyba 11 pixelov. Výsledok síce dosiahol kvalitnejšej rekonštrukcie ale stále boli viditeľné veľké časti mračna, ktoré tvorili diery. Dôvodom mohlo byť to, že z problémovej strany kaplnky bolo kvôli terénu obťažné snímkovanie objektu. Zapríčinilo to určite tak isto aj to, že kaplnka mala biele monotónne a bez štruktúrne steny s minimálnou textúrou a lesknúcu sa monotónnu červenú strechu bez výraznej textúry (plechový materiál).



Obrázok č.10 Zbavený šumú Dense Cloud v projekte Xiaomi

6.3.1.4 Tvorba Mesh modelu

Tvorbu mesh modelu nám umožňuje softvér pomocou viacerých možných zdrojových dát.

Po vyskúšaní všetkých metód, sme vybrali možnosť „Dense Cloud“. Hlavným faktorom pri posúdení, ktorá možnosť docieli lepšiu kvalitu, bol počet vyprodukovaných bodov s lepšou hodnotou konfidencie v Dense Cloude. Zvolené možnosti pri nastavení tvorby mesh modelu boli nasledovné:

- „Surface type“: Zvolená funkcia „Arbitrary 3D“ (vhodné pre uzavreté objekty).
- „Face count“: Nastavili sme „High“ (určuje počet trojuholníkových polygónov v finálnom mesh modeli).
- „Interpolation“: je metóda, ktorá ponúka výber funkcií za účelom zakrytia dier v modeloch. Zvolili sme funkciu „Enabled“ (určité diery sú interpolované pomocou trojuholníkov a dokáže zakryť niektoré diery).

Pre úpravy mesh modelu okrem samotného orezávania nežiadúcich prvkov sme využívali funkcie „Smooth mesh“ (dokáže vyhladiť selektovanú časť modelu) a „Close Holes“ (zocelenie menších dier pomocou interpolácie). Pred textúrovaním mesh modelu, by sme mali kalibrovať farby snímok (aby model nebol fl'akatý) pomocou funkcie „Calibrate Colors“. Pri textúrovaní modelu môže nastať, že sa objavia z dôvodu zakrytia modelu na snímkach (napríklad vegetáciou) miesta s nesprávne vyhodnotenou textúrou. Zapríčiňuje sa to tým, že textúra ktorá zakrýva časť objektu na snímku, sa premietne priamo na model. Odstránenie takých chýb, by sa malo doceliť pomocou maskovania („funkcia Generate Masks“).

Kvôli rozhodnutiu, že bude projekt Xiaomi iba ilustratívny a bez podrobenia analýz presnosti, sme maskovanie a textúrovanie nerobili. Za účelom vyfarbenia mesh modelu postačujúcu pre ilustráciu sme použili časovo rýchlejšiu funkciu „Colorize Model“.



Obrázok č.11 Znázornenie mesh modelu v projekte Xiaomi



Obrázok č.12 Ukážka nepostačujúcej rekonštrukcie mesh modelu v projekte Xiaomi

6.3.2 Projekt Dron

6.3.2.1 Import snímok a ich spracovanie

Import a spracovanie snímok v danom projekte bol rovnaký ako v projekte Xiaomi. Celkovo bolo importovaných 524 snímokov.

Pri nastavení výpočtu relatívnej snímkovej orientácie sa vyskúšalo viacero možností nastavení ale najlepšie výsledky preukázalo už osvedčené rovnaké nastavenie ako v projekte Xiaomi. Rozpätie intervalov v ktorých sa ponechávali body pri filtrácii sa nelíšil od predchádzajúceho projektu. Po filtrácii bola hodnota reprojekčnej chyby 0,88 pixelov.

6.3.2.2 Identifikácia vličovacích a kontrolných bodov

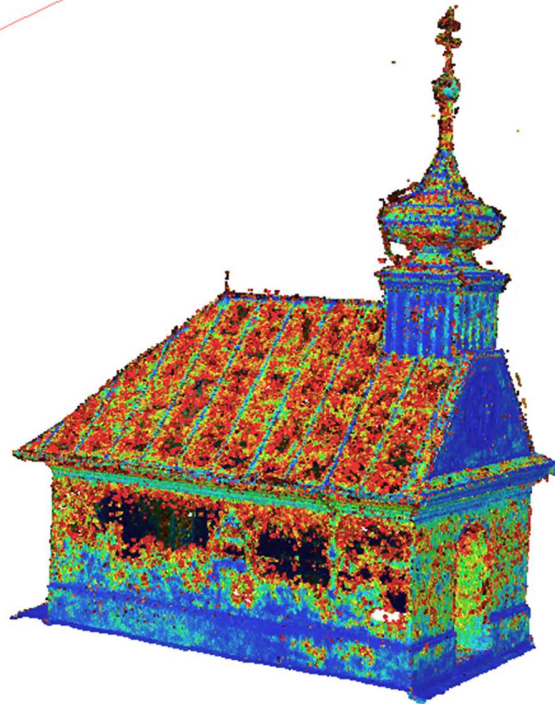
Voľba súradnicového systému, nastavenie importu bodov a postup bol v tomto projekte s menšími rozdielmi, rovnaký ako v projekte Xiaomi. Jeden z rozdielov bol v tom, že sa odstránili pred importom v textovom súbore body, ktoré nebolo možné použiť pre následne spracovanie (víc kapitola 6.3.1.2).

Bod 32, ktorý preukazoval z neznámeho dôvodu v projekte Xiaomi veľkú nepresnosť bol ponechaný z dôvodu pokusu, či daný bod bude vykazovať rovnakú nepresnosť. Navyš sa pridalo 7 nových bodov (šachovnicové terče), ktoré boli rozmiestnené v okolí kaplnky. Importovaných bodov bolo 28. Po zameraní bodov sme vyskúšali opäť viacero možností pri nastavení „Optimize Cameras“. Napríklad pri možnosti „Adapptive camera model fitting“ (používa sa pri snímkovaní budov v rôznych výškových úrovniach), sme očakávali docielenia presnejších výsledkov. Tento odhad bol chybný a bolo používané rovnaké nastavenie ako v projekte Xiaomi.

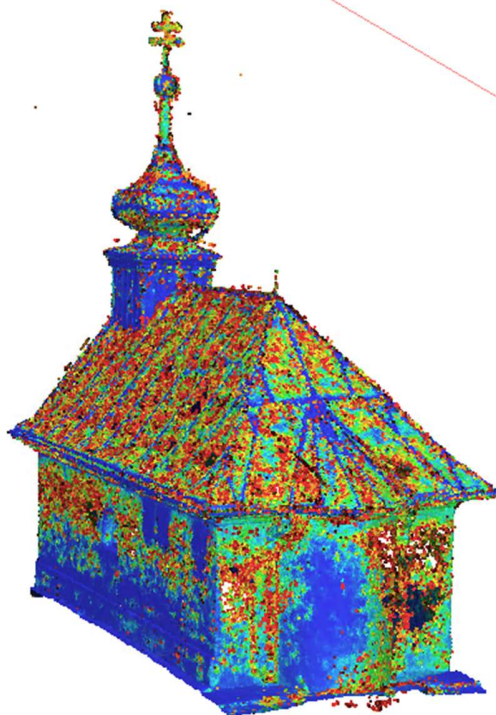
V projekte bolo zameraných 24 naväzovacích bodov za účelom zlepšenia vzájomnej snímkovej orientácii. Výsledná dosiahnutá maximálna jednotlivá reprojekčná chyba bola 3,9 pixelov a RMS 0,54 pixelov.

6.3.2.3 Tvorba Dense Cloudu

Rôzne možnosti pri nastavení tvorby Dense Cloudu boli opätovne nanovo vyskúšané. Osvedčilo sa len zase zvolené nastavenie pre tvorbu Dense Cloudu ako v projekte Xiaomi. Výsledná rekonštrukcia síce na prvý pohľad bola kvalitnejšia ako v projekte Xiaomi ale stále obsahovala veľké diery na modeli. Diery sa vyskytovali na stene a streche, a to hlavne zo strany problémovej oblasti. Dôvodom mohlo byť osvetlenie slnkom danej strany kaplnky. Ukážka je zobrazená na obrázkoch č.13 a č.14, kde modrá farba bodov na obrázkoch značí lepšiu hodnotu spoľahlivosti. Potvrdilo sa, že prítomnosť lesknúcej sa strechy s bielymi stenami v modeli, je náročnejší prípad spracovania fotogrametrických dát. Po odstránení šumu sme pristúpili ku tvorbe mesh modelu.



Obrázok č.13 Dense Cloud vizualizovaný pomocou hodnoty konfidencie z osvetlenej slnkom strany objektu v projekte Dron



Obrázok č.14 Dense Cloud vizualizovaný pomocou hodnoty konfidencie zo zatienenej strany objektu v projekte Dron

6.3.2.4 Tvorba Mesh modelu

Pri tvorbe výsledného mesh modelu bolo zase vyskúšané viacero možností. Ponechané bolo nastavenie tvorby meshu ako v projekte Xiaomi. Vygenerovaný mesh síce dokázal diery z mračna zakryť, ale rekonštrukcia niektorých dier sa až príliš líšila od skutočného stavu (viditeľné vypukliny). Postupná oprava určitých oblastí v modeli síce viedla ku zlepšeniu kvality presnosti, ale v celku nebola postačujúca ku vytvoreniu mesh modelu, ktorý by sa mohol podrobiť analýze presnosti. Vyfarbenie modelu sme za účelom ilustrácie vykonali pomocou funkcie „Colorize Model“



Obrázok č.15 Osvetlená slnkom strana mesh modelu v projekte Dron



Obrázok č.16 Pohľad na mesh model v projekte Dron

6.3.3 Projekt Merge

6.3.3.1 Import snímok a ich spracovanie

Na rozdiel od predošlých projektov sa postup práce v tomto projekte líšil. Využili sme funkciu „Reference preselection“, ktorej použitie je vhodné pre prácu s plošne rozsiahlejším nasnímkovaným územím. Pri importe dvoch rozdielnych snímkových skupín, program automaticky rozdeľuje skupiny, čím umožňuje nastaviť určenie parametrov vnútornej snímkovej orientácie kamery pre jednotlivé skupiny zvlášť. Nastavenia sme zvolili rovnaké ako u predošlých projektov pre každú skupinu. Týmto postupom bolo importovaných celkom 712 snímok. Po filtrácii odľahlých bodov, vygenerovaných pri tvorbe riedkeho mračna a opätovnom výpočte snímkovej orientácie, bola dosiahnutá hodnota reprojekčnej chyby 1,6 pixelov.

6.3.3.2 Identifikácia vlicovacích a kontrolných bodov

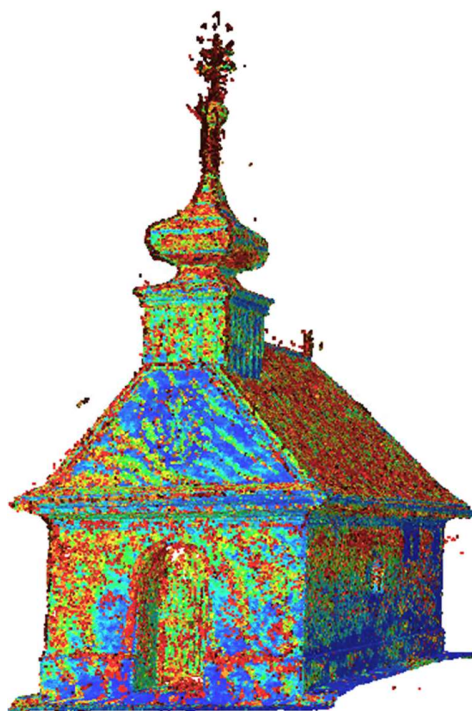
Postup a nastavenie importu bodov sa mierne líšil od projektu Dron. Prvý rozdiel bol v použití funkcie „Adaptive camera model fitting“. Druhý rozdiel tento projekt odlišoval od predošlých v zameraní bodov. Zameranie vlicovacích a kontrolných bodov urýchlila funkcia „Import/Export Markers“. „Markers“ je zoznam vlicovacích a kontrolných bodov (poprípade aj naväzovacích). Daná funkcia umožňuje importovať výslednú polohu zameraných bodov na snímkach z predošlých projektov. Po importovaní „Markers“ z projektov Xiaomi a Dron do projektu Merge, program z neznámeho dôvodu nevedel správne importovať zamerané body z oboch projektov naraz. Preto sme sa rozhodli využiť importovanie „Markers“ iba z projektu Dron. Dané riešenie je zdôvodnené tým, že importovaný súbor obsahoval zameranie bodov na väčšom počte snímok ako projekt Xiaomi. Celkovo tak v projekte boli zamerané 3 typy bodov:

- 17 vlicovacích bodov
- 11 kontrolných bodov
- 26 naväzovacích bodov

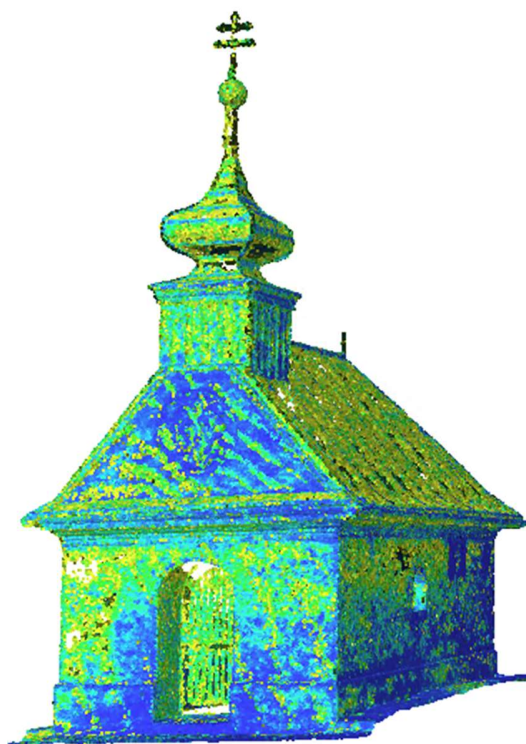
Dosiahnutá jednotlivá maximálna reprojekčná chyba bola 2,7 pixelov a RMS 0,4 pixelov.

6.3.3.3 Tvorba Dense Cloudu

Pri tvorbe Dense Cloudu v danom projekte sme zase skúšali rôzne možnosti nastavenia tvorby, ktoré viedli k rovnakému nastaveniu tvorby Dense Cloudu ako v projekte Dron. Výsledný Dense Cloud daného projektu konečne docielil vcelku akceptovateľnej kvality. Výsledné mračno síce malo diery ale na rozdiel od Dense Cloudov v projektoch Xiaomi a Dron boli tieto diery výrazne menšie. O lepšej rekonštrukcii poukazuje grafické znázornenie mračna pomocou funkcie „Filtered by Confidence“ na obrázkoch č.17 a 18.



*Obrázok č.17 Dense Cloud nezbavený
šumu v projekte Merge*



*Obrázok č.18 Dense Cloud zbavený
šumu v projekte Merge*

6.3.3.4 Tvorba Mesh modelu

Postup tvorby mesh modelu bol rovnaký ako v projekte Dron. Model obsahoval drobné diery, ktoré sme odstránili pomocou funkcie „Close Holes“. V určitých častiach modelu program veľmi malé diery nedokázal zakryť. Program nedokázal správne interpolovať oblasti v prípade niektorých drobných dier a ich opravy viedli ku celkovému zhoršeniu kvality modelu. Preto sme sa rozhodli niektoré malé diery ponechať. Po úprave mesh modelu, sme pristúpili ku kalibrácii farieb a samotnému textúrovaniu. Tvorba textúry sa skladala z nasledujúcich použitých možností nastavenia:

- „Texture Type“: „Diffuse Map“. Tento typ textúry reprezentuje farby povrchu objektu. Používa sa ku dosiahnutiu realistického vzhľadu modelu.
- „Source data“: „Images“. Textúry sú generované zo snímok alebo skenovaných obrázkov.
- „Mapping mode“: „Generic“. Základná metóda použiteľná pre rôzne typy scén.
- „Blending mode“: „Mosaic“. Preferuje textúry z najlepších zdrojov (najvyššie rozlíšenie, najlepšia možná expozícia).
- „Enable hole filing“: Automaticky vyplní prázdne oblasti v textúrach.
- „Enable ghosting filter“: Filtruje nežiaduce objekty, ktoré boli za pohybu v momente expozície na snímku.

Maskovanie v tomto projekte sme sa rozhodli nezavádzať, keďže na prezentáciu výsledného modelu bol použitý mesh model z projektu FML.



*Obrázok č.19 Pohľad na mesh model
v projekte Merge*



*Obrázok č.20 Pohľad na vchod do kaplnky
v mesh modeli projektu Merge*

6.3.4 Projekt FML

Projekt FML tvoril jeden „Chunk“ (blok) v projekte Merge. Ako prvé sme dva krát skopirovali „Chunk“, ktorý obsahoval výsledný Dense Cloud vyhotovený v projekte Merge. V prvej kópii sme vymazali Dense Cloud, kam sme potom importovali mračno vyhotovené z dát laserového skenovania. Pri importe sme nastavili rovnaký súradnicový systém, v ktorom sa vyhotovoval Dense Cloud v projekte Merge. Tento postup je dôležitý ku zachovaniu nastavení súradnicových referencií. Pri importe mračna z laserového skenovania je potrebné zvoliť možnosť „Use as laser scan“. Následne sme premazali importované mračno tak, aby zostali len časti potrebné k vyplneniu problémových miest v Dense Cloude. V druhej kópii „Chunku“ sme premazali v Dense Cloude problémové miesta s nekvalitnou rekonštrukciou, ktoré sme chceli vyplniť mračnom z laserového skenovania a to tak, aby pri zlúčení Dense Cloudu a mračna z laserového skenovania sa ideálne tieto dve mračna navzájom neprekrývali a len dopĺňali.

Po prvotnom zlúčení mračien bolo výsledne mračno buď miestami kde sa mali spojiť deravé, alebo sa navzájom až príliš prekrývali. Také diery boli vzniknuté nadmerným orezávaním. Naopak v prípade prekrytia, sa pri vygenerovaní mesh modelu z takého mračna, tvorili bubliny na rovných plochách. Daný problém sme vyriešili pomocou funkcie „Ruler“. Pomocou danej funkcie sme v oboch mračnách zaistili súradnice bodov, ktoré tvorili hranicu hľadanej plochy v danom mračne. Tieto vytvorené plochy určovali miesta v jednotlivých mračnách, ktoré mali byť vymazané alebo naopak ponechané. Tým, že sme si relatívne presne určili hranice plôch v rozdielnych mračnách, sme docielili minimálneho prekrytú medzi nimi.

Následovne sme riešili problematiku, vzniknutú pri importe mračna bodov získaného laserovým skenovaním. Problém bol ten, že pri importe takého mračna, sa niektoré body v mračne nesprávne importovali. Spočívalo to v tom, že sa body nesprávne zorientovali v 3D priestore, keďže ich normála bola otočená o 180 stupňov. Vizuálne sa farba takých bodov pri ich farebnom zobrazení v mračne zobrazovala invertované. Bod na bielej stene objektu bol teda zobrazený čierne z vonkajšej strany a pri pohľade z vnútornej strany objektu sa taký bod zobrazoval ako biely. Táto chyba pri jej neodstránení, zapríčiňovala vo vygenerovanom mesh modeli veľmi viditeľné lokálne deformácie. Danú chybu sme odstránili pomocou funkcie „Invert Points“, ktorá pri výbere nesprávne orientovaných bodov, transformuje súradnicový systém bodov v modeli tak, aby zodpovedali realite. V praxi to znamená, že ak boli body orientované nesprávne, táto funkcia ich „invertuje“, čiže obráti do správnej polohy v súradnicovom systéme. Po definovaní rozhrania plôch s ich následným ponechaním či vymazaním v jednotlivých mračnách a odstránením invertovaných bodov, sme zjednotili obe mračná bodov z dvoch „Chunkov“ do jedného. Po zjednotení mračien sme upravili drobné detaily v miestach, kde sa mračná prekryli .

Následná produkcia mesh modelu prebiehala s jednou výnimkou rovnako ako v projekte Merge (víz kapitola 6.3.3.4). Výnimka spočívala v zavedení masiek pomocou funkcie „Generate Masks“. Maskovanie zahŕňalo odmaskovanie hromozvodu a hlavne lavičiek, ktorých textúra sa chybné premietala na biele steny objektu.



Obrázok č.21 Detail mesh modelu po zbavení sa Invert Points



Obrázok č.22 Detail mesh modelu pri nezbavení sa Invert Points



Obrázok č.23 Oprava detailov drobných dier mesh modelu v projekte FML



Obrázok č.24 Ukážka opravovaných drobných dier mesh modelu v projekte FML



Obrázok č.25 Ukážka chybného premietnutia textúry lavičky na stenu



Obrázok č.26 Oprava pomocou maskovania



Obrázok č.27 Detail „A“ výsledného 3D modelu



Obrázok č.28 Detail "B" výsledného 3D modelu



Obrázok č.29 Výsledný 3D model kaplnky Panny Marie Sněžné u Tvarožné

7 ANALÝZA PRESNOSTI

V tejto bakalárskej práci sme vytvorili celkovo dva výsledne modely, ktoré by sa mohli využiť pri testovaní presnosti. Mesh model z projektu Merge a mesh model z projektu FML. Celkovo sme analyzovali dvoma možnými spôsobmi, a to analýzou súradnicových rozdielov na kontrolných bodoch z terestrického merania a analýzou presnosti mesh modelu pri porovnaní s referenčným mračnom bodov.

7.1 ANALÝZA PRESTNOSTI POMOCOUCO KONTROLNÝCH BODOV

V danej kapitole sme posudzovali mieru presnosti medzi súradnicami bodov zameraných totálnou stanicou a súradnicami bodov, ktoré boli zamerané priamo v Agisofte. Počítali sme smerodajné odchýlky bodov v odpovedajúcich súradniciach (X,Y,Z) spoločne so smerodajnými polohovými odchýlkami na každom bode. Analýzu dosiahnutej presnosti pomocou kontrolných bodov a posúdení relatívnej čestnosti vybočujúcich a odľahlých meraní, sme sa riadili podľa „*Accuracy Evaluation and Comparison of Mobile Laser Scanning and Mobile Photogrammetry Data*“ [23].

Celkovo sme testovanie presnosti posudzovali na 8 rovnakých bodoch v oboch modeloch. Rozdielny bol iba jeden bod, ktorý nebol dobre identifikovateľný na oboch modeloch. Menší počet bodov bol zapríčinený z nasledujúcich dôvodov. Časť bodov sa nenachádzala priamo na testovanom modeli alebo boli zle identifikovateľne v jednotlivom modeli. Bolo potrebné dodržať nezávislosť v analýzach presnosti a preto sme použili len tie body, ktoré neboli využité ako vlicovacie ani na jednom z modelov. V prípade modelu Merge sme dosiahli dve vybočujúce hodnoty merania. Prvé meranie bolo v teste súradnicových rozdielov na osi Y a druhé v teste súradnicových rozdielov na osi Z. Pri analýzach modelu FML, sme nevyjavili ani jednu vybočujúcu alebo odľahlú hodnotu merania.

Tabuľka 6 Mezná odchýlky pre testovanie presnosti pomocou kontrolných bodov na modeli Merge

Parameter	X	Y	Poloha	Z
Smerodajná odchýlka [m]	0,009	0,006	0,011	0,012
Súčiniteľ konfidencie (P=0,95)	2	2	2,5	2
Súčiniteľ konfidencie (P=0,99)	2,5	2,5	3	2,5
Mezná odchýlka (P=0,95) [m]	0,0175	0,0122	0,0267	0,0240
Mezná odchýlka (P=0,99) [m]	0,0219	0,0153	0,0320	0,0300

Tabuľka 7 Mezné odchýlky pre testovanie presnosti pomocou kontrolných bodov na modeli FML

Parameter	X	Y	Poloha	Z
Smerodajná odchýlka [m]	0,0049	0,0040	0,0064	0,0061
Súčiniteľ konfidencie (P=0,95)	2	2	2,5	2
Súčiniteľ konfidencie (P=0,99)	2,5	2,5	3	2,5
Mezná odchýlka (P=0,95) [m]	0,0099	0,0080	0,0159	0,0123
Mezná odchýlka (P=0,99) [m]	0,0124	0,0100	0,0191	0,0154

7.2 ANALÝZA PRESTNOSTI POMOCOU REFERENČNÉHO MRAČNA

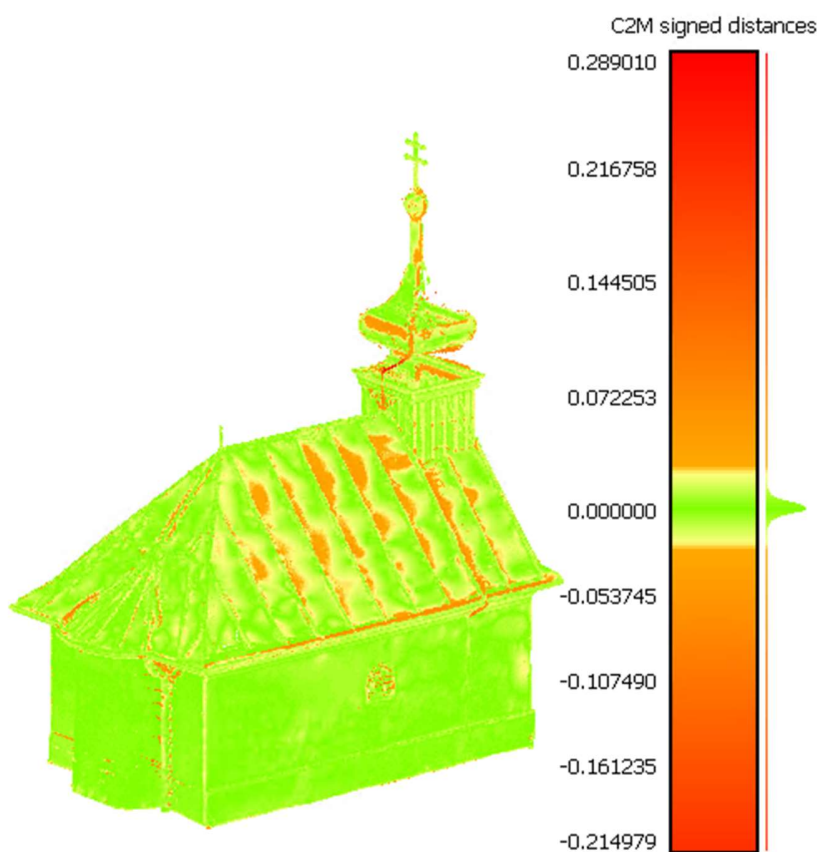
Analýza spočívala v porovnaní dosiahnutej presnosti oboch mesh modelov vypracovaných v Agisoft s referenčným mračnom bodov získaného laser skenovaním. Analyzovali sme v softvéri CloudCompare pomocou funkcie „compute cloud to mesh distance“. Daná funkcia spočíva v tom, že spočíta vzdialenosti medzi mesh modelom a referenčným mračnom bodov. Počet vypočítaných vzdialenosti v oboch analýzach odpovedal počtu bodov v referenčnom mračne bodov. Vzdialenosti sú získané tak, že pre každý bod referenčného mračna, vyhľadá program lokálne najbližší trojuholník v sieti porovnávaného mesh modelu [24]. Zo získaných vzdialenosti sme vypočítali smerodajnú odchýlku a následne určili počet vybočujúcich a odľahlých meraní s ich percentuálnym zastúpením v testovacom súbore, pre každú analýzu modelov zvlášť.

Tabuľka 8 Výsledky analýz vzdialenosti medzi modelom FML a referenčným mračnom

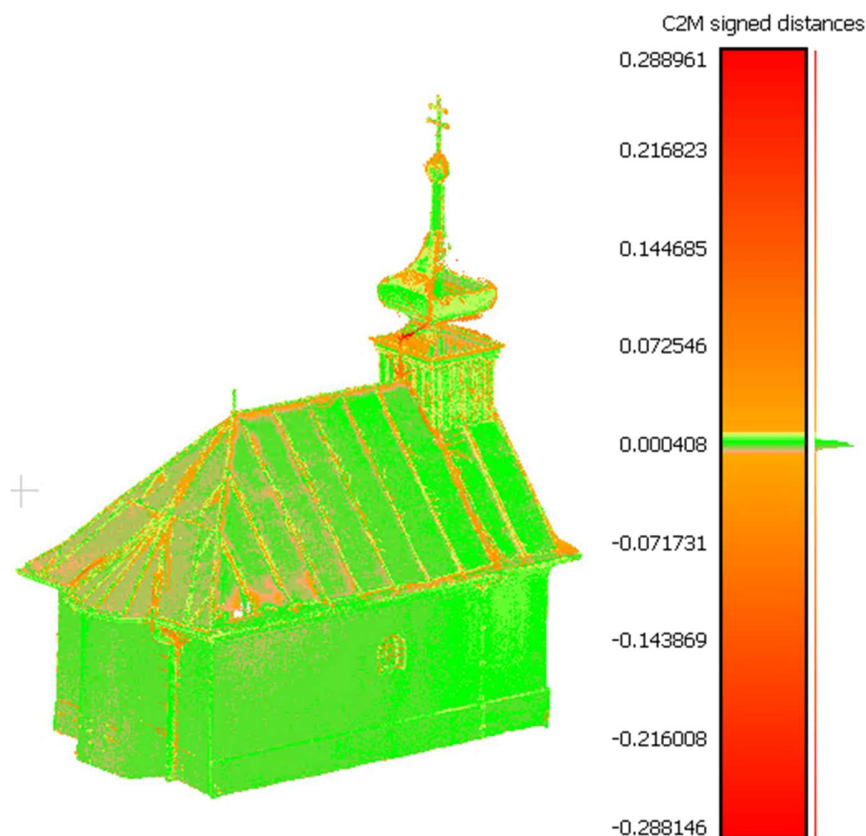
Testovanie presnosti pomocou referenčného mračna - FML	
Parameter	Hodnota
Počet bodov	44150563
Smerodajná odchýlka [m]	0,0032
Počet vybočujúcich bodov	828470
Percento vybočujúcich bodov	1,88
Počet odľahlých bodov	1096074
Percento odľahlých bodov	2,48

Tabuľka 9 Výsledky analýz vzdialenosti medzi modelom Merge a referenčným mračnom

Testovanie presnosti pomocou referenčného mračna - Merge	
Parameter	Hodnota
Počet bodov	44150563
Smerodajná odchýlka [m]	0,0107
Počet vybočujúcich bodov	383678
Percento vybočujúcich bodov	0,09
Počet odľahlých bodov	1001171
Percento odľahlých bodov	2,27



Obrázok č.30 Farebné znázornenie analýz vzdialenosti medzi modelom Merge a referenčným mračnom



Obrázok č.31 Farebné znázornenie analýz vzdialenosti medzi modelom FML a referenčným mračnom

V príkladoch grafického znázornenia analýz sú body s nevybočujúcou hodnotou zelené, oranžové body znázorňujúce hodnotu vybočujúcu a červeným sú znázornené body, považujúce sa za odľahlé pre daný súbor testovacích hodnôt

Vyjavené deformácie v oboch modeloch boli vo všeobecnosti skoro rovnaké. Vyskytovali sa hlavne v častiach, kde končila strecha a začínal okap. Daná deformácia mohla vzniknúť z toho dôvodu, že, také miesta neboli dostatočne nasnímkované fotogrametrický a zároveň ani neboli namerané laserovým skenerom, keďže laserový skener nemohol zo zemi pokryť danú časť objektu.

V testovanom modeli Merge sa nachádzali vybočujúce a odľahlé hodnoty prevažne na osvetlenej slnkom strane strechy, čo mohla byť jedna z príčin danej lokálnej deformácie v modeli. V testovanom modeli FML sme zas odhalili odľahlosti a vybočujúce hodnoty vo väčšine prípadov v miestach, kde sa prekrývalo mračno získaného laserovým skenovaním a Dense Cloud vyhotovený z fotogrametrických dát (víz 6.3.4).

8 ZÁVER

Táto bakalárska práca sa zamerala na tvorbu 3D modelu kaplnky Panny Marie Sněžné v Tvarožné pomocou a laserového skenovania a low-cost fotogrametrického vybavenia. Cieľom bolo tak tiež zhodnotiť presnosť a efektívnosť kombinácie týchto technológií pri vytváraní 3D modelu.

V teoretickej časti sme sa venovali základom fotogrametrie a laserového skenovania, kde sme opísali procesy, techniky a teoretické princípy použitých metód. Použitými prístrojmi boli GNSS aparátúra Trimble R8s, totálna stanica Trimble M3, dron DJI Mavic Air 2S a laserový skener FARO Focus 3D X130. Tieto prístroje nám umožnili zachytiť snímky a skeny, ktoré boli nevyhnutné pre tvorbu detailného 3D modelu.

V praktickej časti sme uskutočnili terénne merania, počas ktorých sme fotogrametricky nasnímkovali objekt a vykonali laserové skenovanie. Počas týchto meraní sme sa stretli aj s nepredvídanými situáciami, napríklad keď sa posunuli lavičky v okolí kaplnky, čo spôsobilo drobné komplikácie pri následnom spracovaní. Výsledné modely vypracované v projektoch Xiaomi a Dron, neboli následne analyzované z dôvodu ich nepostačujúcej rekonštrukcie, a to najmä kvôli bielym netextúrovaným stenám a lesknúcej sa streche, ktoré sú vo fotogrametrii náročné na spracovanie. Tomuto problému sa môžeme v budúcnosti vyhnúť, pomocou zabezpečenia dostatočného počtu snímok z rôznych uhlov a s rôznymi textúrami, čo zlepší kvalitu výsledného modelu. Výsledné modely v projektoch Merge a FML, ktoré dosiahli postačujúcej presnosti pri ich spracovaní, boli následne podrobené analýzám presnosti. Celkovo sa preukázalo, že kombinácia fotogrametrie a laserového skenovania je veľmi efektívna a presná. Fotogrametria zabezpečila farebné a textúrové detaily, zatiaľ čo laserové skenovanie poskytlo vysokú geometrickú presnosť. Výsledný 3D model bol použitý na vizualizáciu a bol publikovaný na stránkach ústavu geodézie fakulty stavebnej v Brne. Adresa publikácie je www.geodesy.fce.vutbr.cz/kaple-tvarozna.

Pri analýze presnosti pomocou kontrolných bodov, sme zistili, že mesh model Merge obsahoval dve vybočujúce merania, zatiaľ čo mesh model FML neobsahoval žiadne vybočujúce ani odľahlé merania. V druhej analýze sme testovali mesh modely pomocou vypočítaných vzdialeností ku referenčnému mračnu. Daná analýza vyjaviť podobné deformácie na oboch testovaných modeloch.

Práca preukázala, že moderné low-cost zariadenia použité pri fotogrametrickom spracovaní, dokážu aj pri použití cenovo dostupných zariadení vytvoriť pomerné presný a detailný 3D model. Aj s obmedzeným rozpočtom je možné dosiahnuť vynikajúce výsledky, ak sa použijú správne techniky a postupy. Budúcnosť fotogrametrie môže byť jasná a detailná aj bez toho, aby nám peňaženka zaplakala, a to je naozaj dobrá správa pre všetkých geodetov a inžinierov.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. ČÚZK – Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí (cuzk.cz)
2. Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. a Boehm, J., 2019. *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging*. 3rd revised and expanded edition. Berlin: De Gruyter. doi:10.1515/9783110607253.
3. Pavelka, K. a Hodač, J., 2008. *Fotogrammetrie 3: digitální metody a laserové skenování*. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-03978-6.
4. Oniga, V. E., Pfeifer, N. a Loghin, A. M., 2018. *3D Calibration Test-Field for Digital Cameras Mounted on Unmanned Aerial Systems (UAS)*. Remote Sensing, 10(12). doi:10.3390/rs10122017.
5. Yilmazturk, F. a Gurbak, A. E., 2019. *Geometric Evaluation of Mobile-Phone Camera Images for 3D Information*. International Journal of Optics, 2019, 1-10. doi:10.1155/2019/8561380.
6. Costanzo, A., Falcone, S., Bisignano, R., Straface, M., Ritacco, G., La Piana, C., Musacchio, M. a Calimeri, F., 2018. *A Smartphone Application for Supporting the Data Collection and Analysis of the Cultural Heritage Damaged during Natural Disasters*. Proceedings, 2(3). doi:10.3390/ecsa-4-04930.
7. Barbero-García, I., Lerma, J. L., Marqués-Mateu, Á. a Miranda, P., 2017. *Low-Cost Smartphone-Based Photogrammetry for the Analysis of Cranial Deformation in Infants*. World Neurosurgery, 102, 545-554. doi:10.1016/j.wneu.2017.03.015.
8. Pavelka, K., 2017. *Fotogrammetrie*. Praha: ČVUT. ISBN 978-80-01-06111-4.
9. Alkan, R. M., Tuncer, M. M., Hosbas, R. G. a Yildiz, F., 2016. *Investigating the performance of Mobile Laser Scanning system for urban data collecting*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 5(11). doi:10.3390/ijgi5110212.
10. Barber, D. M., Mills, J. P. a Bryan, P. G., 2010. *Laser Scanning for Architectural Conservation*. Journal of Archaeological Science, 37(8), 1736-1747. doi:10.1016/j.jas.2010.02.022.
11. Olsen, M. J., Kuester, F., Chang, B. J. a Hutchinson, T. C., 2010. *Terrestrial Laser Scanning-Based Structural Damage Assessment*. Journal of Computing in Civil Engineering, 24(3), 264-272. doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000028.
12. Trimble Navigation Limited, 2016. *Trimble R8s GNSS Receiver*. Datasheet. Available at: <https://www.trimble.com/gnss-infrastructure/r8s.aspx>.
13. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. a Wasle, E., 2008. *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer. ISBN 978-3-211-73012-6.
14. Schenk, T., 2005. *Introduction to Photogrammetry*. The Ohio State University. Available at: http://www2.isprs.org/uploads/File/Resources/tutorial/intro_photogrammetry.pdf.

15. Wieser, A. a Brunner, F. K., 2002. *Analysis of geodetic networks: theory and algorithms*. Zürich: ETH Zürich. Available at: <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/institute-igm/geomaticspdf/gnet.pdf>.
16. <https://www.navyletbrno.cz/kopec-santon-a-kaple-panny-marie-snezne/>
17. <https://www.geobchod.cz/cs/totalni-stanice-trimble-m3-10cc/product>
18. <https://geomaticslandsurveying.com/product/trimble-r8s/>
19. https://devicesupport.three.co.uk/guides/device/Xiaomi/Mi10TPro#l=threeukcust&IHsim=threeukcust&d=Xiaomi/Mi%2010T%20Pro&hsimDevice=Xiaomi/Redmi%20Note%2010%205G&s=LCX_Root&loc=threeuk&isMarket=true&hsimSpinner=truehttps://dronpro.cz/dron-dji-mavic-air-2
20. <https://pdf.directindustry.com/pdf/faro-europe/tech-sheet-faro-laser-scanner-focus3d-x-130/21421-25052.html>
21. <https://www.g-shop.sk/referencne-guleterce-158>
22. KALVODA, Petr, Jakub NOSEK, Michal KURUC, Tomas VOLARIK a Petra KALVODOVA, 2020. Accuracy Evaluation and Comparison of Mobile Laser Scanning and Mobile Photogrammetry Data. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 609. ISSN 1755-1315. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/609/1/012091
23. <https://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf>
24. <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>

ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV

- Obrázok č. 1 Kaple Panny Márie Sněžné [16]
Obrázok č. 2 Totalna stanica Trimble M3[17]
Obrázok č. 3 Prijímač GNSS Trimble R8s[18]
Obrázok č. 4 Mobilný telefón Xiaomi Mi 10 T Pro [19]
Obrázok č. 5 Dron DJI Mavic Air 2S [20]
Obrázok č. 6 Laser Scanner FARO Focus 3D x130 [21]
Obrázok č. 7 Výsledné mračno bodov v RealWorks
Obrázok č. 8 Riedke mračno bodov
Obrázok č. 9 Príklad šachovnicových terčov
Obrázok č.10 Zbavený šumú Dense Cloud v projekte Xiaomi
Obrázok č.11 Znázornenie mesh modelu v projekte Xiaomi
Obrázok č.12 Ukážka nepostačujúcej rekonštrukcie mesh modelu v projekte Xiaomi
Obrázok č.13 Dense Cloud vizualizovaný pomocou hodnoty konfidencie z osvetlenej slnkom strany objektu v projekte Dron
Obrázok č.14 Dense Cloud vizualizovaný pomocou hodnoty konfidencie zo zatienenej strany objektu v projekte Dron
Obrázok č.15 Osvetlená slnkom strana mesh modelu v projekte Dron
Obrázok č.16 Pohľad na mesh model v projekte Dron
Obrázok č.17 Dense Cloud nezbavený šumu v projekte Merge
Obrázok č.18 Dense Cloud zbavený šumu v projekte Merge
Obrázok č.19 Pohľad na mesh model v projekte Merge
Obrázok č.20 Pohľad na vchod do kaplnky v mesh modeli projektu Merge
Obrázok č.21 Detail mesh modelu po zbavení sa Invert Points
Obrázok č.22 Detail mesh modelu pri nezbavení sa Invert Points
Obrázok č.23 Oprava detailov drobných dier mesh modelu v projekte FML
Obrázok č.24 Ukážka opravovaných drobných dier mesh modelu v projekte FML
Obrázok č.25 Ukážka chybného premietnutia textúry lavičky na stenu
Obrázok č.26 Oprava pomocou maskovania
Obrázok č.27 Detail „A“ výsledného 3D modelu
Obrázok č.28 Detail "B" výsledného 3D modelu
Obrázok č.29 Výsledný 3D model kaplnky Panny Marie Sněžné u Tvarožné
Obrázok č.30 Farebné znázornenie analýz vzdialenosti medzi modelom Merge a referenčným mračnom
Obrázok č.31 Farebné znázornenie analýz vzdialenosti medzi modelom FML a referenčným mračnom

ZOZNAM POUŽITÝCH TABULIEK

Tabuľka č.1 Popis parametrov totálnej stanice [17]

Tabuľka č.2 Popis parametrov GNSS prijímača [18]

Tabuľka č.3 Popis parametrov mobilného telefónu [19]

Tabuľka č.4 Popis parametrov dronu [20]

Tabuľka č.5 Popis parametrov laserového skeneru [21]

Tabuľka 6 Mezné odchýlky pre testovanie presnosti pomocou kontrolných bodov na modeli Merge

Tabuľka 7 Mezné odchýlky pre testovanie presnosti pomocou kontrolných bodov na modeli FML

Tabuľka 8 Výsledky analýz vzdialenosti medzi modelom FML a referenčným mračnom

Tabuľka 9 Výsledky analýz vzdialenosti medzi modelom Merge a referenčným mračnom

ZOZNÁM PRÍLOH

- Príloha č. 1 Protokol o výpočte súradníc vlícovacích a kontrolných bodov
- Príloha č. 2 Súradnice vlícovacích a kontrolných bodov
- Príloha č. 3 Protokol z GNSS merania
- Príloha č. 4 Protokol z registrácii mračien bodov Trimble Realworks
- Príloha č. 5 Processing report Projekt Xiaomi Agisoft Metashape Professional
- Príloha č. 6 Processing report Projekt Dron Agisoft Metashape Professional
- Príloha č. 7 Processing report Projekt Merge Agisoft Metashape Professional
- Príloha č. 8 Analýza presnosti výsledných mesh modelov
- Príloha č. 9 Referenčné mračno bodov (iba na USB)
- Príloha č. 10 Mesh model Projekt Merge Agisoft Metashape Professional (iba na USB)
- Príloha č. 11 Mesh model Projekt FML Agisoft Metashape Professional (iba na USB)