

3D rekonstrukce budovy

Bc. Stanislav Hrádela

Diplomová práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Stanislav Hrádela
Osobní číslo:	A18392
Studijní program:	N3902 Inženýrská informatika
Studijní obor:	Bezpečnostní technologie, systémy a management
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	3D rekonstrukce budovy
Téma práce anglicky:	3D Reconstruction of Building

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši zaměřenou na aktuální trendy v oblasti 3D rekonstrukce objektu.
2. Analyzujte metody 3D rekonstrukce interiéru a exteriéru budovy.
3. Proveďte analýzu dostupných softwarových nástrojů využitelných pro tvorbu 3D modelu budovy.
4. Realizujete 3D rekonstrukci modelové budovy prostřednictvím existujících metod.
5. Vytvořte technickou dokumentaci procesu tvorby 3D rekonstrukce budovy.

Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Sansoni, Giovanna, Marco Trebeschi a Franco Docchio. *State-of-The-Art and Applications of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation*. Sensors. 2009, 9(1), 568-601. DOI: 10.3390/s90100568. ISSN 1424-8220.
2. Newnham, Glenn J., John D. Armston, Kim Calders, Mathias I. Disney, Jenny L. Lovell, Crystal B. Schaaf, Alan H. Strahler a F. Mark Danson. *Terrestrial Laser Scanning for PlotScale Forest Measurement*. Current Forestry Reports. 2015, 1(4), 239-251. DOI: 10.1007/s40725-015-0025-5. ISSN 2198-6436
3. Raneri, Domenic. *Enhancing forensic investigation through the use of modern three-dimensional (3D) imaging technologies for crime scene reconstruction*. Australian Journal of Forensic Sciences. 2018, 1-11. DOI: 10.1080/00450618.2018.1424245. ISSN 0045-0618.
4. Urbanová, Petra, Mikoláš Jurda, Tomáš Vojtíšek a Jan Krajsa. *Using drone-mounted cameras for on-site body documentation: 3D mapping and active survey*. Forensic Science International. 2017, 281, 52-62. DOI: 10.1016/j.forsciint.2017.10.027. ISSN 03790738.
5. Eve, Stuart. *Losing our Senses, an Exploration of 3D Object Scanning*. Open Archaeology. 2018, 4(1), 114-122. DOI: 10.1515/opar-2018-0007. ISSN 2300-6560.
6. Jiao, Peifeng, Qifeng Miao, Meichao Zhang a Weidong Zhao. *A virtual reality method for digitally reconstructing traffic accidents from videos or still images*. Forensic Science International. 2018, 292, 176-180. DOI: 10.1016/j.forsciint.2018.09.019. ISSN 0379-0738

Vedoucí diplomové práce: **doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.**
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **15. ledna 2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2021**

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D. v.r.
děkan



Ing. Milan Navrátil, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 15. ledna 2021

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 21.05.2021

Stanislav Hrádela
podpis studenta

ABSTRAKT

Teoretická časť diplomovej práce je zameraná na analýzu skenovacích technológií, ako sú napríklad fotogrametria, laserové skenovanie a využitie štruktúrovaného svetla. Detailnejšie je popísaný vývoj fotogrametrie a jej delenie. Dôležitou súčasťou je aj kapitola o skenovaní softwari, ktorý sa na prácu s modelmi používa. Záver teoretickej časti sa zameriava na 3D modelovanie a jeho využitie v rôznych oblastiach.

Praktická časť práce popisuje výber vhodného objektu na tvorbu 3D rekonštrukcie budovy, postup skenovania objektu, jeho následné spracovanie pomocou počítačového softwaru a testovanie dostupných nástrojov na optimalizáciu modelu. Výsledkom je zdokumentovanie celého procesu rekonštrukcie budovy od merania až po výsledné 3D modely.

Kľúčové slová: 3D model, fotogrametria, laserové skenovanie, Leica BLK360, CapturingReality, mračno bodov

ABSTRACT

Theoretical part of diploma thesis is focused on analysis of scanning technologies, such as photogrammetry, laser scanning and usage of structured light. In more detail is described development of photogrammetry and division. Important part is also chapter about scanning software, which are used for work with models. Conclusion of theoretical part focuses on 3D modeling and its application in various areas.

Practical part describes selection of suitable object for creation of 3D building reconstruction, object scanning procedure, its subsequent processing using computer software and testing of available tools for model optimization. The result is the documentation of the entire process of building reconstruction from measurement to the resulting 3D models.

Keywords: 3D model, photogrammetry, laser scanning, Leica BLK360, CapturingReality, point cloud

Týmto chcem poďakovať svojmu vedúcemu práce, doc. Adámkovi za pomoc, férové jednanie a profesionálne vedenie práce a Ing. Jiřímu Ševčíkovi za pomoc pri praktickej časti práce. Taktiež chcem poďakovať svojej rodine, snúbenici, kamarátom, spolužiakom a kolegom z práce za to, že pri mne stáli a verili, aj keď ja sám som už neveril, že ma nútli písať, aj keď ja sám som sa nevedel prinútiť.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia diplomovej práce a elektronická verzia nahraná do IS/STAG sú totožné.

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČASŤ	9
1 HISTÓRIA	10
2 SKENOVACIE TECHNOLOGIE	12
2.1 FOTOGRAMETRIA	12
2.1.1 Vývoj fotogrametrie	12
2.1.2 Delenie fotogrametrie.....	13
2.1.2.1 Podľa polohy stanoviska.....	14
2.1.2.2 Podľa počtu a konfigurácie snímok	15
2.1.2.3 Podľa technologického postupu spracovania.....	16
2.2 LASEROVÉ SKENOVANIE.....	17
2.2.1 Delenie laserového skenovania	17
2.3 ŠTRUKTÚROVANÉ SVETELNÉ 3D SKENOVANIE	19
3 SKENOVACÍ SOFTWARE	22
3.1 3DF ZEPHYR	22
3.2 AGISOFT METASHAPE	22
3.3 AUTODESK RECAP	22
3.4 COLMAP	23
3.5 MESHROOM.....	23
3.6 REALITYCAPTURE.....	23
3.7 REGARD3D	24
3.8 VISUALSFM.....	24
4 3D MODELOVANIE	27
4.1 VYUŽITIE V KOMERČNEJ SFÉRE	27
4.1.1 Architektúra a archeológia	28
4.1.2 Herný priemysel	32
4.1.3 Forenzné analýzy	35
II PRAKTICKÁ ČASŤ	38
5 ANALÝZA PROJEKTU	39
6 PROJEKTOVÉ RIEŠENIE	41
6.1 BUDOVA TATRY	41
6.1.1 Rozloženie budovy	42
6.1.2 Stav budovy.....	42
6.2 POUŽITÁ TECHNIKA	43
6.2.1 Skenovacie zariadenie - Leica BLK360.....	43
6.2.2 iPad - Aplikácia Leica Cyclone Field 360	45
6.2.3 Proces získavania snímok	47
6.3 CYCLONE REGISTER 360.....	49
6.3.1 Import snímok	49
6.3.2 Registrácia a optimalizácia snímok.....	50
6.3.3 Finalizácia a export dát	54

6.4	REALITYCAPTURE - SOFTWARE NA OPTIMALIZÁCIU 3D MODELOV	57
6.4.1	Exteriér	60
6.4.2	Interiér	62
ZÁVER		69
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY		70
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....		76
ZOZNAM OBRÁZKOV		77
ZOZNAM TABULIEK		79
ZOZNAM PRÍLOH.....		80

ÚVOD

Za posledných 20 rokov sa počítačové technológie posunuli od zariadení ovládaných cez príkazový riadok k mobilným zariadeniam vo veľkosti dlane, prípadne ako náramku na ruke. Veľký rozvoj zaznamenala aj oblasť virtuálnej reality a 3D modelovania. Digitálne modely dnes už nájdeme v mnohých oblastiach ako je filmový, herný a strojársky priemysel. Využitie nachádzajú aj v oblasti architektúry, umenia a histórie. Vďaka týmto technológiám je možné vidieť rímske Koloseum z čias gladiátorov, poprechádzať sa v Sixtínskej kaplnke, alebo si prezrieť interiér nového auta. To všetko z pohodlia domova za pomoci počítača alebo televízie.

Aké technológie môžu stáť za týmito modelmi približuje teoretická časť diplomovej práce. Tu je kladený dôraz na rozbor dostupných skenovacích technológií ako je napríklad fotogrametria, laserové skenovanie alebo využitie štruktúrovaného svetla. Po získavaní dát je dôležitou súčasťou tvorby 3D modelov aj software, ktorému je venovaná samostatná kapitola. V nej sa pojednáva o ich kladoch a záporoch využitia v praxi. V záverečnej kapitole teoretickej časti sa čitateľ môže dozvedieť o využití tvorby modelov v komerčnej sfére, a to konkrétne v architektúre, archeológii, hernom priemysle a forenzných vedách.

Praktická časť diplomovej práce je zameraná na projekt 3D rekonštrukcie interiéru a exteriéru budovy Tatry s pomocou skenovacieho zariadenia Leica BLK360. V jednotlivých kapitolách sa preberá postup skenovania, praktické skúsenosti z terénu a taktiež práca so softwarom určeným na spracovanie mračien bodov a následné možnosti optimalizácie modelu. Na zaznamenanie mračien bodov a panoramatických snímok bol použitý software Leica Cyclone REGISTER 360. K tvorbe a optimalizácii jednotlivých častí modelu poslúžila aplikácia RealityCapture, pričom cieľom bolo testovanie a vplyv optimalizácie na jednotlivé časti modelu.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 HISTÓRIA

Problematikou vytvárania trojrozmerných modelov reálneho sveta sa zaoberajú vedci minimálne od vynálezu fotografie, kde pomocou dvoch snímok jedného objektu z dvoch rozdielnych miest vytvárajú u diváka dojem priestorovej hĺbky. Do príchodu fotografie sa danou problematikou zaoberali umelci, konkrétne maliari, ktorí sa pomocou rôznych techník snažili napodobniť priestorovosť reálneho sveta. Oko diváka však vždy dokázalo ilúziu odhaliť. [1]

Ešte v roku 1838 anglický vedec a vynálezca Charles Wheatstone, ktorý bol taktiež spoluvynálezcom telegrafu [2], publikoval dielo *Príspevky k fyziológii zraku* (Contributions to the Physiology of Vision). V tomto diele popisuje svoje nadobudnuté poznatky v oblasti priestorového vnímania a ako prvý popisuje schopnosť zraku vytvárať trojrozmerné priestorové vnímanie aj na základe dvoch mierne odlišných obrazcov rovnakého objektu. Wheatstoneov dokument popisuje nástroj stereoskop, ktorý je jeho vynálezom. [3]

Prvé stereoskopy si dal na objednávku vyrobiť ešte skôr, a to už v roku 1832, firmou Murray and Heath, ktorá sídlila v Londýne. [4] Tento prístroj používal dve zrkadlá namontované voči sebe v pravom uhle tak, aby poskytli odraz jednej perspektívnej kresby každému oku, čím vytvárali trojrozmerný obraz. Zariadenie sa stalo kľúčovým prvkom v oblasti experimentálnej psychológie, ktorá bola prominentná na univerzitách v Európe a Amerike počas devätnásteho storočia. [3]

V roku 1939, rok po vydaní Wheatstone-ovho článku o stereoskope, jeho priateľ William Henry Fox Talbot zverejnil svoj fotografický proces založený na vytváraní negatívov a pozitívov. Charles Wheatstone bol touto technológiou nadšený a zdôrazňoval jej využitie v stereoskopoch. [2] Je jasné, že práve tieto prelomové technológie sa stali základom pre rozvoj v mnohých oblastiach.

Mnohé teoretické postupy boli samozrejme limitované technologickou vyspelosťou danej doby. Použitie stereoskopickkej analýzy je pripisované obdobiu Prvej svetovej vojny. Vývoj fotografie a letectva umožnil využitie stereoskopickkej fotografie na účely rozvedky, tu sa však stretával s nepochopením a neefektívnym využitím v praxi. Po skončení Prvej svetovej vojny stereoskopická fotografia upadla do zabudnutia a bol to až počiatok Druhej svetovej vojny, kde iba s veľkou nevôľou prijímali vojenské špičky návrhy na využitie fotografií na špionážne účely. [5]

Ďalším významným krokom vpred v oblasti 3D modelov objektov sú počítače. Je nutné podotknúť, že digitálne počítače prvej generácie ako napríklad MARK 1, ENIAC alebo EDSAC, ktoré boli zostrojené v polovici dvadsiateho storočia, boli zamerané primárne na náročné výpočty matematických modelov. Ich rozmery boli enormné. Zaberali celé miestnosti a vážili niekoľko ton. V priebehu nasledujúcich 50 rokov došlo k významným technologickým posunom vo forme znižovania rozmerov, zvyšovania výpočtovej rýchlosti a zlacňovania výroby. Medzi významné vynálezy lemujúce jednotlivé generácie patria vákuové trubice symbolizujúce prvú generáciu, tranzistory druhú, integrované obvody tretiu a mikroprocesory štvrtú generáciu počítačov. [6]

Štvrtú generáciu počítačov môžeme považovať za kľúčovú, nakoľko zaradením mikroprocesorov do počítačovej architektúry došlo k ich enormnému zrýchleniu, zmenšeniu a zmene dizajnu obvodových dosiek. Zatiaľ čo pri pôvodnom dizajne boli komponenty CPU umiestnené na obvodovej doske oddelene vo forme samostatných integrovaných obvodov, pri použití mikroprocesorov je ich možné umiestniť na jeden samostatný čip. [7]

Prvý komerčne vyrábaný mikroprocesor niesol kódové označenie 4004 a bol vyrobený firmou Intel v roku 1971. Jednalo sa o jeden zo 4 čipov rodiny MCS-4, ktoré boli určené pre kalkulačky Busicom 141-PF. S rozmerom o veľkosti ľudskeho nechta mal výkon úmerný počítačom z roku 1946, ktoré zaberali celé miestnosti. 4004 obsahoval 2300 tranzistorov [8] a v roku 2020 ich obsahoval procesor Kirin 9000 od firmy Huawei až 15,3 miliardy. [9]

Výkon počítačov ovplyvnil aj ich využitie, pričom sa presunuli od historických dierovacích štítkov k virtuálnej realite, kde počítač dokáže v reálnom čase zobrazovať často skoro nerozoznateľný digitálny svet. V dobe globálnej pandémie vírusu COVID-19, obmedzeného medzinárodného pohybu osôb a zatvorených historických budov, galérií a iných kultúrnych pamiatok sa fotorealistické modely stávajú často jediným spôsobom, ako otvoriť svoje brány verejnosti. Využitie fotorealistických modelov si však môže nájsť uplatnenie aj vo forenzných vedách, geografii, geodézii alebo ekológii.

2 SKENOVACIE TECHNOLOGIE

Ľudia sa po stáročia snažili nájsť spôsoby akými možno čo najpresnejšie zachytiť rozsiahle a komplexné 3D objekty. Dnes sa nám to bez sofistikovaných kamerových technológií a hardwaru na počítačové spracovanie zdá až nemožné. [10]

Napriek tomu aj dnes zvolené metódy merania častokrát závisia na druhu sledovaného objektu. Tam, kde nie je možné alebo efektívne využívať základné nástroje na meranie, akými sú napríklad meter alebo pravítko, sa dostávajú na rad rôzne druhy skenovacích techník. Takéto situácie môžu napríklad nastať v prípadoch, kedy sa jedná o pre nás nedosiahnuteľný objekt, rozsiahle územie, alebo je potrebné zdokumentovať objekt, ktorý už neexistuje, ale máme k dispozícii jeho fotografie. [11]

V tejto kapitole budú zo skenovacích techník bližšie popísané a priblížené metódy fotogrametrie, laserového skenovania a 3D skenovanie za pomoci štruktúrovaného svetla.

2.1 Fotogrametria

Pojem fotogrametria vznikol zložením troch gréckych slov: *Photos* znamenajúce svetlo, *Gramma* znamenajúce kresliť alebo písať a *Metron* znamenajúce merať. Prvý krát ho použil nemecký architekt A. Meydenbauer v roku 1893. [12] Fotogrametria je veda s viac ako storočnou históriou. Zaoberá sa získavaním kvantitatívnych informácií z analógových alebo digitálnych fotografií. Samotný koncept je však omnoho starší. Významnou osobnosťou zaoberajúcou sa perspektívou, optikou a projekciou objektov bol už v 15. storočí polyhistor Leonardo da Vinci. [13]

2.1.1 Vývoj fotogrametrie

Fotogrametria patrí k vedeckej technológii založenej na viac ako storočnej histórii. Počas tohto obdobia sa menili a vyvíjali prístupy používané na získavanie informácií o objektoch získaných z fotografií. Z techník založených na čisto optickom mechanickom vybavení sa postupne prešlo až do plne digitálneho pracovného postupu. Súbežne s digitalizáciou, dochádza k zjednodušeniu metód a práce na prístrojoch a fotogrametria sa časom stáva oveľa prístupnejšou aj pre nefotogrametristov. [11]

Francúzsky vynálezca a zememerač Aimé Laussedat, ktorý bol priekopníkom leteckej fotogrametrie, videl potenciál vo využití novo vynájdenej kamery na účely kartografie a

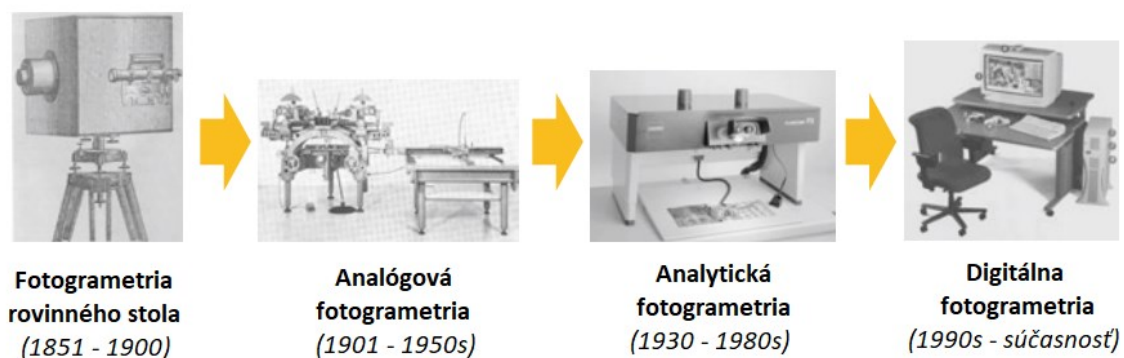
mapovania území už v roku 1851. Táto technológia však bola úspešne použitá až o 50 rokov neskôr. [14]

V raných obdobiach svojho vývoja mala fotogrametria obmedzené použitie a jej zameranie bolo primárne na pozemné prieskumy. Využívala sa najmä na prieskum ťažko dostupných alebo neprístupných objektov, akými boli hory, ťadovce, budovy, atď. [12]

Podmienky Prvej svetovej vojny dopomohli k rozvoju leteckej fotogrametrie. Využitie leteckého snímokovania vzišlo z potreby bojujúcich vojsk mapovať pozície súperov za nepriateľskými líniami, na ktoré nemohli byť použité pozemné techniky. [15] Letecká fotogrametria sa primárne používala na vojenské účely až do konca Druhej svetovej vojny. Po vojne začína jej enormný rozvoj v mierovom využití. [14]

Zásadný rozvoj v nástrojoch využívaných na fotogrametriu však nastal v druhej polovici 20. storočia, kedy sa začínajú používať satelitné fotografie, fotografie vo veľkej mierke, automatické vizuálne skenovanie, vysokokvalitné farebné fotografie, použitie filmov citlivých na žiarenie mimo viditeľné spektrum atď. [14]

S postupom vývoja v priebehu rokov došlo k rozvoju vo výpočtových a zobrazovacích technológiách, čo zásadne zmenilo spôsob implementácie fotogrametrických postupov od tradičnej fotogrametrie rovinného stolu, až po najnovšie využívanú digitálnu fotogrametriu. Postupný vývoj je zobrazený na obrázku 1.



Obrázok 1. Vývoj fotogrametrie - Prevzaté a upravené z [12]

2.1.2 Delenie fotogrametrie

Fotogrametriu možno deliť z pohľadu rôznych technických hľadísk a využívaných technológií, nielen na zostavovanie samotných fotografií, ale aj z pohľadu vyhodnocovania nazbieraných dát. Spravidla sa delí podľa nasledujúcich kritérií: podľa polohy stanoviska, podľa

počtu a konfigurácie vyhodnocovaných snímok a podľa technologického postupu ich spracovania.

2.1.2.1 Podľa polohy stanoviska

Tento typ rozdelenia odpovedá na otázku, odkiaľ bola snímka zachytená. Parametrom pre tento typ delenia je vzájomná vzdialenosť fotogrametrickej komory a predmetu snímania. Z pohľadu polohy stanoviska definujeme pozemnú, leteckú a družicovú fotogrametriu.

- **Pozemná**

Pri pozemnej (terestrickej) fotogrametrii sú snímky zachytávané z fixného bodu na zemi. Pri tomto type snímania je možné (v závislosti na type komory) pracovať s objektami vzdialenými cca 200 m, preto sa nazýva aj „blízka“ fotogrametria. [16]

Náročnosť na technické vybavenie a znalosti je v prípade terestrickej fotogrametrie oveľa menšie ako pri zvyšných dvoch typoch. Pri zachytávaní snímok možno pracovať s dlhšími expozičnými časmi, no zároveň pokrytie väčšej časti územia zaberie dlhší čas. [17]

- **Letecká**

Letecká fotogrametria dnes patrí k najbežnejšie využívaným spôsobom mapovania územia. Jej rozmach nastal počas Prvej svetovej vojny. Až do skončenia Druhej svetovej vojny však bola letecká fotogrametria využívaná primárne na vojenské účely. Po vojne sa enormne rozšírilo jej využitie na mierové účely. [14] Pri tejto metóde sú snímky zachytávané z lietajúceho, pohybujúceho sa nosiča (lietadlo, vrtuľník, balón, letecký model, drony...). Počas letovej dráhy kamera zachytí jednu orientačnú, alebo niekoľko prekrývajúcich sa fotografií, ktoré sú následne vyhodnotené nástrojom, ktorý sa volá stereo plotter. [17]

Výhodou je, že sa pri tejto metóde oproti terestrickej minimalizuje počet zakrytých a slepých priestorov a zároveň v krátkom čase zachytáva rozsiahlu oblasť. [14] Využitie preto nachádza pri snímaní väčších území a ťažko dostupných, alebo nedostupných oblastí, kde sa iná metóda nedá použiť. Nepostrádateľná je aj pri dokumentovaní rýchlo sa meniacich dejov napr. územia zasiahnuté prírodnými katastrofami (povodne, požiare, víchrice,...).

- **Družicová**

Družicová fotogrametria vzniká na základe snímok zachytených z kozmických nosičov na magnetické médiá. Ako kľúčová súčasť prieskumu vesmíru, bola družicová fotogrametria široko využívaná už v 60. rokoch minulého storočia. Dnes sa jedná o bežnú technológiu pri

vytváraní presných máp Zeme a zhromažďovanie dát o vzdialených planétach . Využitie nachádza aj v archeológii, k pozemkovým úpravám alebo štúdiu vzorcov mrakov. [17]

2.1.2.2 Podľa počtu a konfigurácie snímok

Rozdelenie odpovedá na otázku koľko snímok bolo na vyhodnocovanie zachytených. Parametrom pre tento typ delenia je vzájomné usporiadanie polôh komorových staníc a ich smer snímania v okamihu merania.

Z pohľadu počtu zachytených fotografií rozdeľujeme fotogrametriu na jednosnímkovú a viacsnímkovú, pričom viacsnímkovú vieme rozdeliť ešte na stereofotogrametriu a priesekovú fotogrametriu.

- **Jednosnímková**

Jedná sa o časť fotogrametrie, pri ktorej sú využívané samostatné snímky. Zo snímok sú následne zisťované plošné geometrické vlastnosti objektov. Pretože je na snímke možné umiestniť len rovinné súradnice, využitie tejto metódy nachádza uplatnenie len pri snímaní predmetov rovinných, alebo blízkych rovinným. Praktickým príkladom je napríklad zameriavanie fasád domov pri pozemnej fotogrametrii alebo polohopisné skúmanie rovinatého územia pri leteckej fotogrametrii. [18]

Vzťah využívaný pri tejto metóde je vyjadrený projektívnou transformáciou obrazu v rovine snímky do roviny plánu alebo mapy. [19]

- **Viacsnímková**

Táto metóda spracováva dva alebo viac prekrývajúcich sa snímok, kedy je predmet merania zachytený na všetkých skúmaných snímkach. Vďaka použitiu dvoch a viac snímok je možné vyhodnotiť priestorové súradnice snímaného objektu. [20]

Pokiaľ sú vyhodnocované dve snímky, s približne rovnobežnou osou záberu, pri ktorých je využitý stereoskopický vnem, hovoríme o stereofotogrametrii. Ak je vyhodnocovaných tri a viac snímok, kde sa osy záberu zbiehajú hovoríme o priesekovej fotogrametrii. Využitie viacsnímkovej fotogrametrie nachádza uplatnenie všade tam, kde je potrebné pracovať s priestorovou štruktúrou objektu, alebo pokiaľ je vyžadovaná vysoká presnosť.

Prieseková fotogrametria je optimálna na tvorbu 3D modelov, ktoré majú dobre rozpoznateľné hrany a menej členitý povrch a stereofotogrametria je vhodnejšia na snímanie objektov s členitým a nepravidelným povrchom na jeho detailné spracovanie. [21]

2.1.2.3 Podľa technologického postupu spracovania

Delenie fotogrametrie podľa technologického postupu spracovania odpovedá na otázku ako boli získané snímky následne spracované.

Pri postupoch spracovania rozlišujeme štyri základné metódy, a to grafické, analógové, analytické a digitálne.

- **Grafické metódy**

Grafická metóda patrí k starším technikám spracovania snímok vo fotogrametrii. Pri tejto metóde sú snímky vyhodnocované za pomoci deskriptívnej geometrie. Metóda bola dlho využívaná najmä v leteckej fotogrametrii, počas Prvej svetovej vojny. Prvé postupy a nástroje, ktoré by zvyšovali presnosť a rýchlosť zakresľovania, boli primárne vyvinuté pre pozemnú fotogrametriu a v ostatných oblastiach sa vyvíjajú až neskôr. [22]

- **Analógové metódy**

Táto metóda sa začína vyvíjať v sedemdesiatych rokoch minulého storočia. Prvá generácia prístrojov pracovala na princípe optickej, prípadne mechanickej rekonštrukcie stavu pri snímkaní. Prístroje využívané pri analógovej metóde sú zložité, drahé na údržbu, vyžadujú špeciálne zaobchádzanie, častú kalibráciu a na prácu s nimi je potrebný zácvik špeciálne vyškolených pracovníkov. [22]

- **Analytické metódy**

Analytické metódy transformujú snímkové súradnice do geodetických súradníc pomocou exaktných matematických vzťahov, za použitia počítačov. Metódu je možné použiť na takmer akýkoľvek snímok, u ktorého sú dostupné kalibračné dáta.

Analytické nástroje boli pôvodne oveľa drahšie ako analógové. S rapidným poklesom ceny výpočtovej techniky v osemdesiatych rokoch minulého storočia, sa stali oveľa lacnejšími ako analógové metódy.

Výhodou metódy následne bolo, že je relatívne lacná a oproti predchádzajúcim metódam ponúka možnosť automatizácie. Jej prvenstvo medzi prístupmi však netrvalo dlho, pretože už začiatkom deväťdesiatych rokov začínajú dominovať metódy digitálne. [22]

- **Digitálne metódy**

Pre tieto metódy je ako vstupná informácia použitý digitálny obraz. Môže sa jednať o klasickú snímku, ktorá bola naskenovaná, alebo snímku vytvorenú priamo digitálnym

fotoaparátom. Snímkové súradnice sú následne merané na monitore. Vytvorenie priestorového vnemu obrazu vyžaduje použitie špecializovaného software alebo hardware.

Výhodami digitálnych metód je v prvom rade možnosť využitia automatizácie. Vďaka urýchleniu a zjednodušeniu množstva procesov nie je vyžadované náročné školenie pracovníkov a po prvýkrát sa s príchodom digitálnych metód otvorili možnosti využitia fotogrametrie aj pre bežných ľudí. [22]

2.2 Laserové skenovanie

Laserové skenovanie sa za posledné roky stalo alternatívou k fotogrametrii a v súčasnosti patrí k najprogressívnejšie sa rozvíjajúcim metódam. Zároveň sa jedná o najmodernejšiu metódu slúžiacu k zberu 3D dát o objektoch a javoch na Zemi.

Skenovanie poskytuje užívateľovi v priebehu krátkeho časového úseku veľké množstvo aktuálnych dát s vysokou presnosťou. Meranie vzdialenosti prebieha na základe výpočtu rýchlosti pulzu laserového lúča, ktorý sa odrazil od snímaného objektu. Hlavnými súčasťami typického lidar (z angl. Light Detection And Ranging) je preto vysielač a prijímač. [23]

Primárnym výstupom laserového skenovania je súbor 3D súradníc odrazených bodov, tzv. mračno bodov. Po následnom spracovaní môže byť finálnym výstupom spracovania dát napríklad detailný model terénu.

Výhoda tohto typu skenovania oproti bežným metódam merania je v prvom rade vysoká presnosť a hustota meraných bodov, relatívne krátka doba na získanie veľkého množstva dát a vysoká automatizácia v spracovaní nameraných dát.

2.2.1 Delenie laserového skenovania

Podľa spôsobu skenovania delíme laserové skenovanie na pozemné, mobilné a letecké laserové skenovanie. Najhustejšie mračná bodov zachytáva pozemné laserové skenovanie. To však možno použiť len k mapovaniu jednotlivých objektov, budov, alebo malých území, kvôli tomu, že metóda je pri zbere dát náročnejšia. Mobilné laserové skenovanie vytvára hustejšie mračná bodov než letecké laserové skenovanie a zároveň dokáže efektívnejšie mapovať rozsiahlejšie územia ako pozemné skenovanie. Letecké laserové skenovanie vytvára oproti zvyšným dvom metódam najmenej husté mračná bodov, ale zároveň sa jedná o najefektívnejší spôsob mapovania rozsiahlych a ťažko dostupných území. [4]

V súčasnosti majú tieto systémy často zabudované kamerové senzory, ktoré zároveň dokážu zaznamenávať video a mračnu bodov pridelia informáciu o farbe tým, že každému z jeho bodov je priradená RGB hodnota. [24]

- **Pozemné laserové skenovanie (TLS)**

TLS patrí k bežným technikám laserového skenovania. Vo všeobecnosti má podobné rozsahy a skenováciu geometriu ako mobilné laserové skenovanie. Oproti nemu je ale pri zbere dát flexibilnejšie, keďže limitáciu mobilného skenovania predstavuje dostupnosť pozemných komunikácií. [24]

Pri skenovaní objektu je potrebné vykonať niekoľko skenov obkolesujúcich objekt, aby bol zachytený čo najväčší detail. V súčasnosti je neodmysliteľnou súčasťou geodézie.

- **Mobilné laserové skenovanie (MLS)**

Pri tomto type skenovania je systém MLS najčastejšie namontovaný na vozidle a spolu s použitým navigačným systémom k určeniu polohy zachytáva podrobné informácie o vozovke a okolí vo forme mračien bodov. [24]

Nosičom skeneru je najčastejšie automobil, koľajové vozidlo, loď alebo človek. Pre správne vyhodnotenie polohy bodov je potrebné poznať presnú polohu nosiča a smer merania v každom okamihu merania.

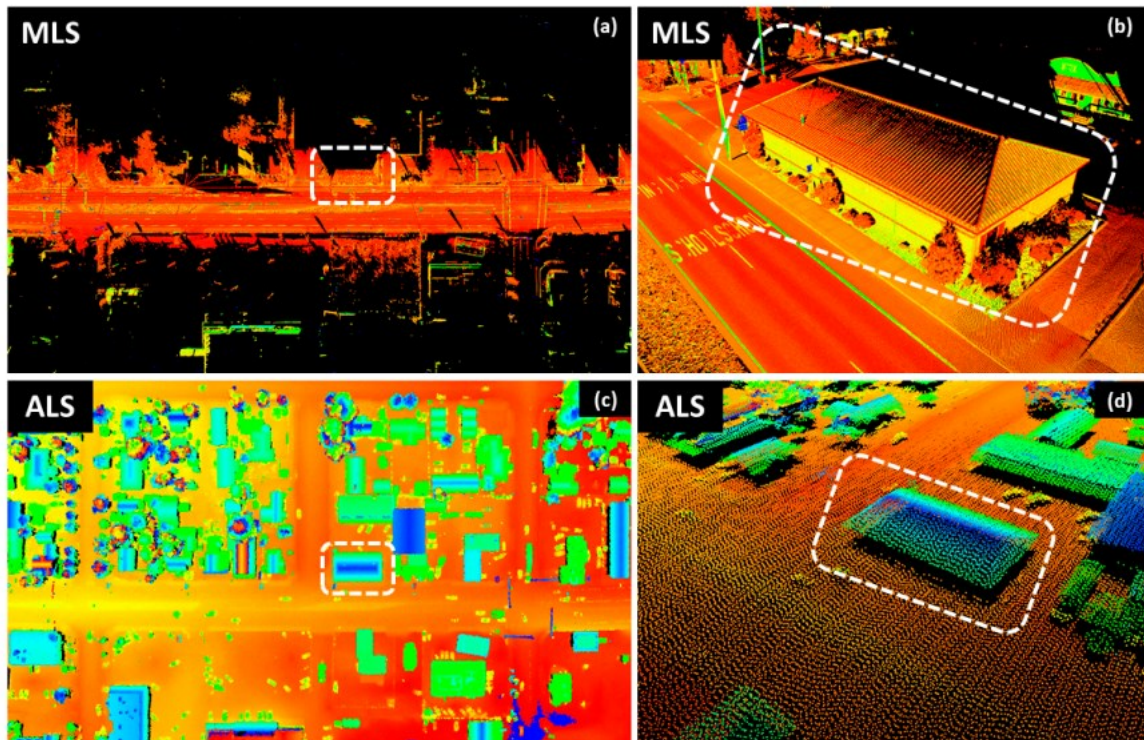
Dáta z MLS poskytujú podobné informácie ako dáta letecké. Pri skenovaní zo zemského povrchu nastáva problém pri skenovaní zakrytých priestorov. Tento problém je možné vyriešiť viacerými prejazdami mobilných systémov, prípadne použitím viacerých skenerov s odlišnými uhlami záberu. Oproti leteckému laserovému skenovaniu je možné snímať povrchy pod mostami alebo vo vnútri tunelov.

- **Letecké laserové skenovanie (ALS)**

Jedná sa o pôvodne vojenskú technológiu. Dnes je najbežnejšie používanou formou laserového skenovania, pri ktorej sú dáta zbierané z lietadla. [24]

ALS je navrhnuté tak, aby sa pozeralo smerom dole a snímalo terén a vrcholy objektov, zatiaľ čo metódy PLS a MLS sa pozerajú na objekty z boku s výhľadom zo zeme. Ako je vidieť na obrázku 2, toto má za následok zvýšený šum, pokiaľ sa jedná o snímanie zvislých plôch, akými sú napríklad fasády budov. [24]

Vzniknutý šum je na obrázku vidieť pri snímaní detailu budovy metódou ALS (Obrázok 2 (d)) oproti metóde MLS (Obrázok 2 (b)). Naopak je vidieť lepšiu úspešnosť metódy ALS pri zachytávaní vrcholov objektov (Obrázok 2 (c)) oproti MLS metóde (Obrázok 2 (a)).



Obrázok 2. Porovnanie snímania metódami MLS a ALS - Prevzaté z [24]

2.3 Štruktúrované svetelné 3D skenovanie

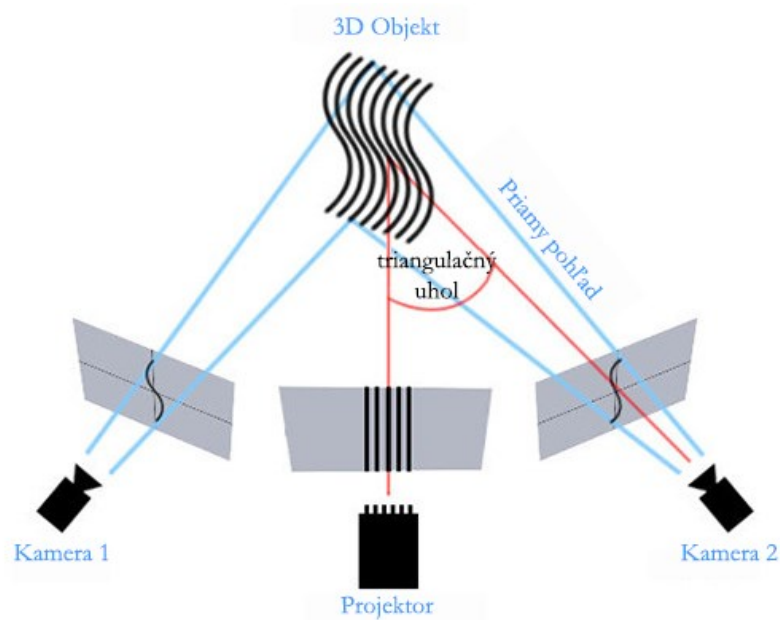
Vďaka rozvoju výpočtových metód, grafiky a optiky sa v posledných rokoch stávajú stále populárnejšími a bežnejšími techniky 3D skenovania. Mnoho techník 3D skenovania dokáže s vysokým pokryvom prevádzať skenovanie s rýchlou v reálnom čase, alebo dokonca rýchlejšie. [25]

Jednou z takýchto metód je skenovanie pomocou štruktúrovaného svetla. Metóda nachádza vysoké uplatnenie najmä vďaka potenciálnej rýchlosti získavania dát, bezkontaktnéj povahe, dostupnosti potrebného hardwaru a vysokej presnosti merania. Používa sa napríklad aj v rôznych oblastiach medicíny a biológie. [26]

Metóda 3D skenovania pomocou štruktúrovaného svetla funguje tak, že na snímaný objekt je premietaný stabilný svetelný vzor. To, ako štruktúra objektu deformuje svetelný vzor, je zachytávané minimálne jednou kamerou (najčastejšie sa používajú dve kamery), ktorá je

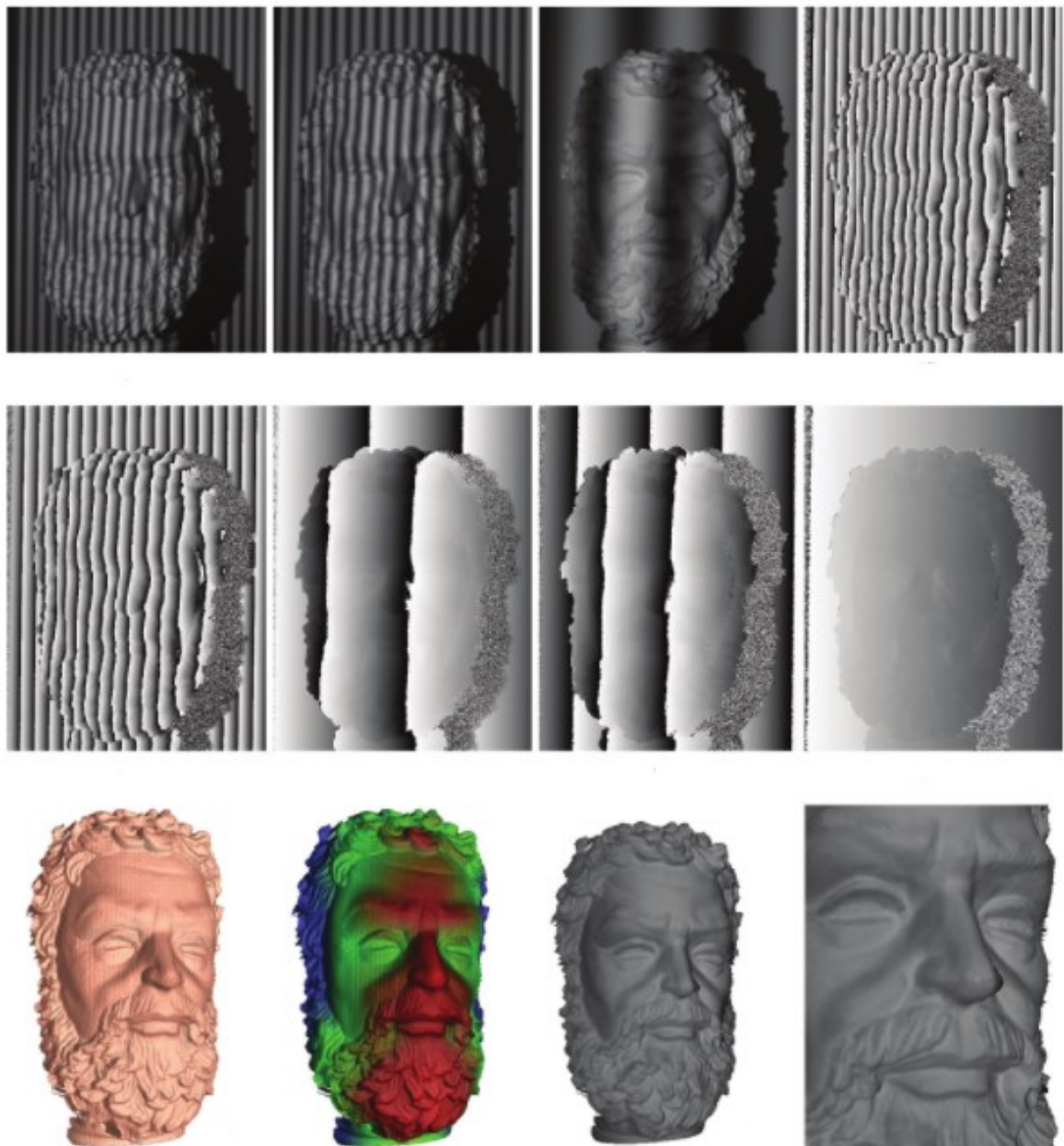
ľahko odsadená od projektoru. Následne sa vypočítava vzdialenosť každého bodu v zornom poli. [27]

Kompozíciu pri štruktúrovanom svetelnom 3D skenovaní zobrazuje obrázku 3.



Obrázok 3. Kompozícia pri štrukt. svetelnom 3D skenovaní – Prevzaté a upravené z [27]

V procese skenovania sa najčastejšie používa modré alebo biele svetlo a vzor svetla najčastejšie pozostáva z radu pruhov, ale môže mať tiež tvar matice bodov, prípadne iných tvarov. [27] Na obrázku 4 je znázornená konkrétna aplikácia tejto techniky pri 3D rekonštrukcii busty.



Obrázok 4. Využitie štruktúrovaného svetelného 3D skenovania pri rekonštrukcii busty - Prevzaté z [27]

3 SKENOVACÍ SOFTWARE

Fotogrametrické softwary obvykle pracujú tak, že program automaticky zachytí zdieľané body medzi jednotlivými snímkami a vypočítava ich vzdialenosť v 3D priestore. Na základe toho vzniká mračno bodov, ktoré sa transformuje do 3D siete. Niektoré pokročilejšie fotogrametrické programy tiež obsahujú nástroje, ktoré dokážu tieto mračná bodov čistiť a optimalizovať. [28] Niektoré z najznámejších a najbežnejšie používaných programov budú popísané nižšie.

3.1 3DF Zephyr

Tento program sa radí k profesionálnym fotogrametrickým programom so zachovaným užívateľsky prívetivým prostredím. Pre začiatočníkov je dostupný sprievodca. Celý proces je automatizovaný s možnosťou zasahovať do procesu a dokresľovať napríklad rôzne tvary. [28]

Jedná sa však o pomalšie riešenie a spracovanie základného skenu trvá aj niekoľko hodín. Dostupné sú aj výpočty kvalitnejších skenov, pričom ten s najvyššou kvalitou je pre bežných užívateľov skrytý, aby nedošlo k potenciálnemu zahlteniu počítača. [29]

Program je možné stiahnuť zdarma s obmedzeným počtom 50 vložených obrázkov na rekonštrukciu. V prípade, že to nie je pre prácu dostačujúce, je možné zaobstaranie platenej verzie.

3.2 Agisoft Metashape

Tento software je často využívaný najmä pre geografické informačné systémy, dokumentáciu kultúrneho dedičstva, herný priemysel a tvorbu vizuálnych efektov. Program umožňuje upravovať mračno bodov ešte pred vygenerovaním 3D zhľuku. Týmto spôsobom program dokáže rozlišovať medzi rôznymi naskenovanými objektami ako sú napríklad budovy a okolité stromy a dokáže ich filtrovať. Program je postavený na strojovom učení, kedy sú dáta užívateľov spoločne zdieľané, čím sa zlepšuje výpočtový algoritmus programu a čím viac užívateľov bude program používať, tým bude v budúcnosti pokročilejší. [29]

3.3 Autodesk ReCap

Tento program patrí vo svojej triede k najvyspelejším, ale obvykle nie je prvou voľbou pre začiatočníkov. Dokáže vytvárať priamo 3D skeny vhodné na tlač bez nutnosti použitia iného

programu. [29] Disponuje dvoma základnými módmi, jedným na spracovanie leteckej fotogrametrie a druhým pre blízku fotogrametriu. Software dokáže okrem fotografií pracovať aj s laserovými skenmi. [28]

Programu chýbajú určité drobnosti ako napríklad to, že v priebehu výpočtu nezobrazuje progres a nie je možné odhadnúť koľko výpočet potrvá. [29]

3.4 COLMAP

Program je možné spúšťať cez príkazový riadok alebo štandardným spôsobom cez grafické užívateľské prostredie. Nakoľko bol program vytvorený pre výskumné účely a výskumníkmi, tak ponúka množstvo pokročilých nastavení a nie je najvhodnejší pre tých, ktorí potrebujú rýchlo a jednoducho vygenerovať 3D zhluk. V programe je možné pracovať len s hustým mračnom bodov a na následné čistenie a vylepšovanie zhluku je potrebné použiť iný program. [28]

3.5 Meshroom

Meshroom patrí taktiež k voľne dostupným programom postaveným na pracovnom postupe založenom na uzloch, ktoré spájajú všetky kroky k výslednej tvorbe 3D modelu. [28] Pre nových používateľov je tento postup výhodný z toho pohľadu, že v jednotlivých krokoch im stačí stlačiť len tlačidlo „štart“ a zvyšok za nich spraví počítač. Odborníci, ktorí už poznajú požadované parametre dokážu meniť a pretrasovať jednotlivé uzly a súčasným kombinovaním vytvárať robustné zhluky. [29]

3.6 RealityCapture

Software je schopný vytvárať presné 3D modely zo širokej škály vstupných dát. Jednou z výhod programu je jeho jednoduché a intuitívne užívateľské prostredie s bohatou funkcionalitou. Program zároveň nevyžaduje na výpočty extrémne náročný hardware. [28] To, čo ho ale významne odlišuje od ostatných programov, je jeho nízka výpočtová rýchlosť. Cena za licenciu je porovnateľná s inými riešeniami, ale verzia, ktorá zahŕňa aj spracovanie laserových skenov, je oveľa nákladnejšia. Alternatívou je balík, ktorý umožňuje užívateľovi prístup ku všetkým funkcionalitám až do momentu uloženia výsledkov. [29]

3.7 Regard3D

Regard 3D ponúka na svojich stránkach množstvo tutoriálov a sprievodcov používaním programu. Aj preto je vhodnou voľbou pre začiatočníkov, ktorí môžu experimentovať s nastaveniami tak, aby získali najlepší výsledok skenu. Software dokáže pracovať len s kamerami, ktoré sú uložené v databáze programu. [29] Zaujímavou funkcionalitou je možnosť upravovať mračno bodov pred samotným vygenerovaním 3D zhluku. [28]

3.8 VisualSFM

VisualSFM patrí tiež k voľne dostupným programom, ktorý je možné spúšťať v príkazovom riadku alebo cez grafické užívateľské prostredie. Je zdarma, ale len pre osobné, nie ziskové alebo akademické použitie. [28] Počas čakania na výsledok môže užívateľ v reálnom čase sledovať proces rekonštrukcie mračna bodov. Na konverziu mračna bodov do trojrozmerného modelu je potrebné použiť ďalší program. [29]

Na stránkach [28] bo vytvorený zoznam najlepších, aktuálne dostupných, fotogrametrických softwarov, v ktorom možné nahliadnuť na základné parametre jednotlivých programov. Časť tohto prehľadu je uvedená v tabuľke 1.

Tabuľka 1. Vybrané druhy softwaru - prevzaté z [28]

Názov	Výstupný formát	Operačný systém	Cena*
3DF Zephyr	ply, obj, fbx, pdf 3D, u3d, dae, pts, ptx, xyz, txt, las, e57	Windows	Limitovaná verzia zdarma a platená verzia od 149€ + DPH
Agisoft Metashape	fbx	Windows, macOS, Linux	Od 179\$
Autodesk ReCap	asc, cl3, clr, e57, fls, fws, isproj, las, pcg, ptg, pts, ptx, rds, txt, xyb, xyz, zfs, zfprij	Windows	Od 40\$/ mesačne alebo 325\$/ ročne
COLMAP	ply, vrml	Windows, macOS, Linux	Zdarma
Meshroom	abc, obj	Windows, Linux	Zdarma
RealityCapture	jpg, png, XYZ, XYZRGB, tiff, bmp, dib, rle, jpeg, jpe, jfif, exif, exr, tif, wdp, jxr, dds, KML, KMZ, obj, ply, partlist, fbx, dxf, dae, bvh, htr, tre, asf, amc, c3d, aoa, mcd, wmv, mp4	Windows	Od 19,90\$ za obmedzený balík alebo 249\$/ ročne
Regard3D	obj, ply	Windows, macOS, Linux	Zdarma
VisualSFM	ply	Windows, macOS, Linux	Zdarma

* k 02/2021

Porovnanie softwarov z pohľadu prínosu pre užívateľa je uvedený v tabuľke 2.

Tabuľka 2. Porovnanie vybraných software – prevzaté z [29]

Názov	Kvalita*	Rýchlosť	Funkcionalita	Užívateľské prostredie	Cena
3DF Zephyr	● ● ● ● ○	● ● ● ○ ○	● ● ● ● ●	● ● ● ● ○	● ● ● ● ●
Agisoft Metashape	● ● ● ● ○	● ● ○ ○ ○	● ● ● ● ○	● ● ● ○ ○	● ● ● ● ○
Autodesk ReCap	● ● ● ● ●	● ● ● ○ ○	● ● ● ○ ○	● ● ● ● ●	● ○ ○ ○ ○
COLMAP	● ● ● ● ○	● ● ● ● ○	● ● ○ ○ ○	● ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ●
Meshroom	● ● ● ● ○	● ● ○ ○ ○	● ● ○ ○ ○	● ● ○ ○ ○	● ● ● ● ●
RealityCapture	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ○	● ● ● ● ●	● ● ○ ○ ○
Regard3D	● ● ● ○ ○	● ● ○ ○ ○	● ● ○ ○ ○	● ● ● ○ ○	● ● ● ● ●
VisualSFM	● ● ● ○ ○	● ● ● ○ ○	● ● ○ ○ ○	● ● ● ○ ○	● ● ● ● ●

* ● ● ● ● ● najvyššie skóre

○ ○ ○ ○ ○ najnižšie skóre

4 3D MODELOVANIE

3D modelovanie môžeme zjednodušene definovať ako proces, pri ktorom sa za pomoci špecializovaného softwaru vytvára trojrozmerná digitálna vizualizácia reálneho objektu. S takýmto objektom je možné na obrazovke ďalej pracovať, otáčať ho, prevracat' alebo inak manipulovať. K výhodám, ktoré 3D modelovanie prináša patrí predovšetkým presné plánovanie, reálna vizualizácia a rýchlosť. [30]

4.1 Využitie v komerčnej sfére

V závislosti na druhu skenovaného objektu závisí typ zvolenej skenovacej metódy.

Výhodou fotogrametrie je jej dobrá identifikácia hrán pre vyhodnocovanie, naopak táto technológia oproti laserovému skenovaniu dáva menší počet bodov a presnosť metódy so vzdialenosťou klesá. Využitie fotogrametrie je vhodné napríklad aj pre hladké objekty, tekutiny, piesok a mraky, s ktorými môžu mať ostatné metódy problém. Ďalej je často využívaná aj pri meraní rýchlo sa pohybujúcich objektov, vln alebo zvierat. V priemysle sú využívané vysokorýchlostné kamery napríklad na zber dát o deformačných procesoch pri nárazových testoch s autami. [11]

Laserové skenovanie oproti fotogrametrii poskytuje rýchly zber obrovského množstva bodov, ktoré priamo vytvárajú mračno bodov. So zvyšujúcou sa vzdialenosťou zostáva presnosť metódy merania takmer konštantná. Problém tejto metódy nastáva pri skenovaní lesklých povrchov, kedy sa vysielaný lúč odrazí od povrchu objektu a dopadá mimo prijímač. Metóda zároveň horšie identifikuje hrany objektu ako fotogrametria. Na zber a spracovanie mračna bodov je tiež potrebný špecializovaný software a hardware, ktorý je drahý a zároveň rýchlo starne.

Využitie skenovania objektu za pomoci štruktúrovaného svetla je výhodné vďaka vysokej rýchlosti a presnosti skenovania s vysokým rozlíšením. Nevýhodou však je vysoká citlivosť na svetelné podmienky a napríklad práca s týmto typom techniky je vonku extrémne náročná. S tým súvisí aj využitie tejto metódy skenovania primárne pre malé a blízke objekty. [27]

Skenovacie technológie a následné 3D modelovanie nachádzajú uplatnenie v širokej škále oblastí. Využívajú sa v autonómnych vozidlách, dronoch, robotoch, v oblastiach priemyslu, medicíny, vedy, v komerčnom využití a v mnohých ďalších oblastiach. [23]

V ďalšej časti bude priblížené využitie skenovacích metód v oblastiach architektúry a archeológie, v hernom priemysle a pri forenzných analýzach.

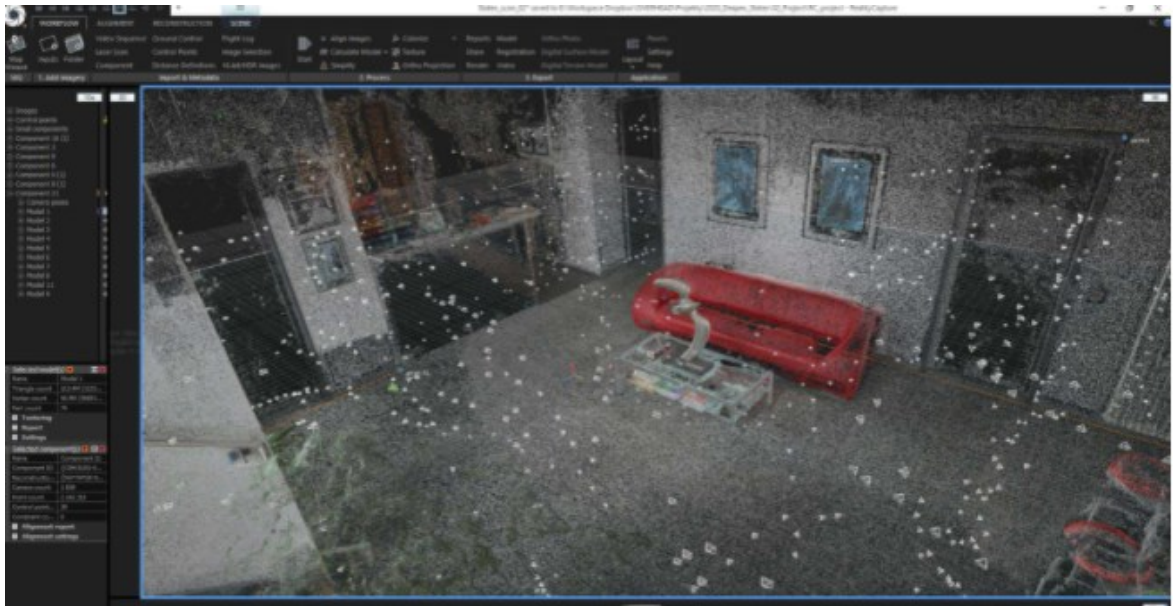
4.1.1 Architektúra a archeológia

Nástroje 3D modelovania sú vo veľkej miere využívané v oblastiach dizajnu interiérov a exteriérov, revíziách, opravách a renováciách nielen budov, ale aj mostov a iných objektov. Ďalej sa využívajú pre architektonické účely, biznis s realitami a dokumentáciu historických pamiatok a ich rekonštrukciu. Pri 3D skenovaní je možné ušetriť čas, ktorý by bol potrebný napríklad pre manuálne domeriavanie alebo opakované cestovanie na tieto miesta. Po naskenovaní objektu je následná technická dokumentácia vykonávaná pomocou špecializovaných softwarov mimo objekt. [31]

Život počas svetovej pandémie taktiež v mnohých firmách a odvetviach pozmenil zabehnuté procesy a prinútil ich prispôbiť sa úplne novej situácii, častokrát práve zdigitalizovaním. Odhliadnuc od obrovského rozmachu 3D virtuálnych prehliadok významných miest je zaujímavým príkladom aj projekt jednej dizajnerskej firmy zo Slovenska. [32]

Vzhľadom na to, že v aktuálnej situácii nebolo možné cestovať za zákazníkom, aby si firma nafotila stávajúci vzhľad interiéru, poskytla zákazníkovi krátke online školenie týkajúce sa zachytávania snímok pre fotogrametrické využitie. Na základe tohto školenia si zákazník dokázal sám bežným fotoaparátom nafotiť snímky, ktoré boli následne využité na fotogrametriu a vytvorenie 3D modelu priestoru. Napriek tomu, že priestor nebol zachytený profesionálom a chýbali presné GPS súradnice, bolo možné s použitím špecializovaného software vytvoriť plány a vizualizáciu priestoru. [32]

Spracovanie dát získaných na re-dizajn priestoru je zobrazené na obrázku 5. Na obrázku 6 je zobrazený výsledok re-dizajnu priestoru len na základe fotografií od zákazníka.



Obrázok 5. Spracovanie dát na re-dizajn priestoru v programe RealityCapture – Prevzaté z [32]



Obrázok 6. Redizajn priestoru v programe RealityCapture – Prevzaté z [32]

Využitie fotogrametrie a laserového skenovania má svoje uplatnenie aj pri starších a historických objektoch.

Pri návšteve historických miest, z ktorých sú dnes už z veľkej časti len ruiny, je niekedy ťažké predstaviť si, ako vyzerali v čase svojej najväčšej slávy. Informačné a digitálne technológie dnes hrajú dôležitú rolu aj v tejto oblasti.

Zaujímavým príkladom sú kúpele Caracalla v Ríme, ktoré sa stali prvým archeologickým miestom v Taliansku, ktoré je celé namodelované v 3D. Kúpele Caracalla sú najlepšie zachovanými kúpeľmi starovekého Ríma a ich hrubá konštrukcia zostala takmer nezmenená. Aj vďaka 3D skenovaniu sa podarilo zrekonštruovať celý priestor pamiatky. Rekonštrukcia

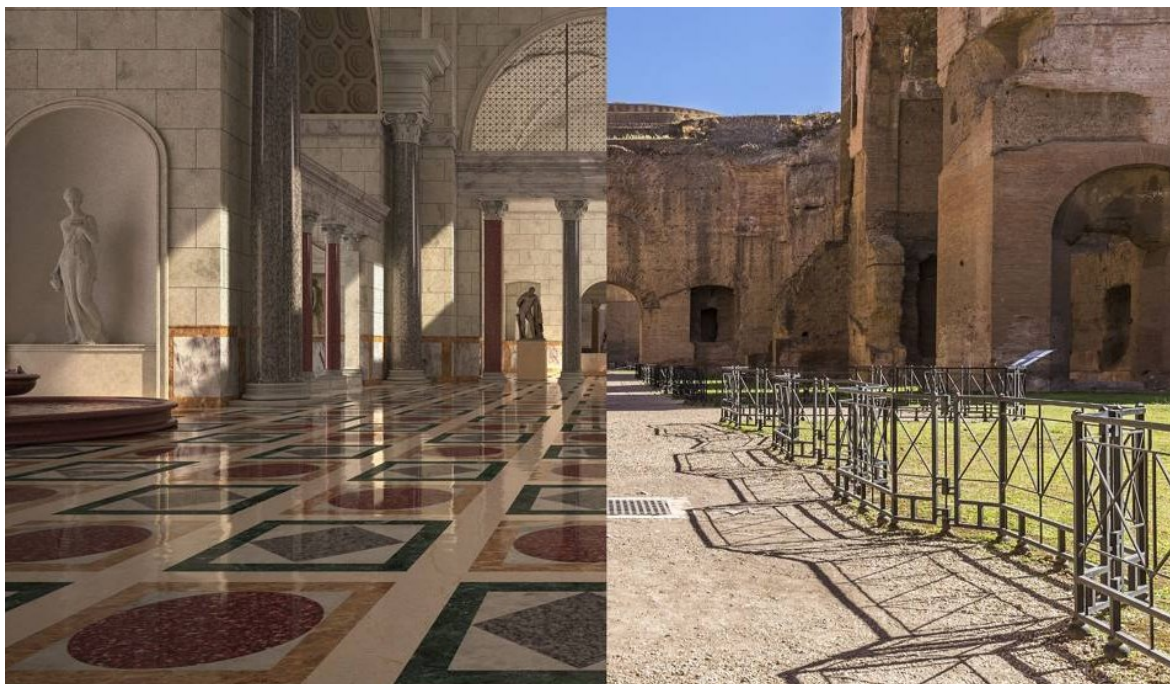
pamiatky vznikla za pomoci laserového skenovania a množstva fotogrametrických analýz. Na základe historických poznatkov je známe napríklad aj to, ktoré sochy sa v kúpeľoch nachádzali. Sochy, ktoré je dnes možné nájsť v niektorom z múzeí, boli rekonštruované samostatne. [33]

Návštevník teda môže za pomoci špeciálnych okuliarov s virtuálnou realitou prechádzať po pamiatke a vidieť ju v 360 stupňovom uhle tak, ako vyzerala v čase svojej slávy. Na tomto projekte sa podieľalo niekoľko historikov a vedcov z rôznych inštitúcií a rekonštrukcia pamiatky vznikla na základe 30 ročného výskumu. [33]

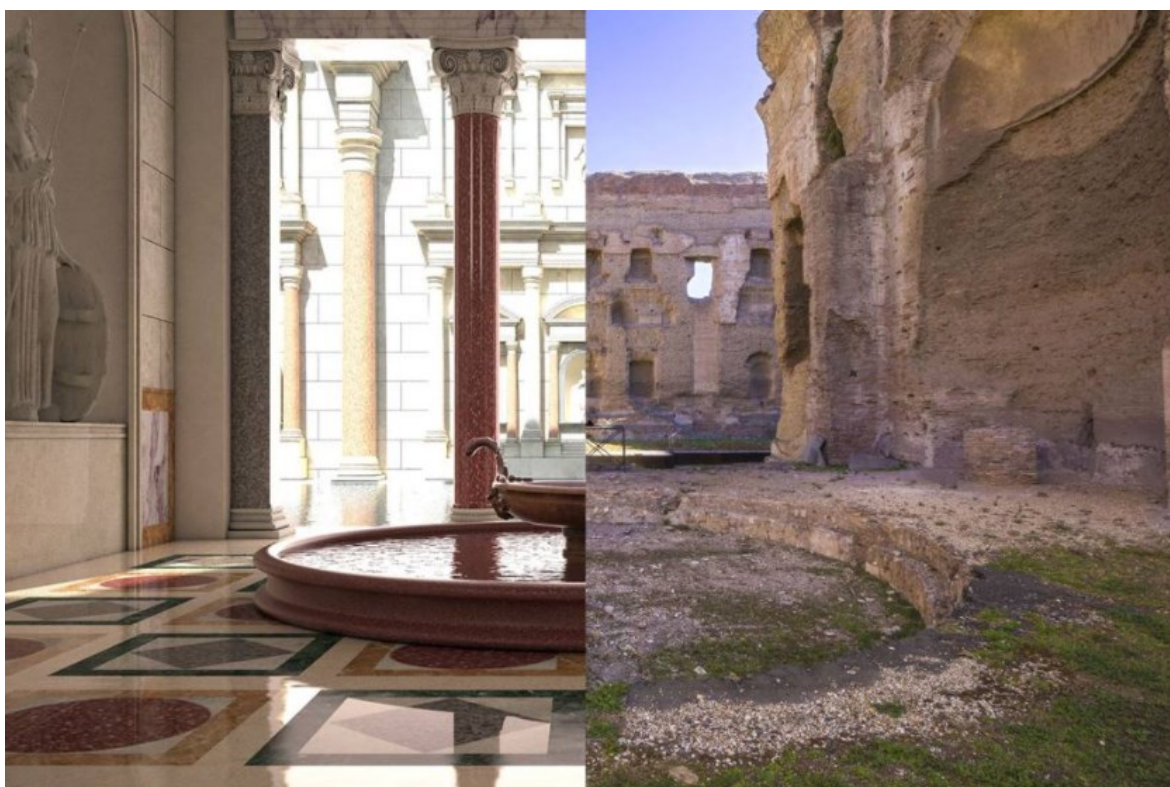
Ukážky z kúpeľov Caracalla v Ríme sú zobrazené na obrázkoch 7 až 11.



Obrázok 7. Obvodový múr interiéru bez strechy v kúpeľoch Caracalla - Prevzaté z [34]



Obrázok 8. Vstupná hala v kúpeľoch Caracalla - Prevzaté z [34]



Obrázok 9. Fontána pred vstupom do bazénov v kúpeľoch Caracalla - Prevzaté z [34]



Obrázok 10. Šatne v kúpeľoch Caracalla - Prevzaté z [34]



Obrázok 11. Detail sochy v kúpeľoch Caracalla - Prevzaté z [34]

4.1.2 Herný priemysel

Metódy 3D skenovania nachádzajú stále väčšie uplatnenie aj v hernom priemysle. S ich pomocou je možné vytvárať ultra-realistické 3D prvky vecí, postáv a scenérie.

Mapy a priestorové aspekty sú základom virtuálnych svetov alebo simulácie reálneho prostredia používaného vo videohrách. Napríklad hra „Call of Duty“ bola zasadená do prostredia Iraku, hra „Grand Theft Auto“ do Kalifornie. [35]

Séria hier „Assassin's Creed“ je zasadená do viacerých významných miest a historických období. Práve táto hra je významná z pohľadu používania mapovania monumentálnych budov jednotlivých miest. Na obrázku 12 až 14 sú zobrazené porovnania naskenovaných stavieb v hre Assassin's Creed a v skutočnosti.



Obrázok 12. Katedrála sv. Pavla v Londýne, vľavo hra Assassin's Creed, vpravo realita -
Prevzaté a upravené z [36] a [37]



Obrázok 13. Mestská radnica Hôtel de ville v Paríži, vľavo hra Assassin's Creed,
vpravo realita - Prevzaté a upravené z [38] a [39]



Obrázok 14. Westminsterský palác v Londýne, vľavo hra Assassin's Creed, vpravo realita -
Prevzaté a upravené z [40] a [41]

Kvôli zvýšeniu zážitku z hry je veľkosť herného sveta oveľa menšia ako veľkosť reálneho sveta a postavy v hrách sa oproti skutočným ľuďom pohybujú oveľa rýchlejšie. Vzhľadom na grafickú náročnosť sú v mierke 1:1 s reálnym svetom skenované len významné monumenty a nie aj všetky ostatné budovy a ulice mesta. Toto je vidieť na obrázku 15 a obrázku 16. Snímka 15 znázorňuje katedrálu Notre Dame v Paríži a jej okolie namapované v hre Assassin's Creed. Snímka 16 znázorňuje katedrálu Notre Dame v Paríži a jej okolie namapované na stránke Google Maps.



Obrázok 15. Katedrála Notre Dame v Paríži v hre Assassin's Creed – Prevzaté z [42]



Obrázok 16. Katedrála Notre Dame v Paríži v Google Maps – Prevzaté z [43]

Napriek zvyšujúcemu sa výpočtovému výkonu zariadení, stále existujú obmedzenia množstva 3D dát, ktoré je možné v reálnom čase zobrazit'. Z tohto dôvodu je potrebné pred implementáciou do hry všetky naskenované 3D prvky optimalizovať, aby sa znížila náročnosť ich vykresľovania, a tým aj nároky na hardware a software. [35]

V závislosti na kvalite 3D rekonštrukcie je potrebné odstrániť všetky artefakty, ktoré pri snímaní vznikli. Dôležité sú aj podmienky, za ktorých bol objekt snímaný a podľa možnosti je potrebné minimalizovať dopad nežiadúceho osvetlenia (prepálené miesta alebo tieň) na textúru objektu. [35]

Aktuálne existuje viacero platforiem, na ktorých je možné už vytvorené 3D modely priamo kupovať alebo predávať.

Po požiari katedrály Notre Dame pred dvoma rokmi, bol záujem obnoviť budovu čo najvernejšie jej pôvodnému vzhľadu. Podľa prvotných správ mala architektom a staviteľom ako významný podklad pre dokumentáciu pomôcť práve aj hra Assassin's Creed. Skenovanie a následné modelovanie katedrály pre použitie v tejto hre zabralo tvorcom niekoľko rokov. Pri skenovaní bol kladený dôraz od správnej architektúry vrátane všetkých detailov až po jednotlivé textúry tak, aby odpovedala skutočnosti. [44]

4.1.3 Forenzné analýzy

Cieľom zdokumentovania dopravnej nehody alebo trestnej činnosti je čo naj dôvernejšie zrekonštruovať situáciu, ktorá sa udiala. Pri zbere dát a zaistovaní miesta nehody alebo miesta

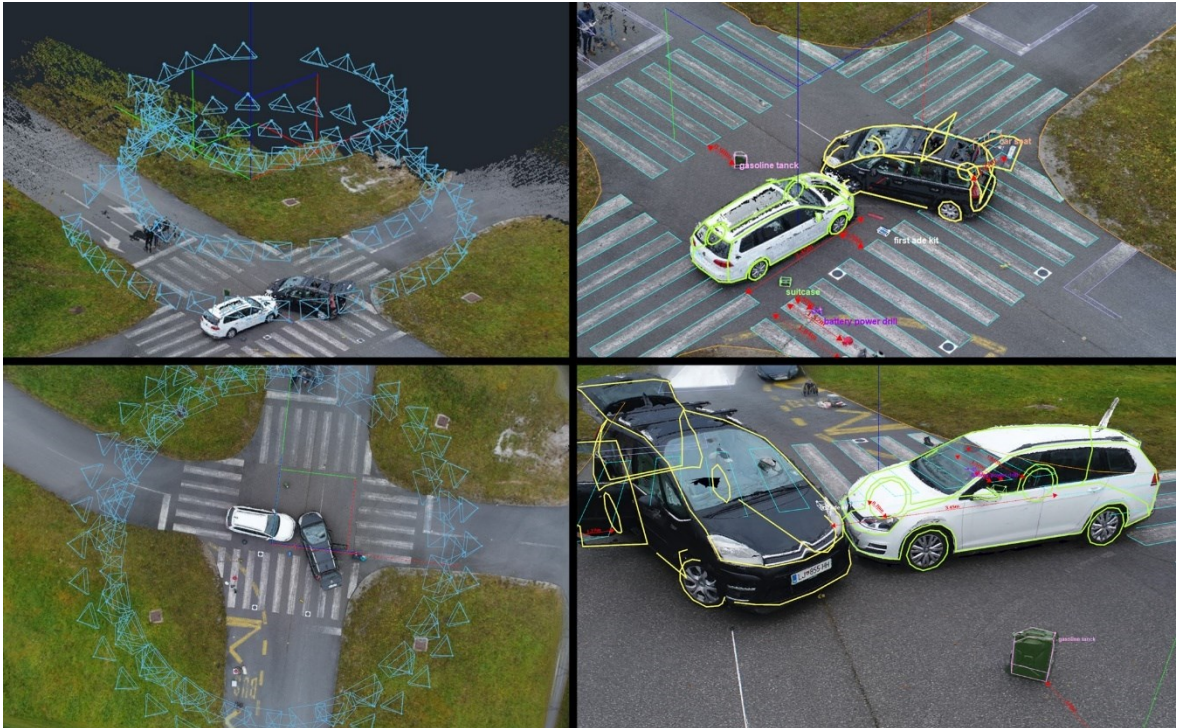
činu môže dôjsť k tomu, že niektoré detaily sú prehliadnuté, alebo sa zdajú v tom čase pre vyšetrovanie nedôležité. Tieto detaily je následne veľmi náročné, až nereálne, opätovne zreprodukovať. Pokiaľ ide o vyhodnotenie dopravnej nehody s časovým odstupom, tak sa môže okolie a podmienky v mieste nehody meniť a body, z ktorých boli snímky zachytené už napríklad vôbec nemusia existovať.

Zber dát z miesta nehody je častokrát aj veľmi časovo náročný. Zasahujúce zložky musia niekedy uzavrieť okolie aj na niekoľko hodín, aby odhliadnuc od zaistenia bezpečnosti, všetko zdokumentovali.

Dokumentáciou dopravnej nehody za využitia fotogrametrických metód sa venovala napríklad prípadová štúdia z roku 2020. [45] Cieľom štúdie bolo pre mieste oddelenie polície zistiť, ako im môže využitie fotogrametrie pomôcť pri dokumentovaní nehôd. Konkrétne body sledovali napríklad presnosť zberu dát, výpočet uhlov zrážky, rýchlosť vozidiel, identifikáciu objektov a meranie vzdialeností. Ďalšími otázkami boli napríklad, o koľko rýchlejšie je možné nehodu odstrániť a uvoľniť premávku. Meranie bolo vykonávané na základe dronov a pozemných snímok.

Pri riešení boli vytvorené snímky z nehody, ktoré boli následne spracované v špecializovanom programe, na základe ktorého prebehlo meranie.

Snímky z realizácie tejto prípadovej štúdie sú zobrazené na obrázku 17.



Obrázok 17. Štúdiá dopravnej nehody - Prevzaté a upravené z [45]

Vo výsledku bolo v tejto prípadovej štúdii zhrnutých niekoľko benefitov, ktoré môže použitie fotogrametrie pri dopravných nehodách priniesť.

Týmito výhodami boli napríklad: [45]

- Vizualizácia miesta nehody a jej využitie ako dôkazového materiálu
- Až 7 násobné skrátenie času potrebného na zber a spracovanie dát
- Najlepšia možná presnosť vo výpočtoch vzdialenosti a sily
- Možnosť opätovného využitia výstupov

Okrem skenovania dopravných nehôd je 3D modelovanie v doprave využiteľné aj napríklad pri sledovaní stavu vozovky, detekcii vyjazdených koľají a ďalších odchýlok na povrchu. [46]

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

5 ANALÝZA PROJEKTU

Za účelom vytvorenia 3D modelu objektu bolo nutné vybrať stavbu, ktorá by bola vhodná pre skenovacie zariadenia vlastnené školou. Z dostupných zariadení bol po konzultácii s Ing. Jiřím Ševčíkom vybraný skener Leica BLK360. Zariadenie bolo zvolené z dôvodu využiteľnosti ako v exteriéri, tak aj v interiéri budovy, pričom výstup bolo možné zjednotiť do komplexného modelu. O vlastnostiach skeneru je písané detailnejšie v kapitole 6.2.1. Do úvahy boli na základe výberu zariadenia brané okrem iných aj tieto aspekty:

- Vonkajšia a vnútorná stálosť objektu
- Počasie
- Svetelnosť
- Vzdialenosť od areálu školy
- Počet poschodí budovy
- Prístup k okolitej ploche budovy
- Pohyb vozidiel, zvierat a osôb v blízkosti skenera

Pri výbere vhodného objektu bolo nutné zamerať sa najmä na stálosť interiéru a exteriéru budovy. Do úvahy preto nepripadali stavby, u ktorých prebieha aktívna rekonštrukcia alebo demolácia. Všetky zmeny, ktoré by medzi jednotlivými skenovaniami nastali, je nutné manuálne upraviť, čím dochádza k zásahu do vytváraného modelu.

Veľký vplyv na skenovanie má taktiež počasie, nakoľko zvolený skener nie je vodovzdorný. Ak počas skenovania začne pršať alebo prípadne snežiť, môže dôjsť k poškodeniu zariadenia a taktiež zmene optických a fyzikálnych vlastností objektu.

Svetelnosť je priamo spojená s počasím a aj napriek tomu, že Leica BLK360 disponuje aktívnym prísiviením, je nutné brať do úvahy dva extrémne stavy. Prvým je intenzívne svetlo v poludňajších hodinách, ktoré môže spôsobiť takzvané prepálenie fotografických snímok, pričom dochádza ku strate štruktúry povrchov modelu. Druhým extrémom je príliš tmavé prostredie, kde môže dôjsť k zníženiu kvality snímok z dôvodu nedostatočnej citlivosti snímača. Z týchto dôvodov je vhodné skenovanie interiéru v ranných a poobedňajších hodinách s výnimkou poludnia a noci, kde je pravdepodobnosť výskytu týchto problémov najvyššia.

Z bezpečnostných dôvodov bolo nutné zvoliť budovu s dobrou dostupnosťou. Z dôvodu ceny skenera došlo k rozhodnutiu o každodennom uskladnení zariadenia v budove školy.

Mnohoposchodové budovy môžu pre skener znamenať problém nakoľko laser, ktorý Leica používa, stráca so zvýšenou vzdialenosťou presnosť a taktiež je obmedzený svojím umiestnením na statíve. V prípade, že budova má terasy alebo iné ťažšie dostupné prvky, môže dôjsť pri tvorbe modelu k tvorbe miest, ktoré zariadenie nedokáže zaznamenať, a tým sa výsledný model znehodnotí.

Okolie budovy je taktiež dôležitým rozhodovacím prvkom, nakoľko predurčuje schopnosť zberu dát pre exteriérový model. V prípade, že skener nie je dostatočne vzdialený od budovy, dochádza k zníženiu kvality laserového aj snímkového skenovania.

Podobne ako nestálosť budovy, môže znehodnotiť zber dát aj pohyb osôb, zvierat a vozidiel v okolí skeneru. V prípade, že pohybujúci sa objekt zasiahne do skenovaného priestoru, dochádza k vytváraniu artefaktov, ktoré je nutné neskôr odstrániť pomocou softwaru.

6 PROJEKTOVÉ RIEŠENIE

Po dlhšom hľadaní vhodnej budovy sa vďaka Ing. Jiřímu Ševčíkovi podarilo nájsť zaujímavú stavbu na okraji Zlína v mestskej časti Jaroslavice. Budova je nevyužívaná, v minulosti však slúžila ako kultúrno-spoločenské centrum obce. Aktuálne sa skupina mladých ľudí snaží o jej rekonštrukciu a navrátenie jej pôvodného účelu. Vďaka možnosti pozastaviť rekonštrukčné práce bolo možné doslova zakonzervovať stavbu na niekoľko dní a vďaka tomu minimalizovať možné chyby pri skenovaní budovy.

6.1 Budova Tatry

Vybraná budova nesie názov Tatry a v minulosti slúžila ako kultúrno-spoločenské centrum obce. Počas jej fungovania došlo k viacerým stavebným úpravám, ktoré priniesli budove jej aktuálny vzhľad, ktorý je možné vidieť na obrázku 18.



Obrázok 18. Budova Tatry - historická fotografia (20. storočie) - Prevzaté z [47]

Na rozdiel od aktuálnej stavby je možné vidieť dvojstupňovú škridlovú strechu na pravej strane budovy. Oproti aktuálnemu stavu chýba na pôvodnej fotografii ľavé krídlo budovy, ktoré v tom čase ešte nebolo pristavené. Stav budovy z augusta 2020 je možné vidieť na obrázku 19. V súčasnosti má budova plne dostavané druhé poschodie na pravej strane a ľavá strana budovy je doplnená o prístavbu, ktorá slúžila ako spoločenská sála.



Obrázok 19. Budova Tatry – vlastná fotografia (August 2020)

6.1.1 Rozloženie budovy

Budova Tatry je dvojposchodová stavba. Do budovy vedú tri vstupy pričom jeden vstup je aktuálne zamurovaný. Ďalší vstup je možný z vnútornej strany pozemku, kadiaľ je možné vstúpiť do suterénu budovy, ktorý sa rozkladá pod skoro celou plochou budovy. Tretí a štandardne používaný vchod je prístupný zo strany cesty a človeka privádza na prízemie budovy do prvej z troch miestností o približnej rozlohe 44 m². Z tejto miestnosti je možné vstúpiť schodiskom do suterénu a ďalej do druhej menšej miestnosti slúžiacej na stravovanie a od-dych s rozlohou približne 28 m². Treťou a najväčšou miestnosťou je pôvodná sála s pódium s rozlohou približne 204 m², ktorá v čase skenovania slúžila ako skladová a technická miestnosť. Zo sály je taktiež možné dostať sa otvorom v podlahe pomocou rebríku do suterénu. Ďalšie schodisko z prvej miestnosti vedie do samostatnej časti suterénu, kde sa nachádzajú toalety. Schodisko tiež vedie hore, kde sa nachádzajú ďalšie dve miestnosti. Z väčšej z dvoch miestností je prístup na stredovú časť povaly odkiaľ sa rebríkom dá cez strešné okno dostať na strechu budovy.

6.1.2 Stav budovy

Budova sa počas skenovania nachádzala v rekonštrukcii ako interiérových tak exteriérových častí. Je napojená na prívod vody, elektriny a taktiež má prístup k internetu, ktorý je v budove zavedený. Jednotlivé miestnosti boli bez štandardného obytného vybavenia, a chýbalo aj osvetlenie, čo ovplyvňovalo skenovacie podmienky. Niektoré miestnosti trpeli nedostatkom

svetla, čo skener kompenzoval vstavaným bleskom, ktorý však nedokázal osvetliť väčšie priestory.

Problematickými sa ukázali suterén a podkrovie budovy, nakoľko nevyhovovali bezpečnostným pokynom pre používanie skeneru. Vlhkosť v suteréne mohla spôsobiť poškodenie zariadenia. Podkrovie budovy bolo prašné a horúce, čím taktiež ohrozovalo samotné skenovanie. Po konzultácii boli tieto časti budovy zo skenovania vynechané.

6.2 Použitá technika

Pri zbere dát sa zvažovalo viacero zariadení, ako napríklad dron DJI Inspire 1 pre zber snímok zo vzduchu, alebo využitie DSLR fotoaparátu. Vo finále boli na zber dát využívané tieto zariadenia:

- Leica BLK360
- iPad s aplikáciou Cyclone FIELD 360

Zariadenie Leica bolo pomocou adaptéru umiestnené na statív, ktorého maximálna výška 2 metre umožnila lepšie pokrytie a mobilitu ako originálny statív dodávaný priamo so zariadením.

iPad bol použitý spolu so softwarom Leica Cyclone Field 360, ktorý umožňuje ovládanie zariadenia na diaľku pomocou siete WiFi vytvorenej skenerom a taktiež informuje o procese skenovania a stave batérie.

6.2.1 Skenovacie zariadenie - Leica BLK360

Leica BLK360 (Obrázok 20) je skenovacie zariadenie od spoločnosti s rovnomeným názvom a na trh bolo uvedené v roku 2017. Jeho cena sa v čase písania diplomovej práce pohybovala na stránkach výrobcu vo výške \$19 200, čo je približne 420-tisíc Českých korún.



Obrázok 20. Leica BLK 360 - Prevzaté z [48]

Samotné zariadenie váži podľa výrobcu 1 kg, vysoké je 16,5 cm a priemer má 10 cm. V cene výrobku je jedna vyberateľná batéria, prenosné ochranné puzdro a nabíjačka. V tabuľke 3 sú pre prehľadnosť uvedené základné parametre skeneru. Úplná špecifikácia zariadenia v anglickom jazyku je pripojená formou prílohy.

Tabuľka 3. Parametre zariadenia - Leica BLK360 - Prevzaté z [48]

Telo zariadenia	Čierny eloxovaný hliník
Rozmery	Výška: 165mm, Priemer: 100 mm
Váha	1kg
Samostatné ovládanie	1 tlačidlo
Vzdialené ovládanie	iPad aplikácia
Bezdrôtová komunikácia	Integrovaná bezdrôtová sieť LAN (802.11b/g/n)
Batéria	Nabíjateľná Li-Ion batéria Leica GEB212
Výdrž batérie	Zvyčajne 40 meraní
Vnútoraná pamäť	Viac ako 100 meraní
Zorné pole	360°
Rozsah merania	0,6 - 60 metrov
Frekvencia merania bodov	360 000 bodov za sekundu
Odchýlka merania	4mm pri 10m / 7mm pri 20m
Kamerový systém	15 MP 3-kamerový systém, 150 MP plné zachytenie kupoly, HDR, LED blesk, Kalibrovaný sférický obraz, 360° x 300°
Operačná teplota	+5 až + 40° C
Odolnosť prach/vlhkosť	IP54 (IEC 60529)

6.2.2 iPad - Aplikácia Leica Cyclone Field 360

Aplikácia bola využívaná primárne na diaľkové ovládanie skenovacieho zariadenia. Použitá bola aj možnosť vytvorenia projektu (Obrázok 21), ktorý umožnil jednotlivé scény logicky usporiadať na exteriér a interiér budovy, čo zjednodušilo následnú manipuláciu s dátami pri ich sťahovaní do počítača.

The image shows a 'PROPERTIES' dialog box with a close button (X) in the top right corner. It contains the following fields:

- Project Name: project #14
- Project Description: Enter text...
- Project Location: (empty field)
- Timestamp of project start: 05/05/2021
- Project tagging (coma separated list): Enter text...
- Default Height: 2.7

At the bottom of the dialog is a button labeled 'CREATE PROJECT'.

Obrázok 21. Formulár vytvorenia nového projektu

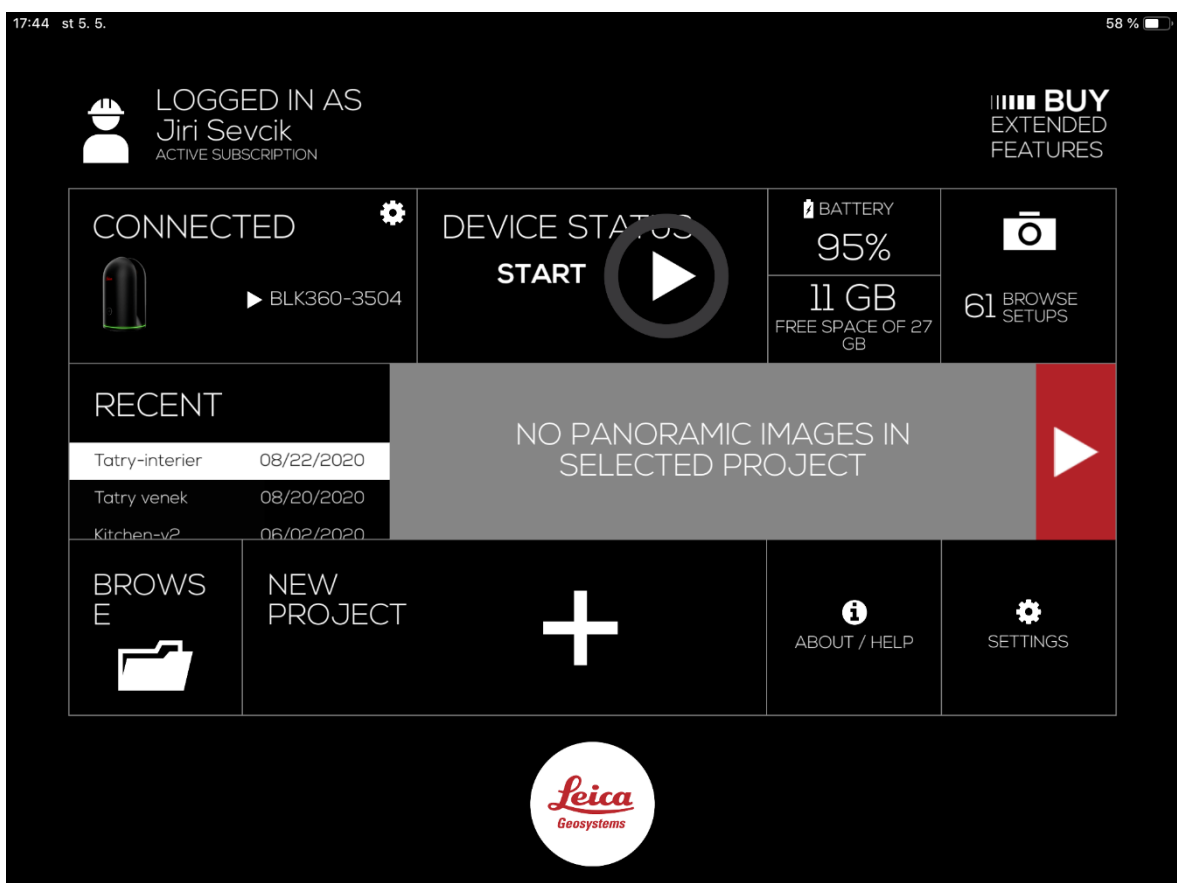
Pomocou aplikácie má užívateľ možnosť vzdialene nastaviť všetky parametre zariadenia (Tabuľka 4) a to ako pre spúšťanie pomocou tabletu, tak pre samostatné skenovanie iniciované stlačením tlačidla na skeneri.

Tabuľka 4. Možnosti nastavenia skeneru v aplikácii Cyclone Field 360

Typ nastavenia	Možnosti
Rozlíšenie skenovania	Nízke Stredné Vysoké
Mód kamery	S bleskom Bez blesku Automatický blesk HRD
Čas expozície	Automaticky Manuálne 1/4000 až 4 sekundy
Termálny obraz (rozsah merania)	-10°C až +140°C -10°C až +450°C
Odloženie štartu skenovania (tlačidlo)	5 až 60 sekúnd

Na je vidieť rozhranie aplikácie s prihláseným registrovaným užívateľom. Do aplikácie je nutné sa pri štarte prihlásiť registračnými údajmi obdržanými pri kúpe licencie. Domovská stránka aplikácie obsahuje:

- Nastavenie skeneru
- Štart skenovania (Indikátor priebehu skenovania)
- Stav batérie
- Stav pamäti
- Prehľad skenovaní v zariadení (Setups)
- Panoramatické snímky
- Prehľad projektov
- Nový projekt
- Pomoc
- Nastavenia aplikácie



Obrázok 22. Užívateľské rozhranie aplikácie Cyclone Field 360

Jednou z nevýhod v čase skenovania bolo občasné zamrzanie aplikácie v prípade, že došlo k strate signálu WiFi siete vytvorenej Leicou. Ak došlo k strate spojenia z dôvodu prerušenia skenovania, bolo nutné skener reštartovať, znovu spojiť s aplikáciou a skenovanie opakovať.

Pri skenovaní si treba dať pozor na stav batérie skeneru. Stav batérie nezabraňuje užívateľovi iniciovať skenovanie a tak môže dôjsť počas skenovania k vybitiu batérie a celý sken je nutné opakovať. Inak je ovládanie aplikácie dostatočne intuitívne a rýchlo naučiteľné.

6.2.3 Proces získavania snímok

Proces získavania snímok pomocou zariadenia Leica je možné rozdeliť do dvoch fáz.

Prvou fázou je získavanie panoramatického snímku v tvare kupoly. Snímok zaberá 360° v horizontálnej a 300° vo vertikálnej rovine, čím vynecháva plochu približne $1,5 \text{ m}^2$ nachádzajúcu sa pod skenerom. Snímanie zabezpečujú 3 kamery umiestnené z bočnej strany pod troma rozdielnymi uhlami tak, aby zabezpečili neprerušovaný pás snímok.

Po dokončení kamerového snímania začína skener druhú fázu, a tou je laserové skenovanie. Princíp laserového skenovania je popísaný podrobnejšie v kapitole 2.2. Leica za účelom vytvorenia mračna bodov pomaly rotuje v horizontálnej ose, pričom laserový skener vysiela lúče do vzdialenosti až 60 metrov.

Čím je miesto dopadu laserového lúča vzdialenejšie, tým je mračno bodov redšie a snímaný povrch nepresnejší. Pri veľkých vzdialenostiach je možné v mračne bodov vidieť jednotlivé rotácie ako za sebou idúce vertikálne línie bodov.

Skenovanie budovy zabralo spolu 7 dní, pričom bolo meranie rozdelené do dvoch častí, a to exteriér a interiér budovy. V rámci exteriéru bolo vytvorených 52 snímok a v interiéri ich bolo 60. Viaceré snímky bolo nutné opakovať, nakoľko občasne dochádzalo k strate spojenia medzi aplikáciou a Leicou. K tejto strate spojenia dochádzalo väčšinou kvôli prehriatiu skeneru, alebo vybitiu batérie v priebehu skenovania. Čierne prevedenie zariadenia spôsobovalo zvýšenú teplotu na priamom slnku, čo výrazne znižovalo výrobcom deklarovaný počet skenovaní s jednou batériou. Výhodou boli dve batérie zakúpené so zariadením. To umožňovalo využívať jednu batériu, zatiaľ čo sa druhá nabíjala.

Dôležité je si uvedomiť, že pri skenovaní je nutné opustiť priestor, ktorý skener sníma. V opačnom prípade dochádza k znehodnoteniu modelu. Vo všeobecnosti pohyblivé prvky zanechávajú do scény artefakty, ktoré znižujú kvalitu výsledného mračna bodov. Príkladom sú čiary na obrázku 23 spôsobené okoloidúcimi vozidlami. Zariadenie v tomto prípade mylne

spojilo farbu z panoramatického snímku s bodom odrazeným od vozidla.



Obrázok 23. Artefakty okoloidúcich vozidiel - Cyclone REGISTER 360

Ďalším problémom, s ktorým je nutné sa vysporiadať, sú lesklé a priehľadné povrchy. V exteriéri sú to napríklad okná, strechy alebo karosérie vozidiel (Obrázok 24). V interiéri je možné sa s týmto javom stretnúť u elektrospotrebičov s lesklým povrchom, zrkadiel a iných povrchov odrážajúcich svetlo.



Obrázok 24. Lesklý povrch vozidla - Cyclone REGISTER 360

Laserový lúč dopadajúci na lesklý povrch predmetu sa môže odraziť náhodným smerom. Prijímač skeneru tento odrazený lúč nedokáže zachytiť, a preto daný bod vyhodnotí ako nekonečno, respektíve povrch ignoruje. V interiéri je vhodné použiť na lesklé povrchy zmatňujúci sprej, ktorý dočasne alebo aj permanentne zmatnie povrch predmetov. Pre účely skenovania interiéru je vo väčšine prípadov vhodnejší sublimujúci sprej, nakoľko nepoškodzuje predmety a nezanecháva reziduálne nečistoty. V exteriéri je použitie sprejov problematické a preto je vhodnejšie chyby opraviť neskôr pomocou softwaru.

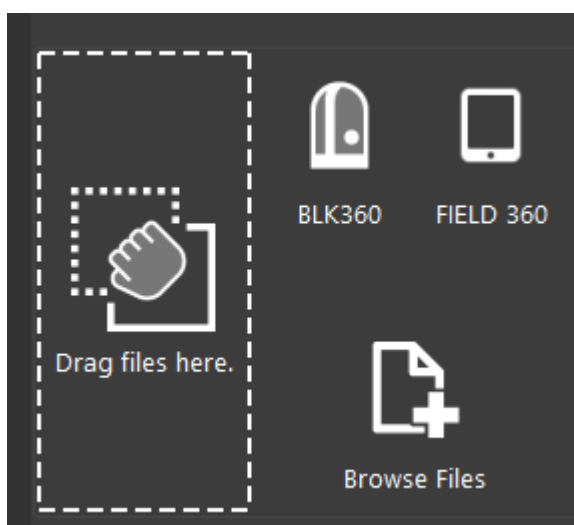
6.3 Cyclone REGISTER 360

Za účelom úvodného spracovania jednotlivých snímok vytvorených pomocou Leica BLK360 je nutné použiť desktopovú aplikáciu Cyclone REGISTER 360 dodávanú firmou Leica. Táto aplikácia umožňuje užívateľovi importovať, usporiadať, optimalizovať a exportovať dáta do rôznych formátov.

6.3.1 Import snímok

Snímky je možné importovať nasledujúcimi spôsobmi (Obrázok 25):

- Field 360
- Aktuálne zariadenie
- Leica BLK360



Obrázok 25. Možnosti importu – Cyclone REGISTER 360

Pre spojenie so zariadením iPad a aplikáciou Field 360 je nutné vytvorenie WiFi hot-spotu na tablete, ku ktorému následne pripojíme počítač s aplikáciou Cyclone REGISTER 360. Ďalej je možné pripojiť tablet pomocou USB. V oboch prípadoch je nutné pred skenovaním nastaviť ukladanie snímok priamo na iPad, inak tento spôsob importu nie je možný.

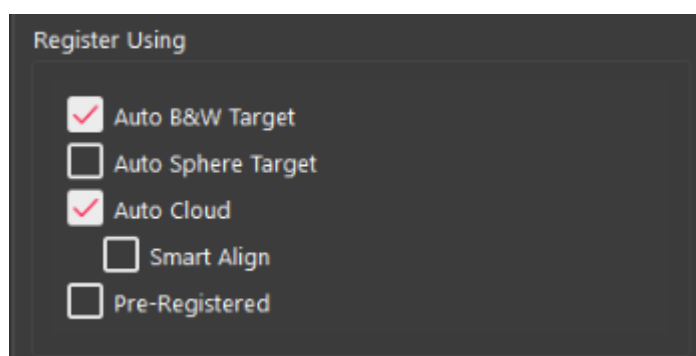
Ďalšou možnosťou je priamy import už uložených súborov v počítači, napríklad s už skôr stiahnutých súborov, prípadne z externého pamäťového média.

Možnosťou, ktorú sme nakoniec zvolili, je sťahovanie súborov priamo zo skeneru pomocou WiFi hot-spotu vytvoreného na skeneri. Skener nedisponuje inými perifériami ako sú napríklad rôzne typy USB, alebo iné káblové dátové spojenia. To obmedzuje rýchlosť prenosu dát. Skener nie je možné pripojiť priamo na nabíjací adaptér, preto je nutné brať na zreteľ aj stav batérie, ktorá sa môže počas importu vybiť a celý proces prerušiť. Celý proces importu je zdĺhavý a celkovo trval niekoľko hodín, nakoľko bolo importovaných spolu viac ako 112 snímok.

6.3.2 Registrácia a optimalizácia snímok

Importované snímky boli rozdelené na dva veľké celky, a to interiér a exteriér budovy. Interiér bol ďalej rozdelený kvôli vyššej komplexnosti na tri samostatné časti (bundle), ktoré bolo možné exportovať jednotlivo.

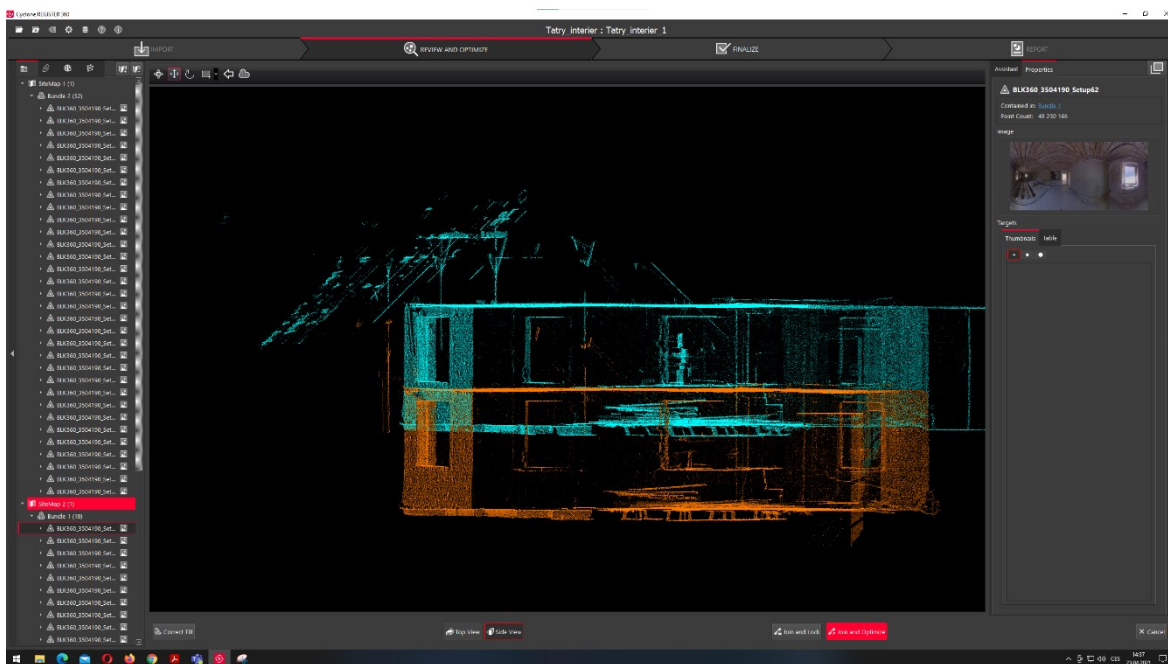
Pri importe je možné nastaviť automatické registrovanie snímok na základe viacerých vlastností zobrazených na obrázku 26.



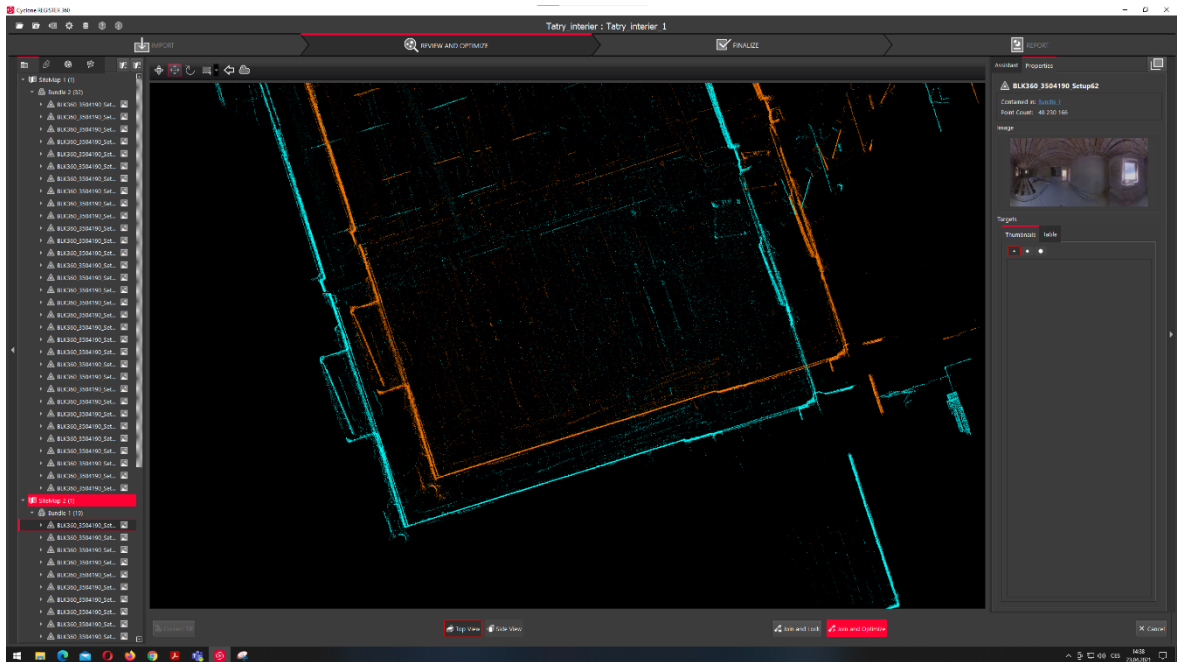
Obrázok 26. Možnosti registrácie - Cyclone~REGISTER~360

Pre import boli zvolené možnosti *Auto B&W Target* (pre spájanie na základe zhody panoramatických snímok v čierno bielom prevedení) a *Auto Cloud* (pre spájanie na základe mračien bodov, respektíve ich zhodných zoskupení).

Snímky interiéru bolo možné automaticky importovať čiastočne úspešne s tým, že niekoľko snímok bolo nutné registrovať manuálne. Aplikácia ponúka možnosť pripojiť snímok manuálne, v prípade že automatické rozpoznávanie nebolo úspešné. Využíva sa na to horizontálny (Obrázok 27) a vertikálny (Obrázok 28) pohľad na dva snímky, o ktorých sa predpokladá, že je možné ich spojiť. Pri vyrovnávaní sú zobrazené priesečky mračien bodov tyrkysovou a oranžovou kontrastnou farbou na čiernom podklade. Užívateľ môže posúvať jeden snímok vždy v dvoch osiach, prípadne ním rotovať. Pri úspešnom prekrytí mračien bodov by sa užívateľovi mali spoločné mračná bodov prekryvať.

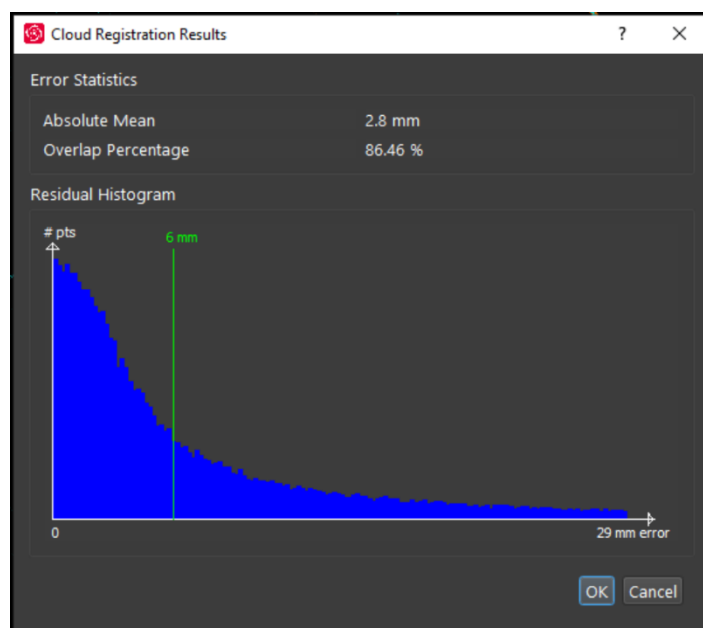


Obrázok 27. Vertikálny (bočný) pohľad – Cyclone REGISTER 360



Obrázok 28. Horizontálny (horný) pohľad – Cyclone REGISTER 360

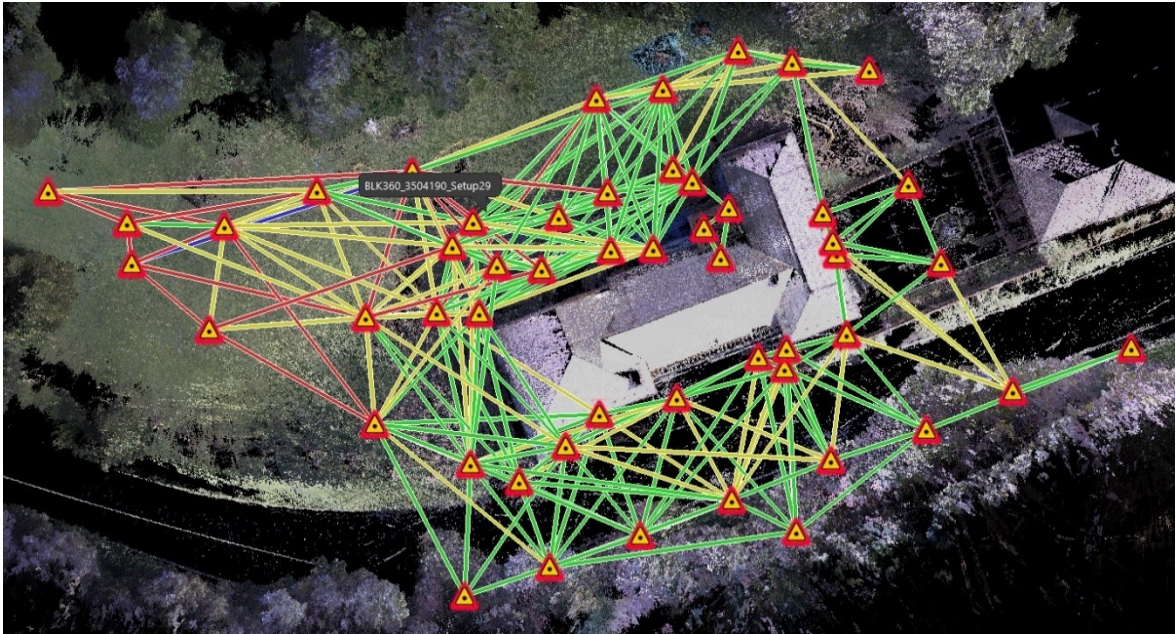
Ak je užívateľ s manuálnym prispôbením spokojný, môže kliknúť na tlačidlo. Aplikácia opäť spustí automatické párovanie bodov. Ak je zhoda dostatočná, aplikácia zobrazí pomocou histogramu (Obrázok 29) odhadovanú odchýlku pri spájaní snímok. Po potvrdení aplikácia opäť skontroluje spojenia medzi novo pridaným snímkam a ostatnými už zaregistrovanými snímkami a prepočíta odchýlky prepojení jednotlivých snímok.



Obrázok 29. Histogram odchýlky – Cyclone REGISTER 360

Snímky sú zobrazené v dvojrozmernom náhl'ade ako žlté trojuholníky. V trojrozmernom ako pravidelný tetraéder. Jednotlivé snímky spájajú linky. Ich kvalita je zobrazená farebne na

škále od zelenej po červenú (Obrázok 30). Modré linky reprezentujú spojenie, ktoré bolo navrhnuté užívateľom, ale aplikácia ho nevie potvrdiť. Prerušované bielo-červené čiary reprezentujú linky navrhované aplikáciou.



Obrázok 30. Snímky a ich spojenia - Cyclone~REGISTER~360

Najproblematickejšou časťou skenovania sa stal exteriér, a to primárne vo vnútornej časti pozemku, kde veľkú časť povrchu tvorila vyššia tráva a okolie pozemku obklopovali stromy. Ich pohyb vo vetre spôsoboval veľké rozdiely medzi mračnami bodov a aplikácia nebola schopná vo väčšine snímok automaticky vytvoriť spojenia. Preto bolo nutné postupovať manuálnym spôsobom a aj ten často nebol schopný jednotlivé snímky prepojiť. Nízku kvalitu niektorých spojení (červená farba) je možné vidieť na obrázku 30. Vo finále je ale negatívny vplyv na model budovy minimálny a presnosť snímok vysoká. To isté sa nedá povedať o kvalite modelu v oblasti trávnej plochy a okolitých stromov.

Ako v interiéri, tak aj v exteriéri je nutné si uvedomovať, že skener nevidí za skenované objekty. Preto je potrebné v miestach, kde je komplexnosť skenovaného priestoru vyššia, skenovanie opakovať vo viacerých pozíciách. Príkladom môže byť obrázok 30, kde v zadnej časti budovy bol terén komplexnejší a taktiež sa tu nachádzalo väčšie množstvo stavebného materiálu. V tejto časti exteriéru bolo nutné počet snímok zvýšiť.

Na obrázku 30 je taktiež vidieť spôsob, akým bola skenovaná strecha a detaily budovy. Nakoľko pri skenovaní nebol použitý dron, bolo nutné sa od budovy dostatočne vzdialiť. To ale znižovalo kvalitu detailov budovy, a tak je na obrázku 30 vidieť snímky vytvorené v

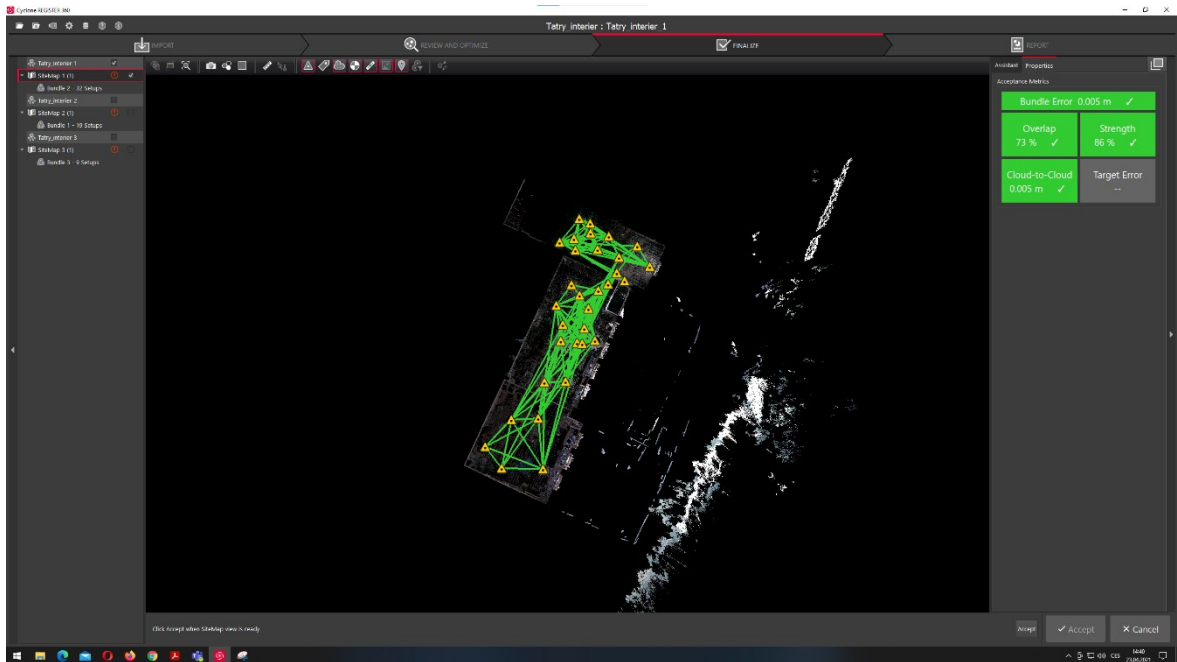
bezprostrednej blízkosti budovy za účelom detailov a taktiež snímky od budovy vzdialené viacero metrov za účelom zachytiť strechu pod čo najkolmejším uhlom. Povrch strechy bol lesklý, a to komplikovalo skenovanie počas silného slnka alebo pod vysokým uhlom. Všeobecne skener vykazoval vyššiu presnosť pri skenovaní plôch, ktoré proti nemu zvierali pravý uhol. Pri vyšších uhloch a pri mierne lesklých povrchoch bola kvalita nižšia. Z vnútornej strany strechy boli vykonané 3 skenovania priamo na streche budovy, čo zvýšilo kvalitu mračna bodov. V iných častiach strechy táto možnosť z bezpečnostných dôvodov nebola možná.

Pri skenovaní interiéru sa ukázalo, že vstavaný blesk pre panoramatickú fotku nedokáže dostatočne nasvietiť priestory s vyšším stropom v miestnostiach, kde chýbalo umelé osvetlenie. Tak ako v exteriéri, ani v interiéru Leica nedokázala zachytiť celý dynamický rozsah, pričom nevyužila automaticky vstavaný blesk. Tým opäť vznikli v niektorých miestnostiach prepálené plochy a strata farieb povrchu pre tvorbu 3D modelu.

Pri optimalizácii sú snímky spájané do skupín na základe spojení medzi nimi. Tieto skupiny je možné po prvotnom aj manuálnom registrovaní automaticky optimalizovať, a tým zvýšiť presnosť prekrytia jednotlivých snímok alebo nájdenie nových spojení medzi nimi. Vyšší počet spojení zvyšuje presnosť výstupných dát. Nakoľko je možné importovať viacero skenovaných miestností a interiéru zároveň, jednotlivé objekty medzi sebou nemusia mať spojenia. Aplikácia umožňuje rozdeliť nespojené skupiny do väčších celkov - máp.

6.3.3 Finalizácia a export dát

Po optimalizácii modelu nasleduje finalizácia (Obrázok 31), kde si užívateľ vyberá, ktoré mapy chce exportovať. V pravej strane vidí celkovú metriku modelu na základe viacerých faktorov ako napríklad odchýlka v skupine, prekrytie, sila a presnosť spojenia medzi jednotlivými mračnami.

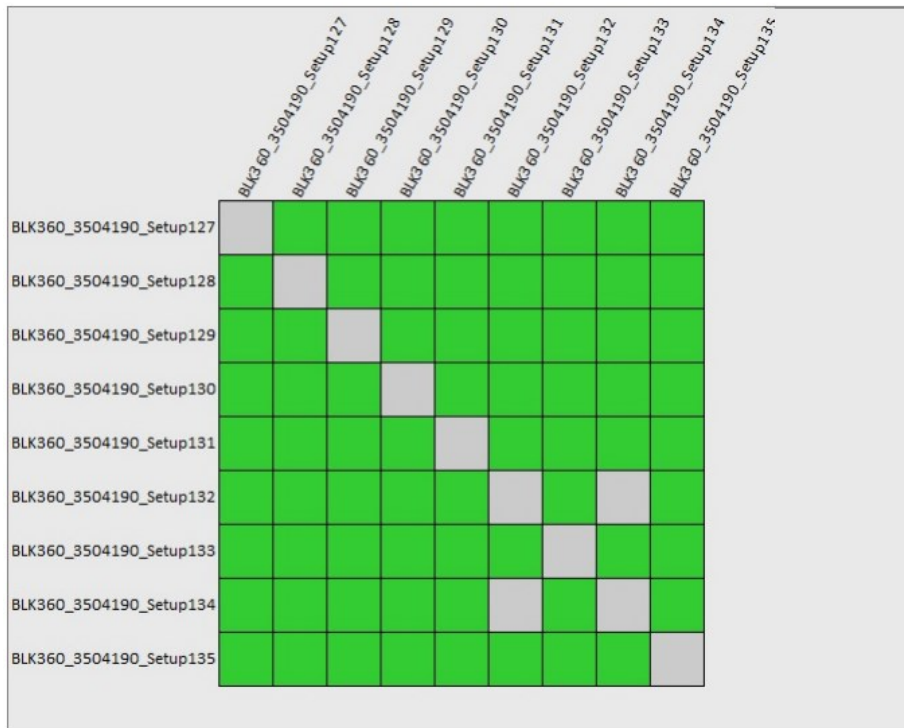


Obrázok 31. Finalizácia – Cyclone REGISTER 360

Naraz je možné akceptovať len jednu mapu, ktorá môže obsahovať viacero skupín. Po akceptovaní aplikácia vykoná záverečnú optimalizáciu vybranej mapy a nasleduje tvorba reportu.

Každý report obsahuje detailné informácie o jednotlivých skupinách. Súčasťou je napríklad matica susednosti medzi jednotlivými snímkami a taktiež farebne odlíšené spojenia medzi nimi na škále od zelenej po červenú na základe kvality spojenia. Sivé štvorčeky reprezentujú snímky bez vzájomného spojenia. Ďalej report obsahuje informácie o jednotlivých snímkoch a ich kvalite.

Pri vytváraní reportu môže užívateľ zvoliť viacero formátov pre exportované dáta, alebo vytvoriť report bez exportovaných dát. V tom prípade je výstupom len PDF dokument s vyššie spomenutými informáciami. Aplikácia umožňuje exportovať dáta v natívnom formáte LGS od firmy Leica. Ten umožňuje efektívne pracovať s dátami v rámci Leica ekosystému. Pre prácu s inými aplikáciami sú dostupné ďalšie formáty ako napríklad PTS, PTG, PTX, a E57. Pre vhodnú kompatibilitu s aplikáciu RealityCapture bol zvolený formát E57. Spolu bol exportovaný jeden súbor pre exteriér a tri súbory pre interiér. Pre jednotlivé exporthy boli vytvorené reporty, ktoré sú súčasťou digitálnej prílohy.



Obrázok 32. Matica susednosti v reporte

V sú uvedené základné informácie o exportovaných súboroch. Celková veľkosť exportovaných súborov je spolu 112,98 GB.

Tabuľka 5. Informácie o exportovaných súboroch

Názov súboru	Veľkosť súboru v GB
Tatry_interier_1.e57	39,30
Tatry_interier_2.e57	22,80
Tatry_interier_3.e57	9,68
Tatry_exterier.e57	41,20
Spolu	112,98

6.4 RealityCapture - Software na optimalizáciu 3D modelov

Nakoľko jednotlivé súbory v originálnom stave zaberajú veľké množstvo pamäti, je možné ich na základe využitia optimalizovať. Za účelom testovania optimalizačného procesu bol zvolený program RealityCapture (verzia 1.1.1.15122 RC), ktorý má univerzita zakúpený a je priamo určený na prácu s fotogrametrickými dátami. Software je licenčne viazaný k limitovanému množstvu zariadení. Preto bol pre prácu s modelmi vybratý školský počítač s vysokým výkonom mnohonásobne presahujúcim štandardné osobné počítače. Detailnejšie sú popísané komponenty a parametre počítača v tabuľke 6.

Tabuľka 6. Komponenty a parametre použitého počítača

Operačný systém	Windows 10 Pro
Procesor	AMD Ryzen Threadripper 3970X
Počet jadier procesoru	32
Frekvencia procesoru	3.69 GHz - 4.5 GHz
Operačná pamäť	128 GB
Grafická karta	GeForce RTX 3090
Pamäť grafickej karty	24 GB
Úložná pamäť	1 TB M3 SSD, 2-krát 7.23 TB SATA HDD

Pre využitie plného výkonu zariadenia boli súbory *.e57 a projekt uložené na 1 TB SSD disk. Počas testovania procesu boli finálne dáta ukladané na pomocný SATA disk, ktorého kapacita bola vyššia ako u hlavného disku.

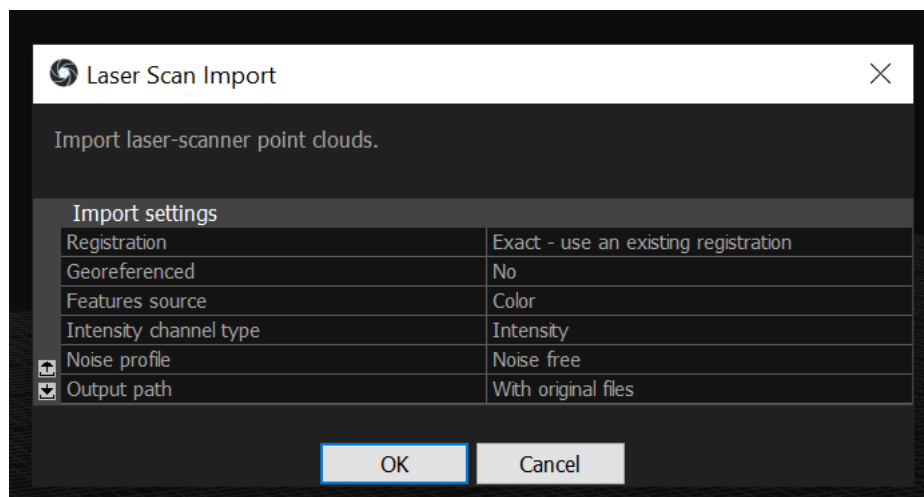
Pri spracovaní modelu bol zvolený nasledujúci postup, ktorý je podrobne popísaný nižšie s dôrazom na jednotlivé nastavenia procesu.

- Vytvorenie nového projektu
- Import modelu vo formáte e57 - Laser Scan
- Automatické spracovanie modelu
- Výber výseku relevantnej časti modelu
- Oprava chýb modelu
- Mapovanie textúr

- Zjednodušenie modelu
- Vyhladenie modelu
- Opätovné mapovanie textúr
- Korekcia farieb textúr
- Renderovanie snímok vo formáte *.png
- Export modelu vo formáte *.obj

Pri vytváraní nového projektu si užívateľ najprv vyberá importovaný súbor. Aplikácia umožňuje importovať rôzne druhy dát ako napríklad video sekvenciu, fotografie, letový záznam, kontrolné body a laserové skenovanie. Posledná možnosť - laserové skenovanie je určená aj pre súbory typu *.e57.

Užívateľovi je po vybratí súboru zobrazená ponuka nastavenia, a to možnosti registrácie modelu. Originálny model môže byť neregistrovaný, registrovaný alebo je možné povoliť optimalizáciu registrácie. V prípade tohto projektu boli už jednotlivé modely registrované a nie je nutné vykonávať túto procedúru znovu. Ďalším nastavením je georeferencia, ktorá umožňuje modelu priradiť reálne súradnice podľa zvoleného koordinačného systému. Táto možnosť nebola využitá, nakoľko model tieto informácie neobsahuje. Taktiež je možné nastaviť grafický zdroj pre textúru, profil šumu (len pre zariadenie ScanStationP20) a miesto ukladania projektových súborov. Pre import boli vždy zvolené predvolené nastavenia ako na obrázku 33.



Obrázok 33. Možnosti Importu - RealityCapture

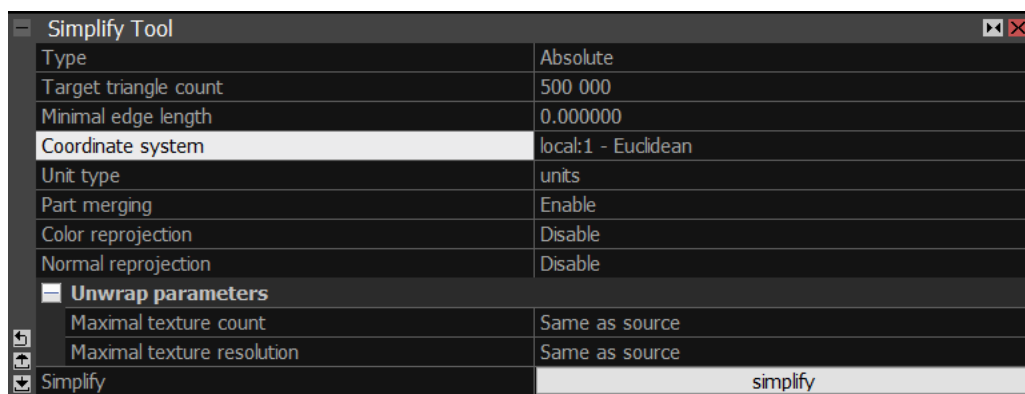
Po načítaní súboru je možné vybrať špecifickú časť modelu pre následné spracovanie. To môže urýchliť celkový proces spracovania v prípade, že nie je nutné pracovať s celým modelom, ale len špecifickou časťou, napríklad miestnosťou alebo len konkrétnym objektom.

Na výber časti modelu je možné použiť niekoľko nástrojov ako napríklad laso, obdĺžnik alebo kváder. Laso aj obdĺžnik označujú mračno bodov ležiacich vo vyznačenej ploche kolmo na pohľad zvolený v čase vyznačovania tvaru. Kváder definuje trojrozmerný priestor modelu, ktorý je možné označiť. Vďaka špecifickým náhľadom zhora, zo strán na model je možné jednoducho špecifikovať relevantnú časť modelu. Tieto nástroje umožňujú taktiež odstrániť nežiaduce prvky alebo chyby. Aplikácia po každom zásahu do modelu vytvára jeho kópiu. Vďaka tomu je možné vrátiť sa jednoducho k predošlej verzii a postup opakovať znovu bez straty dát. Na druhej strane tento prístup zvyšuje celkovú pamäťovú náročnosť projektu.

Vybranú časť modelu je nutné následne ošetriť pomocou nástrojov Kontrola Integrity a Kontrola Topológie. Pri týchto kontrolách aplikácia automaticky identifikuje chyby modelu a snaží sa ich opraviť. Medzi chybami modelu môžu byť napríklad diery v modeli, body, ktoré nevytvárajú plochu alebo križujúce sa plochy. Aplikácia umožňuje uzatváranie plôch aj viac manuálnym spôsobom, kde užívateľ môže definovať maximálne množstvo hrán, ktoré môžu byť v modeli spojené.

Nasleduje tvorba textúr, ktorá je plne automatická a využíva dáta z panoramatických snímok dodaných zo skenovania. Po namapovaní textúr už môže užívateľ vytvárať pohľady vo formátoch *.png a *.jpg, exportovať model vo formáte *.obj, prípadne vytvoriť video s preletom priestoru modelu vo formáte *.wmv alebo *.mp4.

Model je možné ďalej optimalizovať jeho automatickým zjednodušením pomocou nástroja Simplify (Obrázok 34). Aplikácia umožňuje redukciu množstva trojuholníkov. Túto redukciu je možné vykonať buď v relatívnom pomere množstva trojuholníkov modelu, alebo zadať požadovaný výsledný počet trojuholníkov tvoriacich model.



Obrázok 34. Nástroj Simplify - RealityCapture

Po zjednodušení je nutné opäť namapovať textúry a prispôbiť ich modelu. Takto zjednodušený model môže mať niekoľkonásobne nižšiu pamäťovú náročnosť. Jednoduchšie modely je tiež možné využiť v rôznych oblastiach ako je virtuálna realita, webové stránky alebo mobilné aplikácie. Zjednodušovanie modelu so sebou prináša stratu detailov objektov a ich štruktúry. Textúra modelu napomáha realistikosti modelu len do určitej miery. Pri nepriemeranom zjednodušovaní dochádza k strate informačnej hodnoty modelu. Jedná sa o subjektívne hodnotenie, na ktoré má veľký vplyv finálne využitie modelu a tiež subjekt pracujúci s modelom.

Rozdielny prístup bol potrebný k modelom exteriéru a interiéru, nakoľko interiér budovy bol omnoho komplexnejší, čo znižovalo mieru zjednodušenia v porovnaní s exteriérom.

6.4.1 Exteriér

Model exteriéru po importe originálneho modelu pozostával z 1,1 miliardy trojuholníkov. Orezaním plochy okolia zameraním sa len na budovu a jej tesné okolie bol znížený počet trojuholníkov na 359,3 miliónov (Obrázok 35). Pomocou nástroja pre zjednodušenie bol počet trojuholníkov postupne znižovaný na 20, 10 a 1 milión. Následne bolo pre jednotlivé modely aplikované vyhladzovanie, ktoré automaticky vyhladilo povrchy deformované nástrojom na zjednodušenie.



Obrázok 35. Vizualizácia prednej časti budovy - RealityCapture

Zjednodušovanie a vyhladzovanie doprevádzalo najviac zaobl'ovanie hrán a jemnejších štruktúr rovných plôch, ako sú steny alebo strecha. Na zjednodušovanie bol vždy použitý originálny model, ktorým sa zamedzilo kumulatívnym chybám. Za účelom porovnania boli vytvorené detailné vizualizácie modrej tkaniny v rozlíšení 8K. Na obrázkoch je možné vidieť postupnú degradáciu detailov a zaobl'ovanie hrán objektov. Objekt tvorený 1 miliónom trojuholníkov postráda jemné detaily na rôznych miestach, no napriek tomu je stále možné s modelom pracovať ako celkom. Pri detailnejších pohľadoch je vidieť zlievanie povrchov,



Obrázok 36. Model exteriéru bez textúry - RealityCature

miznutie malých objektov a stratu textúry definujúcej druhy materiálov. Kvôli rozlíšeniu sú vizualizácie tkaniny a zjednodušenému modelu budovy súčasťou digitálnej prílohy.

Na obrázku 36 je vidieť prednú a zadnú stranu budovy bez aplikovania textúry. V porovnaní s obrázkom 35 je možné rozoznať štruktúru strechy.

Jednotlivé zjednodušené modely boli exportované do formátu *.obj spolu s textúrami. V tabuľke 7 je ich porovnanie pamäťovej náročnosti, a taktiež je vidieť možný lineárny vývoj veľkosti súborov priamo úmerne k počtu trojuholníkov tvoriacich model.

Tabuľka 7. Porovnanie veľkosti exportovaných objektov na základe počtu trojuholníkov

Počet trojuholníkov	Veľkosť v MB
20 miliónov	2 622,65
10 miliónov	1 297,48
1 milión	119,21

Už pri pôvodnom importovanom modeli sa nachádzajú chyby, ktoré sú ľahko viditeľné a znižujú kvalitu vizualizácií. Príkladom sú antény na streche budovy, kde aplikácia pravdepodobne nesprávne vyhodnotila zhuk bodov, nakoľko presnosť skeneru sa so zvyšujúcou vzdialenosťou znižuje. Ďalším problematickým miestom sú okná a vstup do budovy. RealityCapture síce umožňuje odstrániť nechcené časti modelu, selekcia týchto častí je ale pomocou nástrojov problematická. Možnosťou je rozdelenie modelu na menšie časti, ich export, úprava v softwari na tvorbu 3D modelov a následné spojenie dielčích častí do jednotného modelu.

6.4.2 Interiér

Interiér budovy bol rozdelený do troch častí. Tie sa líšia veľkosťou, počtom skenovaní, svetelnosťou aj množstvom objektov v jednotlivých miestnostiach. Najkvalitnejšie sa ukázali model miestností druhého poschodia, ktorý neobsahoval skoro žiadne vybavenie a vďaka dostatku slnečného svetla z okien boli panoramatické snímky vytvorené skenerom Leica prirodzenej farby. Tým pádom aplikácia RealityCapture bez menších problémov namapovala textúru k danému modelu.

Druhou miestnosťou s dobrým výsledkom skenovania bola malá miestnosť určená na od-dych a stravovanie. V tejto miestnosti bola výborná svetelnosť, vďaka čomu boli

panoramatické snímky vysokej kvality. Problematickým sa ukázalo len miesto priamo pod oknom. Tu došlo k prepáleniu snímky, čo viedlo k strate textúry podlahy. Ďalej sa tu ukázal ďalší nedostatok skenera. Tým je problematická manipulácia v malých priestoroch, kvôli minimálnej vzdialenosti 0,6 metra od skenovaného objektu. Príkladom sú nádoby na obrázku 37, ktoré nebolo možné naskenovať zo všetkých strán a tým je ich trojrozmerný model nepresný.

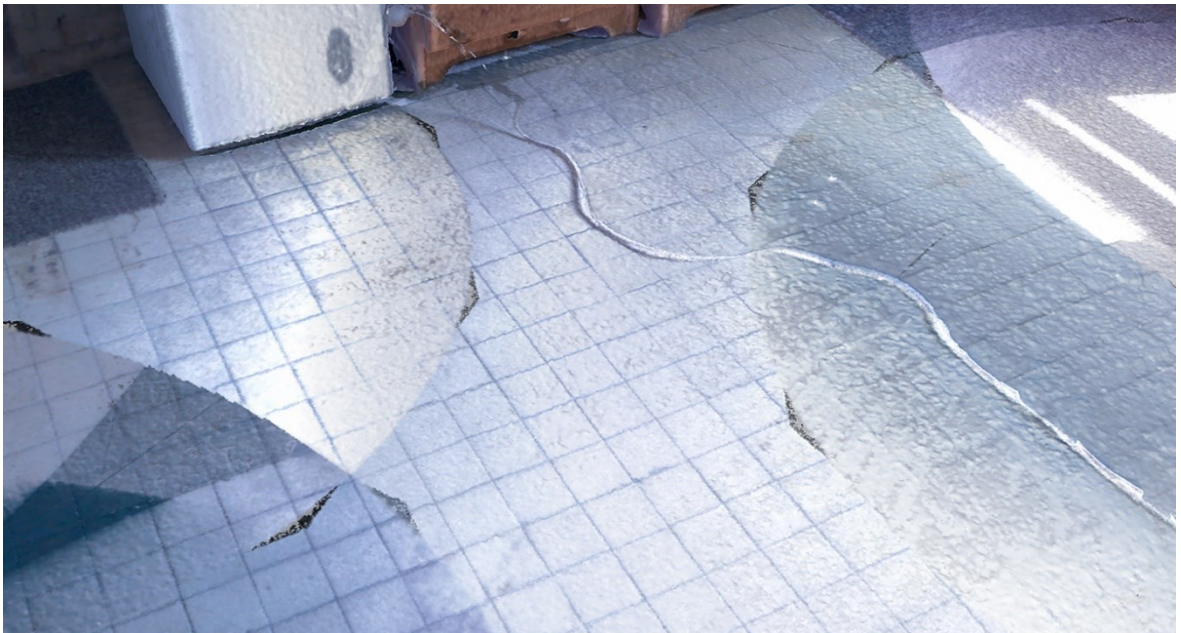
Kvôli hustejšiemu umiestneniu nábytku a vybavenia dochádza k vyššej chybovosti modelu v porovnaní s prázdnyimi miestnosťami. Veci rozmiestnené po miestnosti nedosahujú vysoký detail ako po stránke modelu, tak po stránke textúry.



Obrázok 37. Detail menších predmetov v interiéri – RealityCapture

Na obrázku 37 je možné rozoznať jednotlivé objekty. Tmavej stoličke chýba na vizualizácii časť operadla, ktoré v reáli bolo v poriadku. Taktiež kôš pod bielym stolíkom nie je z ľavej strany úplne vymodelovaný a chýba mu textúra. Vplyvom vysokej hustoty objektov v malej miestnosti je nutné skenovať priestor z veľkého množstva bodov, pričom je proces limitovaný minimálnou vzdialenosťou 60 cm medzi skenerom a skenovaným objektom.

Ďalšou problematickou časťou modelu je podlaha na obrázku 38. V malej miestnosti s premenlivou intenzitou osvetlenia dochádzalo k tvorbe kruhov, ktoré vytvárali slepé miesta pod skenerom v kombinácii s lesklou podlahou. Kvôli tomu je podlaha na modeli nejednotná a nerealistická.



Obrázok 38. Kruhy na podlahe v interiéri - RealityCapture

Zjednodušovanie vplyva na jednotlivé časti modelu rôzne pri čom jednoduchšie objekty dokážu aj po 1000-násobnom znížení počtu trojuholníkov vyzerat' vierohodne. Komplexnejšie objekty zjednodušovanie zvládajú ťažšie a na ich povrchu a textúre môžu vznikať artefakty. Akceptovateľná miera zjednodušenia je subjektívna a výrazne záleží na plánovanom využití modelu.

Na obrázku 40 sa nachádza okenná kľučka vo viacerých variantoch zjednodušenia. Pri niektorých bolo taktiež nutné vykonať korekciu textúr. Jedná sa o vizualizáciu, ktorá je súčasťou steny miestnosti na druhom poschodí budovy. V tabuľke nižšie sú definované aplikované úpravy na pôvodný objekt.

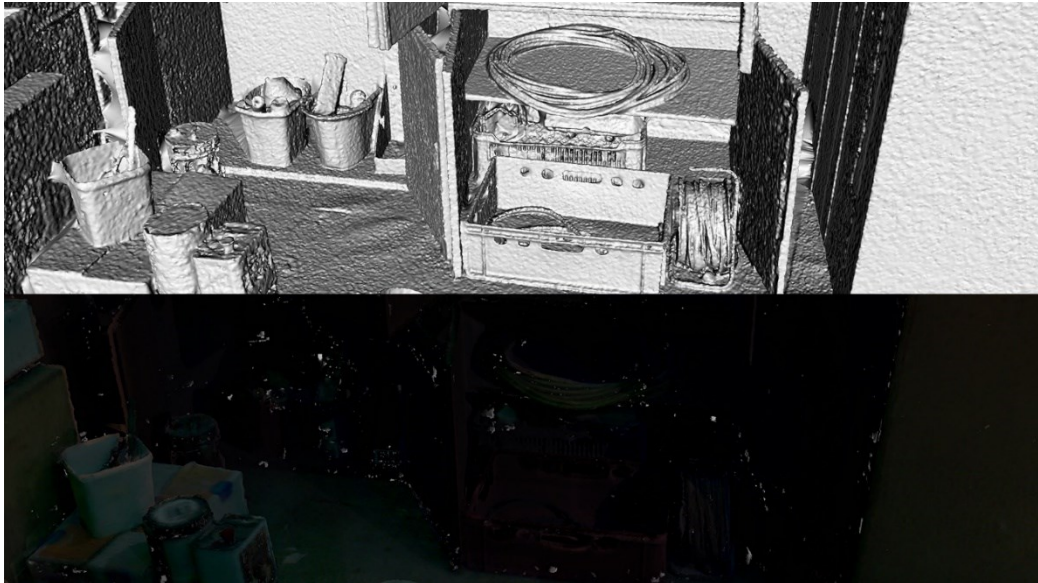
Tabuľka 8. Aplikácia zjednodušenia a vyhladzovania na model

Písmeno	Počet trojuholníkov celého modelu v miliónoch	Počet iterácií vyhladzovania	Čistenie modelu
a)	8,3	0	Nie
b)	8,3	5	Nie
c)	8,3	5	Áno
d)	4	5	Áno
e)	4	5	Áno
f)	2	5	Áno
g)	2	5	Áno
h)	1	Nie	Áno
i)	1	5	Áno
j)	1	10	Áno
k)	0,5	Nie	Áno
l)	0,5	5	Áno

Pri aplikácii zjednodušovania a vyhladzovania modelu sa vždy vychádzalo z pôvodného modelu tak, aby sa zamedzilo kumulácií chýb pri postupnom zjednodušovaní už zjednodušeného modelu.

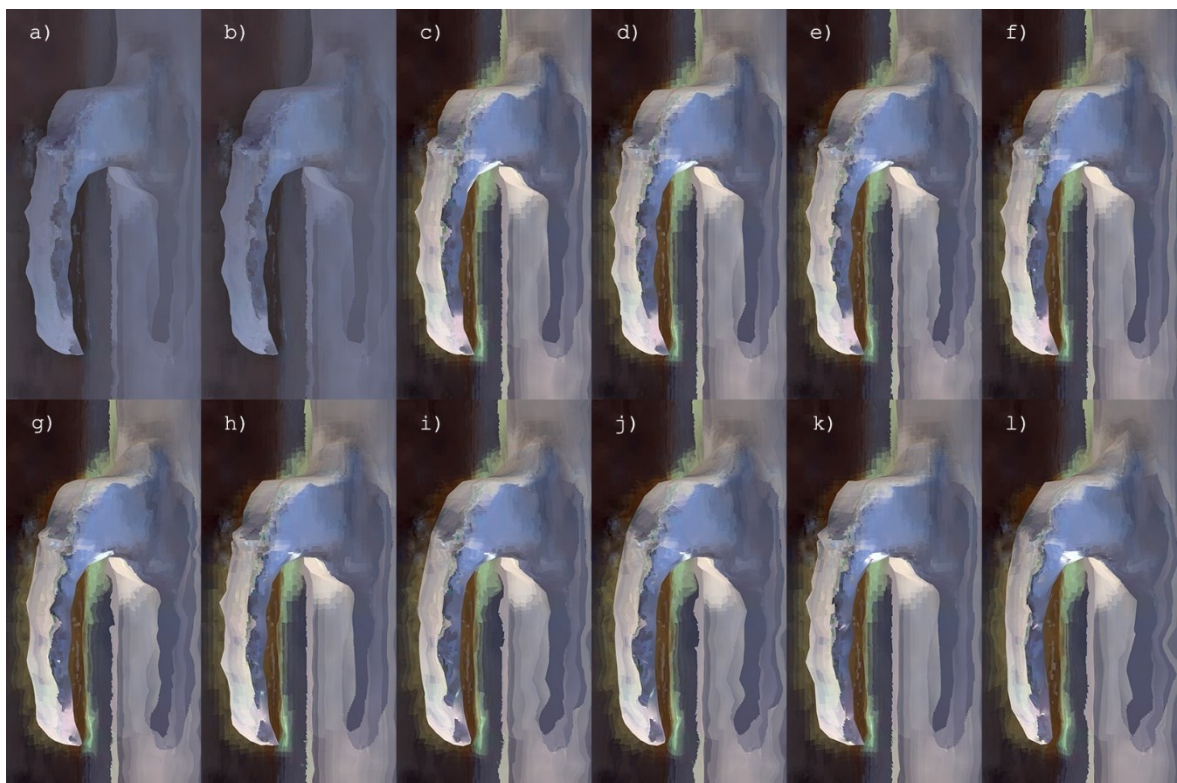
Počas skenovania interiéru najväčšej miestnosti dosahoval skener neuspokojivé výsledky v miestach, kde bola znížená svetelnosť. Na mnohých miestach dochádzalo k čiastočnej alebo úplnej strate textúr, čím sa výrazne znížila kvalita celkového modelu.

Pre porovnanie je na obrázku 39 vo vrchnej časti model bez textúry a v dolnej časti s textúrou. Model nebol nijako upravovaný, a preto je na všetkých povrchoch objektov v hornej časti obrázka zrnenie. To je možné odstrániť pomocou nástroja *Smoothing*. Tento nástroj však môže v procese vyhladzovania odstrániť aj zachytené detaily objektov. Tento príklad ukazuje, že aj napriek nedostačujúcej panoramatickej snímke skener vytvoril detailný model, na ktorom nie je problém rozoznať jednotlivé objekty.



Obrázok 40. Porovnanie 3D modelu bez textúry a s textúrou – CapturingReality

Na druhom poschodí budovy bola zvolená na testovanie postupu vyhladzovania stolička, ktorá bola postavená pri stene miestnosti. Na obrázku 41 je vidieť rôzne výsledky. V tabuľke 9 sú popísané aplikované zmeny.



Obrázok 39 . Zjednodušovanie modelu na kľučke okna – CapturingReality

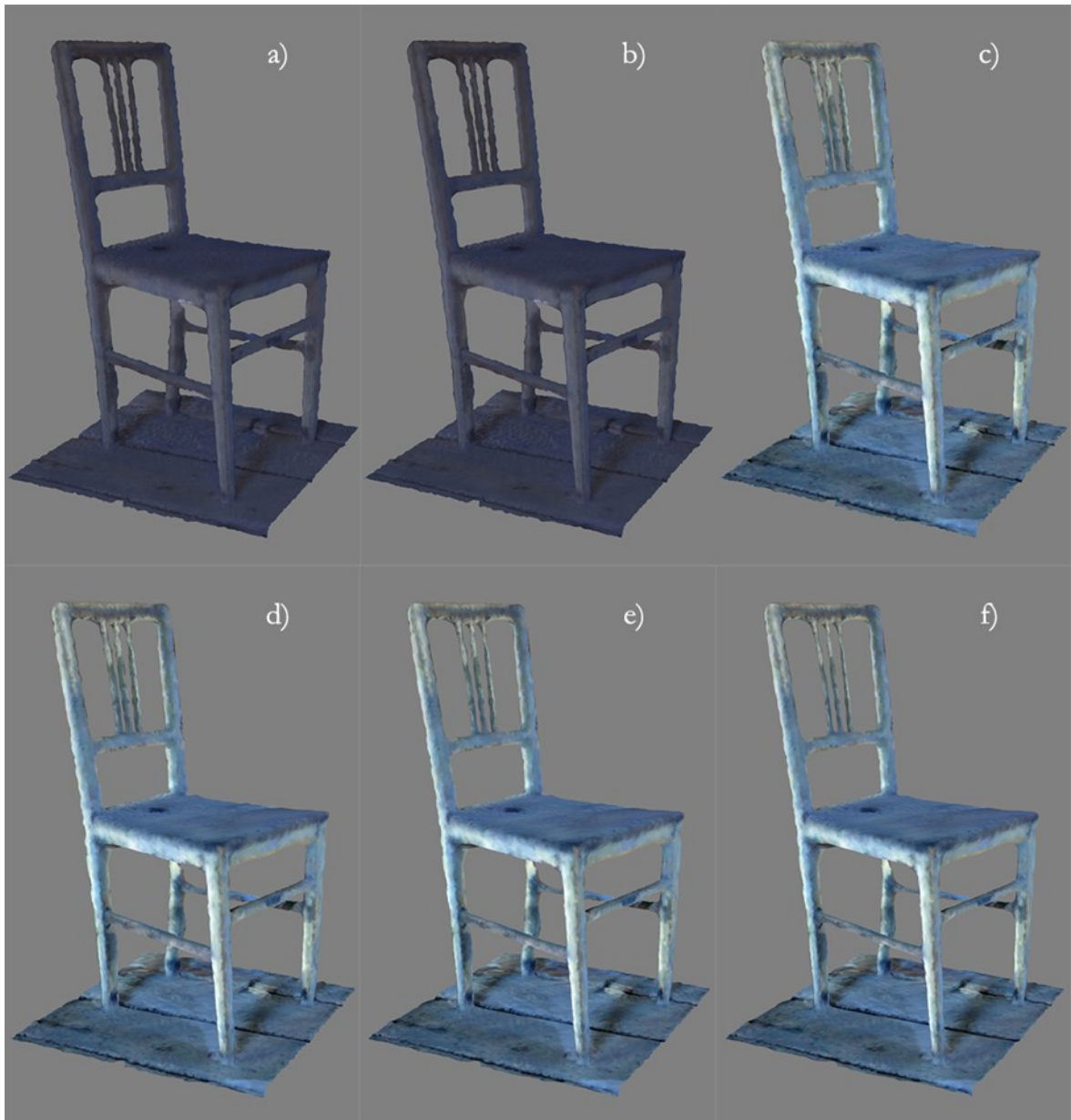
Tabuľka 9. Porovnanie rôznych prístupov vyhladzovania

Označenie	Počet trojuholníkov modelu	Počet iterácií vyhladzovania	Druh vyhladzovania (jemné/silné)
a)	327-tisíc	0	-
b)	327-tisíc	5	jemné
c)	75-tisíc	0	-
d)	75-tisíc	5	jemné
e)	75-tisíc	5	silné
f)	75-tisíc	10	silné

Napriek malým rozmerom obrázka je vidieť, že so zvýšenou intenzitou vyhladzovania, najmä pri silnom nastavení, je vidieť hladší povrch, ktorý je doprevádzaný znižovaním menších častí modelu. Najvýraznejšie je túto zmenu vidieť pri porovnaní modelu a) a f), a to hlavne na troch užších pásoch opierky.

Celkovo sa program RealityCapture ukázal ako veľmi efektívny pre prácu s komplexnými modelmi, ktoré pozostávajú často z niekoľkých stoviek miliónov trojuholníkov. Každý proces je možné sledovať v konzole, kde užívateľ vidí percentuálny progres operácie a taktiež po jej ukončení celkový čas procesu. Program umožňuje užívateľovi pracovať s modelom rôznymi spôsobmi a taktiež ponúka výstupy v mnohých formátoch a mediálnych typoch.

Nakoľko formát práce neumožňuje detailné zobrazenie vytvorených modelov, boli vizualizácie vložené formou príloh a taktiež v elektronickej podobe. Do digitálnej prílohy boli taktiež dodané prehľadové reporty pre jednotlivé projekty.



Obrázok 41. Zjednodušenie a vyhladzovanie modelu stoličky – RealityCapture

ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo naštudovať, analyzovať aktuálne trendy v oblasti rekonštrukcie, 3D modelovania bodov, fotogrametrie a následne aplikovať nadobudnuté poznatky do praxe. Praktická časť mala byť vykonaná v teréne za použitia zariadení zapožičaných univerzitou.

Zvoleným objektom pre praktickú časť práce bola budova Tatry v mestskej časti Jaroslavice v Zlíne. V budove boli po dohode s majiteľom vykonávané počas skenovania len minimálne zmeny tak, aby sa minimalizovali chyby merania. Skenovanie interiéru a exteriéru budovy bolo vykonané pomocou zariadenia Leica BLK360. Skenovanie prebiehalo niekoľko dní, počas ktorých sa prejavili silné aj slabé stránky zariadenia.

Medzi silné stránky určite patrí presnosť vytvárania mračna bodov ako v exteriéri tak v interiéri budovy. Aj pri vyšších vzdialenostiach skener dokázal zachytiť priestor s odchýlkou len niekoľko milimetrov.

Slabšou stránkou sa ukázala tvorba panoramatických snímok, ktorá na mnohých miestach znehodnotila výsledný model. Zariadenie malo malý dynamický rozsah, čo spôsobovalo tvorbu prepálených, prípadne tmavých miest. Najväčšími chybami v modeli sa ukázali okná budovy. Tak ako v interiéri, aj v exteriéri ich skener nedokázal spoľahlivo zachytiť.

Zaujímavým aspektom merania bola neopakovateľnosť jednotlivých skenovaní. Tým, že budova prechádzala rekonštrukciou sa podarilo zachytiť jej jedinečný stav. Skener zachytával priestor jednotne s dostatočnými detailmi, ktoré ale nemožno považovať za fotorealistické. Väčšina malých objektov v interiéri bola čiastočne deformovaná a nerealistická. Aj napriek tomu je objekty možné rozoznať a taktiež si urobiť predstavu o celkovom stave budovy a jej rozmeroch.

Daný typ merania môže nájsť rozsiahle využitie ako doplnujúci zdroj informácií pri rekonštrukcii interiéru a exteriéru budov, tvorbe veľkých modelov a vytváraní virtuálnej reality. Aj napriek úvahe aplikovať tento typ skenovania vo forenznej analýze sa ukázali výsledné dáta ako nedostačujúce a nepresné. Stále ale môže slúžiť ako pomocný materiál, pri rekonštrukcii scény prípadne vykonávanie merania vzdialeností objektov aj po opustení miesta činu.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] FRENCH, Thomas. 3-D : OF DECIDEDLY VICTORIAN ORIGINS. *Ultimate History Project* [online]. Washington DC, 2012 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <http://ultimatehistoryproject.com/3d-photography.html>
- [2] WADE, Nicholas J. Charles Wheatstone (1802 – 1875). *Perception* [online]. 2002, 31(3), 265-272 [cit. 2021-05-16]. ISSN 0301-0066. Dostupné z: doi:10.1068/p3103ed
- [3] SILVERMAN, Robert J. The Stereoscope and Photographic Depiction in *the 19th Century*. *Technology and Culture* [online]. 1993, 34(4) [cit. 2021-05-16]. ISSN 0040165X. Dostupné z: doi:10.2307/3106413
- [4] WADE, Nicholas J. Wheatstone and the Origins of Moving *Stereoscopic Images*. *Perception* [online]. 2012, 41(8), 901-924 [cit. 2021-05-16]. ISSN 0301-0066. Dostupné z: doi:10.1068/p7270
- [5] CAMPBELL, James B. Origins of Aerial Photographic Interpretation, *U.S. Army, 1916 to 1918*. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* [online]. 2008, 74(1), 77-93 [cit. 2021-05-16]. ISSN 00991112. Dostupné z: doi:10.14358/PERS.74.1.77
- [6] How many generations of computers are there?. *Computer Hope* [online]. Riverton: Computer Hope, 2021 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.computerhope.com/issues/ch001921.htm>
- [7] What are the Differences Between an Integrated Circuit and a *Microprocessor*. *TOTALPHASE* [online]. Sunnyvale: TOTALPHASE, 2020 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.totalphase.com/blog/2020/12/differences-between-integrated-circuit-microprocessor/>
- [8] The Story of the Intel® 4004. Intel [online]. *Santa Clara*: Intel, 2021 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/history/museum-story-of-intel-4004.html>
- [9] IKOBA, Jed John. Multiple benchmark tests rank the Kirin 9000 as one of the most-powerful chipset yet. *GIZMOCHINA* [online]. Bao'an, Shenzhen, 2020 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.gizmochina.com/2020/10/23/multiple-benchmark-tests-rank-the-kirin-9000-as-one-of-the-most-powerful-chipset-yet/>

- [10] EMMRICH, Jean-Francois. What Is Structured Light Scanning?. *Medit [online]*. Seoul, 2020 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://blog.medit.com/medit/what-is-structured-light-scanning>
- [11] LINDER, Wilfried. Digital Photogrammetry [online]. Berlin, Heidelberg: *Springer Berlin Heidelberg*, 2009 [cit. 2021-04-22]. ISBN 978-3-540-92724-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-92725-9
- [12] SHOLARIN, Ebenezer A. a Joseph L. AWANGE. Photogrammetry. *SHOLARIN, Ebenezer A. a Joseph L. AWANGE. Environmental Project Management [online]*. Cham: Springer International Publishing, 2015, s. 213-230 [cit. 2021-04-22]. Environmental Science and Engineering. ISBN 978-3-319-27649-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-27651-9_10
- [13] BITLER, Nicole. Leonardo da Vinci's Study of Light and *Optics: A Synthesis of Fields in The Last Supper*. *Intersect*. Stanford: Stanford University, 2011, 2011(4), 26-34.
- [14] Photogrammetry: cartography. *Encyclopedia Britannica [online]*. Britannica, 2016 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/photogrammetry>
- [15] COLLIER, Peter. The development of photogrammetry in World War I. *International Journal of Cartography [online]*. 2018, 4(3), 285-295 [cit. 2021-05-16]. ISSN 2372-9333. Dostupné z: doi:10.1080/23729333.2018.1497439
- [16] ABER, James S., Irene MARZOLFF, Johannes B. *RIES a Susan E.W. ABER. Principles of Photogrammetry. Small-Format Aerial Photography and UAS Imagery [online]*. Elsevier, 2019, s. 19-38 [cit. 2021-05-16]. ISBN 9780128129425. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-812942-5.00003-3
- [17] What is Photogrammetry?. *Take-off Professionals [online]*. *Take-off Professionals, 2020* [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.takeoffpros.com/2020/06/16/what-is-photogrammetry/>
- [18] FIEDLER, Jiří. FOTOGramMETRIE. *Fiedler-geo [online]*. Hradec Králové, 2020 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <http://www.fiedler-geo.cz/fotogrammetrie>

- [19] HÁNEK, Pavel. Slovník VÚGTK. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: https://www.vugtk.cz/slovník/3873_single-image-photogrammetry
- [20] Slovník VÚGTK. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický [online]. 2021 [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: https://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=cz&tid=7324&l=vicesn imkova-fotogrammetrie
- [21] ŠIMÍČEK, Martin. Neměřické kamery při fotogrammetrickém studiu památkových objektů. Olomouc, 2012. Dostupné také z: https://theses.cz/id/xuzktm/Simicek_BP.pdf. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce RNDr. Jakub Miřijovský.
- [22] COLLIER, P. Photogrammetry/Aerial Photography. International Encyclopedia of Human Geography [online]. Elsevier, 2009, s. 151-156 [cit. 2021-05-16]. ISBN 9780080449104. Dostupné z: doi:10.1016/B978-008044910-4.00059-6
- [23] BEHROOZPOUR, Behnam, Phillip A. M. SANDBORN, Ming C. WU a Bernhard E. BOSER. Lidar System Architectures and Circuits. IEEE Communications Magazine [online]. 2017, 55(10), 135-142 [cit. 2021-05-16]. ISSN 0163-6804. Dostupné z: doi:10.1109/MCOM.2017.1700030
- [24] CHE, Erzhuo, Jaehoon JUNG a Michael OLSEN. Object Recognition, Segmentation, and Classification of Mobile Laser Scanning Point Clouds: A State of the Art Review. Sensors [online]. 2019, 19(4) [cit. 2021-05-16]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s19040810
- [25] WEBSTER, John G. Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 1999 [cit. 2021-04-14]. ISBN 9780471346081.
- [26] SHAMATA, Awatif a Tim THOMPSON. Using structured light three-dimensional surface scanning on living individuals: Key considerations and best practice for forensic medicine. Journal of Forensic and Legal Medicine [online]. 2018, 55, 58-64 [cit. 2021-04-14]. ISSN 1752928X. Dostupné z: doi:10.1016/j.jflm.2018.02.017

- [27] Laser Scanner vs Structured Light Scanner: which should you *choose?*. *3D Natives* [online]. 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/laser-3d-scanner-vs-structured-light-3d-scanner-080820194/#>
- [28] VON ÜBEL, Max. 2021 Best Photogrammetry Software (Some *are Free*): Affordable and Easy 3D Scanning. *All3DP* [online]. 2021 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/best-photogrammetry-software/>
- [29] Photogrammetry: Step-by-Step Guide and Software Comparison. *Formlabs* [online]. 2021 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/photogrammetry-guide-and-software-comparison/>
- [30] SCOTT-LESLIE, Devon. 3D Modeling: An Overview of History & *Industry Applications*. *Cad Crowd* [online]. Calgary, 2019 [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://www.cadcrowd.com/blog/3d-modeling-overview-history-industry-applications/>
- [31] 3D skenování a modelování budov pomocí laseru a kamery BLK 360°. *Panopro* [online]. Brno-Veverčí, 2020 [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://panopro.cz/3d-laserove-skenovani/>
- [32] Re-designing interior without the need of visiting a location. *Capturing Reality* [online]. Bratislava, 2020 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.capturingreality.com/interior-re-desing-with-realitycapture>
- [33] CARACALLA 4D: VIDEO VIRTUAL GUIDE: FEATURES AND ROUTE OF *THE IMMERSIVE* VIDEO GUIDE. *CoopCulture* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.coopculture.it/en/events.cfm?id=801>
- [34] Roma, il tour virtuale delle Terme di Caracalla. *Corriere della sera* [online]. Řím, 2020 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: https://roma.corriere.it/foto-gallery/arte_e_cultura/17_dicembre_20/roma-tour-virtuale-terme-caracalle-261110fe-e554-11e7-bb03-a8143f47e27e.shtml
- [35] MARRE, Fabrice. Photogrammetry, game-engines and the geospatial industry. *LinkedIn* [online]. Adelaide, 2020 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z:

- <https://www.linkedin.com/pulse/photogrammetry-game-engines-geospatial-industry-fabrice-marre/>
- [36] St. Paul's Cathedral. Fandom: Assassin's Creed [online]. 2015 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://assassinscreed.fandom.com/wiki/St._Paul%27s_Cathedral
- [37] Dean of St Paul's. Wikipedia [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Dean_of_St_Paul%27s
- [38] Hôtel de Ville. Fandom: Assassin's Creed [online]. 2015 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: https://assassinscreed.fandom.com/wiki/H%C3%B4tel_de_Ville
- [39] CHERNYSHEV, Sergey. Hôtel de ville de Paris. Google Maps [online]. Paříž, 2019 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://goo.gl/maps/sdosURxhpt2HQzGJ6>
- [40] Palace of Westminster. Fandom: Assassin's Creed [online]. 2013 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: https://assassinscreed.fandom.com/wiki/Palace_of_Westminster
- [41] Westminsterský palác v Londýně. Google Maps [online]. 2014 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://goo.gl/maps/Uvs127dexuBGTqWy8>
- [42] Notre-Dame. Fandom: Assassin's Creed [online]. 2014 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://assassinscreed.fandom.com/wiki/Notre-Dame>
- [43] Cathédrale Notre-Dame de Paris. Google Maps [online]. 2021 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@48.8549581,2.3471947,70a,35y,140.44h,68.73t/data=!3m1!1e3>
- [44] JACKSON, Lara. Assassin's Creed: Unity Will Be Used To Help Rebuild Notre Dame. GameByte [online]. 2019 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.gamebyte.com/assassins-creed-unity-will-be-used-to-help-rebuild-notre-dame/>
- [45] Photogrammetry as a Tool for the Forensic Documentation. 3Dsurvey [online]. Ljubljana, 2020 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://3dsurvey.si/case-studies/photogrammetry-as-a-tool-for-the-forensic-documentation>

- [46] PRIKRYL, M, L KUTIL a Josef ZAK. 3D MĚŘENÍ TECHNOLOGIÍ LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ ŠVÉDSKO - SILNICE 41 (Väg 41) Bergham-Gullberg. 2011, 23 s. ISBN 978-80-903925-2-6.
- [47] Tatry restaurant & bar. Facebook [online]. 2016 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/TatryZlin/photos/a.1644455845855710/1644454055855889>
- [48] Leica BLK360. Leica geosystems [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://shop.leica-geosystems.com/global/buy/blk360/blk360>
- [49] BLK 360. CAD Savvy Consulting [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://cadsavvy.ca/Details?prodId=210>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

3D	Trojdimenzionálny (z angl. 3-Dimensional)
8K	Rozlíšenie obrazovky Ultra HD so šírkou približne 8-tisíc pixelov
ALS	Vzdušné laserové skenovanie (z angl. Airborne Laser Scanning)
CPU	Centrálna procesorová jednotka (z angl. Central Processing Unit)
EDSAC	Z angl. Electronic delay storage automatic calculator
ENIAC	Z angl. Electronic Numerical Integrator and Computer
GPS	Globálny lokalizačný systém (z angl. Global Positioning System)
MCS	Z angl. Microcontroller Series
MLS	Mobilné laserové skenovanie (z angl. Mobile Laser Scanning)
SATA	Serial Advanced Technology Attachment
SSD	Solid-State Drive
TB	Terabyte
TLS	Terestriálne laserové skenovanie (z angl. Terrestrial Laser Scanning)
USB	Universal Serial Bus

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1. Vývoj fotogrametrie - Prevzaté a upravené z [12].....	13
Obrázok 2. Porovnanie snímania metódami MLS a ALS - Prevzaté z [24].....	19
Obrázok 3. Kompozícia pri štrukt. svetelnom 3D skenovaní – Prevzaté a upravené z [27].....	20
Obrázok 4. Využitie štruktúrovaného svetelného 3D skenovania pri rekonštrukcii busty - Prevzaté z [27]	21
Obrázok 5. Spracovanie dát na re-dizajn priestoru v programe RealityCapture – Prevzaté z [32]	29
Obrázok 6. Redizajn priestoru v programe RealityCapture – Prevzaté z [32]	29
Obrázok 7. Obvodový múr interiéru bez strechy v kúpeľoch Caracalla - Prevzaté z [34]	30
Obrázok 8. Vstupná hala v kúpeľoch Caracalla - Prevzaté z [34].....	31
Obrázok 9. Fontána pred vstupom do bazénov v kúpeľoch Caracalla - Prevzaté z [34]	31
Obrázok 10. Šatne v kúpeľoch Caracalla - Prevzaté z [34].....	32
Obrázok 11. Detail sochy v kúpeľoch Caracalla - Prevzaté z [34].....	32
Obrázok 12. Katedrála sv. Pavla v Londýne, vľavo hra Assassin's Creed, vpravo realita - Prevzaté a upravené z [36] a [37]	33
Obrázok 13. Mestská radnica Hôtel de ville v Paríži, vľavo hra Assassin's Creed,.....	33
Obrázok 14. Westminsterský palác v Londýne, vľavo hra Assassin's Creed, vpravo realita - Prevzaté a upravené z [40] a [41]	34
Obrázok 15. Katedrála Notre Dame v Paríži v hre Assassin's Creed – Prevzaté z [42]	34
Obrázok 16. Katedrála Notre Dame v Paríži v Google Maps – Prevzaté z [43]	35
Obrázok 17. Štúdia dopravnej nehody - Prevzaté a upravené z [45].....	37
Obrázok 18. Budova Tatry - historická fotografia (20. storočie) - Prevzaté z [47]....	41
Obrázok 19. Budova Tatry – vlastná fotografia (August 2020)	42
Obrázok 20. Leica BLK 360 - Prevzaté z [48]	43
Obrázok 21. Formulár vytvorenia nového projektu.....	45
Obrázok 22. Užívateľské rozhranie aplikácie Cyclone Field 360	46
Obrázok 23. Artefakty okoloidúcich vozidiel - Cyclone REGISTER 360.....	48
Obrázok 24. Lesklý povrch vozidla - Cyclone REGISTER 360	48

Obrázok 25. Možnosti importu – Cyclone REGISTER 360	49
Obrázok 26. Možnosti registrácie - Cyclone~REGISTER~360.....	50
Obrázok 27. Vertikálny (bočný) pohľad – Cyclone REGISTER 360	51
Obrázok 28. Horizontálny (horný) pohľad – Cyclone REGISTER 360.....	52
Obrázok 29. Histogram odchýlky – Cyclone REGISTER 360	52
Obrázok 30. Snímky a ich spojenia - Cyclone~REGISTER~360	53
Obrázok 31. Finalizácia – Cyclone REGISTER 360.....	55
Obrázok 32. Matica susednosti v reporte.....	56
Obrázok 33. Možnosti Importu - RealityCapture	58
Obrázok 34. Nástroj Simplify - RealityCapture	59
Obrázok 35. Vizualizácia prednej časti budovy - RealityCapture.....	60
Obrázok 36. Model exteriéru bez textúry - RealityCature.....	61
Obrázok 37. Detail menších predmetov v interiéri – RealityCapture.....	63
Obrázok 38. Kruhy na podlahe v interiéri - RealityCapture.....	64
Obrázok 40 . Zjednodušovanie modelu na kľučke okna – CapturingReality	66
Obrázok 39. Porovnanie 3D modelu bez textúry a s textúrou – CapturingReality	66
Obrázok 41. Zjednodušenie a vyhladzovanie modelu stoličky – RealityCapture	68
Obrázok 42. Pohľad na budovu zhora	82
Obrázok 43. Pohľad na budovu zo zadnej strany	82
Obrázok 44. Priečny pohľad na budovu zozadu	83
Obrázok 45. Priečny pohľad na budovu spredu.....	83
Obrázok 46. Interiér budovy – spoločenská sála a)	84
Obrázok 47. Interiér budovy – spoločenská sála b).....	84
Obrázok 48. Interiér budovy - vstupná miestnosť	85
Obrázok 49. Interiér budovy – 2. poschodie – veľká miestnosť.....	86
Obrázok 50. Interiér budovy – 2. poschodie – malá miestnosť a).....	86
Obrázok 51. Interiér budovy – 2. poschodie – malá miestnosť b).....	87
Obrázok 52. Interiér budovy – oddychová miestnosť a)	88
Obrázok 53. Interiér budovy – oddychová miestnosť b)	88

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1. Vybrané druhy softwaru - prevzaté z [28]	26
Tabuľka 2. Porovnanie vybraných software – prevzaté z [29]	27
Tabuľka 3. Parametre zariadenia - Leica BLK360 - Prevzaté z [48]	45
Tabuľka 4. Možnosti nastavenia skeneru v aplikácii Cyclone Field 360	46
Tabuľka 5. Informácie o exportovaných súboroch	57
Tabuľka 6. Komponenty a parametre použitého počítača	58
Tabuľka 7. Porovnanie veľkosti exportovaných objektov na základe počtu trojuholníkov	63
Tabuľka 8. Aplikácia zjednodušenia a vyhladzovania na model	66
Tabuľka 9. Porovnanie rôznych prístupov vyhladzovania	68

ZOZNAM PRÍLOH

PRÍLOHA P I: VIZUALIZÁCIA EXTERIÉRU

PRÍLOHA P II: VIZUALIZÁCIA INTERIÉRU I

PRÍLOHA P III: VIZUALIZÁCIA INTERIÉRU II

PRÍLOHA P IV: VIZUALIZÁCIA INTERIÉRU III

PRÍLOHA P I: VIZUALIZÁCIA EXTERIÉRU



Obrázok 42. Pohľad na budovu zhora



Obrázok 43. Pohľad na budovu zo zadnej strany



Obrázok 44. Priečny pohľad na budovu zozadu



Obrázok 45. Priečny pohľad na budovu spredu

PRÍLOHA P II: VIZUALIZÁCIA INTERIÉRU I



Obrázok 46. Interiér budovy – spoločenská sála a)



Obrázok 47. Interiér budovy – spoločenská sála b)



Obrázok 48. Interiér budovy - vstupná miestnosť

PRÍLOHA P III: VIZUALIZÁCIA INTERIÉRU II



Obrázok 49. Interiér budovy – 2. poschodie – veľká miestnosť



Obrázok 50. Interiér budovy – 2. poschodie – malá miestnosť a)



Obrázok 51. Interiér budovy – 2. poschodie – malá miestnosť b)

PRÍLOHA P IV: VIZUALIZÁCIA INTERIÉRU III



Obrázok 52. Interiér budovy – oddychová miestnosť a)



Obrázok 53. Interiér budovy – oddychová miestnosť b)