

Primjena terestričkog laserskog skeniranja i fotogrametrije za potrebe očuvanja kulturne baštine - Crkva Sv. Petra u Sv. Petru Mrežničkom

Parčina, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geodesy / Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:256:655923>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#) / [Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-03**



Repository / Repozitorij:

repozitorij.geof.unizg.hr/en



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Lucija Parčina

**PRIMJENA TERESTIČKOG LASERSKOG
SKENIRANJA I FOTOGRAMETRIJE ZA POTREBE
OČUVANJA KULTURNE BAŠTINE
CRKVA SV. PETRA U SV.PETRU MREŽNIČKOM**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

Lucija Parčina ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 2024.



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Lucija Parčina

**PRIMJENA TERESTIČKOG LASERSKOG
SKENIRANJA I FOTOGRAMETRIJE ZA
POTREBE OČUVANJA KULTURNE BAŠTINE
CRKVA SV. PETRA U SV.PETRU
MREŽNIČKOM**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEODETSKI FAKULTET



Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. 1_349_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

IZJAVLJUJEM

Ja, **Lucija Parčina**, (JMBAG: 00832158591), rođena dana 08.08.1995. u Splitu, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mog rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

I. AUTOR	
Ime i prezime:	Lucija Parčina
Datum i mjesto rođenja:	08. kolovoza 1995., Split, Republika Hrvatska
II. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	Primjena terestičkog laserskog skeniranja i fotogrametrije za potrebe očuvanja kulturne baštine- Crkva Sv.Petra u Sv. Petru Mrežničkom
Broj stranica:	77
Broj tablica:	6
Broj slika:	40
Broj bibliografskih podataka:	23+15 URL
Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Mentor:	doc.dr.sc. Vanja Miljković
Komentor:	-
Voditelj:	Lovro Klarić, mag. ing. geod. et geoinf.
III. OCJENA I OBRANA	
Datum zadavanja teme:	29.01.2023.
Datum obrane rada:	05.07.2024.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	izv. prof. dr. sc. Andrija Krtalić
	izv. prof. dr. sc. Ante Marendić

Primjena terestičkog laserskog skeniranja i fotogrametrije za potrebe očuvanja kulturne baštine

Sažetak: Ovaj diplomski rad prikazuje povijesni i teorijski pregled laserskih i fotogrametrijskih metoda izmjere. Navedeni su izvori pogrešaka za obje metode i zakonska regulativa koja je na snazi u RH. Također, unutar diplomskog rada prikazana je obrada i analiza podataka izmjere terestičkog laserskog skenera i fotogrametrijske metode korištenjem bespilotne letjelice. Korišten instrumentarij je Faro Focus S 350 plus laserski skener, bespilotna letjelica Phantom 4 Pro v2.0 i GNNS uređaj Trimble R12i. Snimanje je obavljeno na crkvi Sv. Petra unutar naselja Svetog Petra Mrežničkog. Obrada dobivenog oblaka točaka skenova obavljena je u softveru Trimble RealWorks, a obrada fotogrametrijskih snimaka izvršena je u softveru Agisoft Metashape Professional. Kao krajnji rezultati dobiven je gusti oblak točaka crkve, 3D model, digitalni ortofoto iz zraka i ortofoto pročelja, zatim uzdužni i poprečni presjeci crkve s dubinskim prikazom u boji. Dobiveni rezultati prikazuju stvarno stanje objekta sa svim detaljima i oštećenjima, služe kao kvalitetna podloga za očuvanje kulturne baštine.

Ključne riječi: Terestički laserski skener, fotogrametrija, oblaka točaka, 3D model

Application of terrestrial laser scanning and photogrammetry for the purposes of preserving cultural heritage

Abstract: This master thesis presents a historical and theoretical overview of laser and photogrammetric measurement methods. The sources of errors for both methods and the legislation in force in the Republic of Croatia are listed. Also, within the master thesis, the processing and analysis of terrestrial laser scanner measurement data and the photogrammetric method using an unmanned aerial vehicle are presented. The instrument used is a Faro Focus S 350 plus laser scanner, a Phantom 4 Pro v2.0 drone and a Trimble R12i GNNS device. The measurement was made at the church of St. Peter within the settlement of St. Peter Mrežnički. The processing of the acquired cloud of scan points was done in the Trimble RealWorks software, and the processing of the photogrammetric images was done in the Agisoft Metashape Professional software. The final results were a dense point cloud of the church, a 3D model, a digital orthophoto from the air and an orthophoto of the facade, then longitudinal and cross-sections of the church with a depth view in color. The obtained results show the actual condition of the building with all the details and damages, they serve as a quality basis for the preservation of cultural heritage.

Keywords: terrestrial laser scanner, photogrammetric, point cloud, 3D model

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1 Pregled metodologije.....	1
1.2 Motivacija	1
1.3 Hipoteza	2
1.4 Pregled dosadašnjih radova.....	2
1.5 Pregled sadržaja po poglavljima	2
2. TEORIJSKA OSNOVA TERESTIČKOG LASERSKOG SKENIRANJA	3
2.1 Povijest.....	6
2.2 Pregled LIDAR sustava.....	9
2.2.1 Lasersko skeniranje sa zemlje	12
2.2.2 Lasersko skeniranje iz zraka.....	16
2.2.3 Lasersko skeniranje sa pokretnih platformi	17
2.3 Izvor pogrešaka TLS-a.....	19
3. TEORIJSKE OSNOVE FOTOGRAMETRIJE	21
3.1 Povijest razvoja bespilotnih letjelica.....	22
3.2 Fotogrametrijske metode.....	24
3.2.1 Aerofotogrametrija.....	25
3.2.2 Terestička fotogrametrija	26
3.2.3 Satelitska fotogrametrija	27
3.3 Izvor pogrešaka u fotogrametriji	28
3.4 Zakonska regulativa za fotogrametrijska mjerenja	30
4. TERENSKO PRIKUPLJANJE PODATAKA.....	35
4.1 Predmet izmjere	35
4.2 Korišteni instrumentarij.....	36
5. OBRADA PODATAKA GEODETSKE IZMJERE.....	41
5.1 Terestičkog laserskog skeniranja	41
5.2 Fotogrametrija	46
6. REZULTATI I DISKUSIJA	50
7. ZAKLJUČAK.....	53
LITERATURA	54
POPIS SLIKA	56
POPIS TABLICA	58
POPIS URL-OVA	59
PRILOZI.....	60

ŽIVOTOPIS..... 76

1. UVOD

Sve veća potreba za izradom 3D modela potiče razvoj potrebnih tehnologija. Tri glavne tehnike za prikupljanje gustog oblaka točaka potrebnog za izradu modela su: klasične geodetske tehnike kartiranja, primjena fotogrametrijskih metoda ili terestičko skeniranje. Konvencionalne geodetske metode dugotrajne su i tehnički zahtjevnije, te se druge dvije sve češće primjenjuju.

Terestičko lasersko skeniranje koristi laserske zrake za precizno mjerenje udaljenosti do objekata. Pruža visoku točnost i sposobnost skeniranja velikih površina u njihovom trenutnom stanju i u kratkom vremenskom razdoblju, koristi se za stvaranje preciznih 3D modela koji se mogu koristiti za praćenje stanja objekata kroz vrijeme, planiranje restauracijskih radova i virtualnu rekonstrukciju oštećenih dijelova. Posebno je korisno za skeniranje složenih struktura i teško dostupnih lokacija, pružajući podatke koji bi inače bili teško dostupni ili nemogući za prikupljanje tradicionalnim metodama. S druge strane, fotogrametrija omogućuje detaljnu vizualizaciju površina objekata uz relativno niže troškove i jednostavniju primjenu. Na temelju fotografija snimljenih iz različitih kutova i njihovim preklapanjem generira 3D model. Pogodna je za dokumentiranje složenih površina punih detalja (npr. oltar crkve) jer pruža bogatstvo informacija potrebnih za očuvanje i rekonstrukciju kulturne baštine. Kao disciplina zahvalna je za korištenje jer za fotografiranje nije nužno imati skupu opremu, može se koristiti i mobilni uređaj. Ovisno o željenoj kvaliteti krajnjeg modela, prilagođava se i kvaliteta samih uređaja.

Kombinacija TLS-a i fotogrametrije omogućava integrirani pristup koji spaja preciznost laserskog skeniranja s vizualnim detaljima fotogrametrije, pružajući sveobuhvatan alat za zaštitu kulturne baštine.

1.1 Pregled metodologije

Za izradu ovog diplomskog rada podaci su prikupljeni korištenjem 3D laserskog terestičkog skenera i bespilotne letjelice. Modeli i specifikacije uređaja navedeni su dalje u radu. Dobiveni podaci obrađeni su uz pomoć odgovarajućih softvera (Trimble RealWork i Agisoft Metashape Professional.) uz pomoć kojih je generiran 3D model.

1.2 Motivacija

Motivacija za odabir teme ovog diplomskog rada proizlazi iz sve većeg i bržeg tehnološkog napretka, koji se očituje i unutar geodetske struke. U odnosu na klasične geodetske metode korištenje 3D laserskog terestičkog skenera i fotogrametrije omogućuje puno efikasniju primjenu, manje utrošenog vremena, a gušći oblak točaka. Primjerna navedenih metoda može značajno unaprijediti postupke očuvanja kulturne baštine, stvarajući digitalne baze podataka koje će biti dostupne i razumljive budućim generacijama. Također, omogućava preciznu i detaljnu digitalizaciju, te se stvaraju trajni zapisi koji se koriste za restauraciju, analizu i edukaciju.

1.3 Hipoteza

Hipoteza ovog diplomskog rada je da se primjenom navedenih tehnika pri izradi 3D modela može doprinijeti čuvanju kulturne baštine prilikom samog planiranja i izvođenja restauracija. Njihovom primjenom kreiraju se trajni dokumenti koji prikazuju stvarno stanje objekata. Na primjeru Crkve Sv. Petra Mrežničkog koja se obrađuje u ovom diplomskom radu, vidimo da se izmjereno stvarno stanje sa terena modeliralo u 3D prikaz sa svim detaljima i oštećenjima koja su nastala tijekom vremena.

1.4 Pregled dosadašnjih radova

Matijević H. i Roić M u svom znanstvenom članku govore o primjeni mjerenja duljina impulsnom metodom u geodeziji i kako je razvoj tehnologije omogućio primjenu 3D modeliranja stvarnog svijeta što je dovelo do razvoja terestičkih laserskih skenera, te u članku opisuju njegov princip rada, primjenu, točnost i prikazuje modele koji su dostupni na tržištu.

Ebrahim u članku usredotočen je na predstavljanje 3D laserskih skenera, njihovoj prošlosti, primjeni i očekivanoj budućnosti. Detaljno objašnjava sve bitne segmente, različite vrste skenera te njihove prednosti i mane. Prikazuje aplikaciju 3D laserskih skenera i točnost koju pružaju, također piše i o LiDAR sustavu.

Govorčin i dr. govore o bespilotnim letjelicama, njihovom razvoju kroz povijest i kako su pronašle svoju primjenu u geodeziji. Zatim objašnjavaju važnost i primjenu fotogrametrije. Prikazuju mogućnosti primjene i funkcionalnosti bespilotne letjelice Swinglet CAM. Na samom kraju pojašnjavaju zakonsku regulativu koju je potrebno zadovoljiti prilikom korištenja bespilotnih letjelica.

Mokhtar i dr. u svom radu predstavljaju preliminarne rezultate simulacijske studije o izradi jeftinog digitalnog modela visine (DEM) za područje istraživanja klizišta u Seri Iskandar, Perak. Cilj rada je predstaviti potencijal fotogrametrije bliskog dometa (CRP) kao alata za prikupljanje podataka u izradi digitalnog modela visine (DEM) korištenjem podataka iz mjerenja površine.

1.5 Pregled sadržaja po poglavljima

Drugo poglavlje bavi se terestičkim laserskim skenerima. Opisuje se princip rada lasera i laserskog skeniranja te njihov razvoj kroz povijest. Također, pregled rada LiDAR sustava i prikaz podijele prema položaju laserskog skenera u odnosu na Zemljinu površinu sa objašnjenjem načina rada, njihovih prednosti i mana. Na kraju poglavlja razrađuju se izvori pogrešaka terestičkih skenera.

Treće poglavlje objašnjava osnove fotogrametrije i razvoj bespilotnih letjelica od samih početaka do danas. Prikazuje se podjela fotogrametrije u odnosu na položaj kamere. Objasneni su i izvori pogrešaka, te na samom kraju navedena je zakonska regulativa koja je trenutno na snazi u RH.

Proces terenskog prikupljanja podataka prikazan je u četvrtom poglavlju. Navodi se predmet izmjere i korišteni instrumentarij sa svojim specifikacijama.

Peto poglavlje vodi kroz proces obrade podataka dobivenih izmjerom, navode se svi potrebni koraci koje je potrebno obaviti da bi se generirao 3D model. Objašnjava se i rad u softverima koje je potrebno koristiti za obradu terenskih podataka.

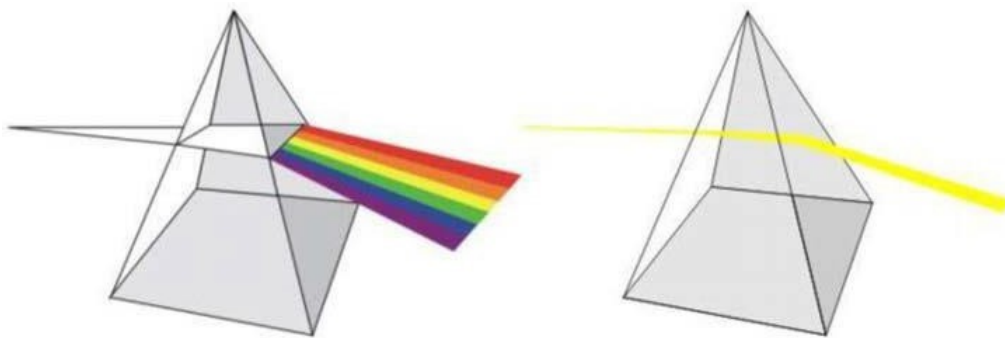
Svi rezultati koji su dobiveni u praktičnom dijelu rada prikazani su u šestom poglavlju kao i finalni produkt 3D model crkve Sv. Petra Mrežničkog.

Sedmo poglavlje je zaključak, gdje se iskazuje kratki osvrt na cijeli rad i dobivene rezultate.

2. TEORIJSKA OSNOVA TERESTIČKOG LASERSKOG SKENIRANJA

Laser (engl. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je engleski akronim za pojačavanje svjetlosti stimuliranom emisijom zračenja, odnosno izvor i pojačalo vrlo usmjerenog snopa koherentnog svjetla, danas i u širem smislu koherentnog elektromagnetskog (infracrvenog, vidljivog i ultraljubičastog) zračenja (Lasić, 2008).

Laserska svjetlost sastoji se od jedne valne duljine koja je usmjerena u uskom koherentnom snopu. Laser radi na principu kvantnih pojava pri prijenosu energije zračenjem. Jednosmjernost, jednobojnost i koherentnost su najvažnije karakteristike laserske svjetlosti. Jednosmjernost predstavlja širenje laserskog svjetla u točno definiranom smjeru, a rezultat je minimalno raspršivanje zrake na velikim udaljenostima. Jednobojnost je svojstvo laserske zrake da ima uvijek istu frekvenciju, tj. sadrži samo jednu valnu duljinu. Prolaskom kroz prizmu zraka ostaje nepromijenjena (slika 2.1). A koherencija je karakteristika laserske zrake da se sastoji od valova iste frekvencije, polarizacije i stalnog odnosa faza (Đapo i dr., 2022).



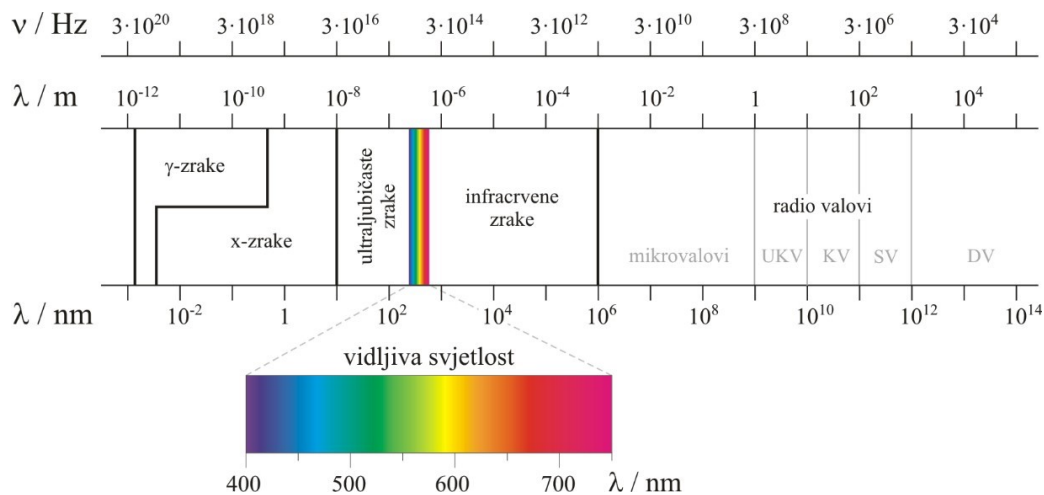
Slika 2.1 Monokromatska svjetlosti (Đapo i dr., 2022)

Lasersko zračenje implementiralo se u različitim znanstvenim, tehničkim i medicinskim primjenama, no također može uzrokovati ozbiljne ozljede kože i očiju. Korisnici uređaja sa laserskim zračenjem moraju biti svjesni rizika uzrokovanog nepravilnim rukovanjem te su dužni svrstati svoj proizvod u jednu od sigurnosnih klasa lasera.

Prema Pravilniku o zaštiti od optičkog zračenja imamo podjelu na sigurnosne klase lasera (Narodne novine, broj 91/10):

- **Klasa 1** - izvor koherentnog optičkog zračenja, zračenje je neopasno pri svim uvjetima rada i uporabe
- **Klasa 1M** - izvor koherentnog optičkog zračenja, proizvodi divergentan snop i zračenje je neopasno, ako se ne promatra kroz fokusirajuću optiku (npr. mikroskopi i teleskopi)
- **Klasa 1C** - izvor koherentnog optičkog zračenja, namijenjen za izravnu primjenu laserskog zračenja na kožu ili unutrašnje tjelesno tkivo u svrhu medicinske dijagnostike, terapijskih ili kozmetičkih postupaka. Izlaganje očiju je onemogućeno konstrukcijom uređaja.
- **Klasa 2** - izvor vidljivog koherentnog zračenja, zračenje neopasno u svim uvjetima slučajnog izlaganja kada je izlaganje zračenju kraće od 0,25 s. Svako promatranje koje traje duže od 0,25 s može biti štetno
- **Klasa 2M** - izvor vidljivog koherentnog zračenja, zračenje neopasno u uvjetima slučajnog izlaganja kraćeg od 0,25 s , ako se ne promatra kroz fokusirajuću optiku.
- **Klasa 3R** - izvor koherentnog zračenja, potencijalno opasno, ali sa manjim rizikom oštećenja. Maksimalan snaga vidljivih kontinuiranih lasera ograničena je na 5mW, a za druge valne duljine i impulsno zračenje vrijede druge granične vrijednosti
- **Klasa 3B** - izvor koherentnog zračenja, opasno pri direktnom izlaganju oka ili kože. Koristi se zaštitna oprema prilikom rada, a uređaji imaju paljenje na ključ i internu sigurnosnu metodu
- **Klasa 4** - izvor koherentnog zračenja, vrlo je opasno i može izazvati opekotine, požar ili oštećenja materijala. Koristi se zaštitna oprema prilikom rada, a uređaji imaju paljenje na ključ i internu sigurnosnu metodu

Emitiraju elektromagnetsko zračenje u nevidljivom (100- 400 nm i 700 nm- 1 mm) i vidljivom (400- 700 nm) dijelu spektra (slika 2.2). Svjetlost se u fizici definira kao elektromagnetsko zračenje vidljivo ljudskom oku.



Slika 2.2 Spektar elektromagnetskog zračenja (URL 1)

Mjerenje duljina u kojima se upotrebljava elektromagnetska energija dijeli se na dvije osnovne metode, odnosno na faznu i impulsnu metodu. Prvo se pojavila fazna metoda koja je u svojim počecima bila popraćena problemima jednoznačnosti rezultata mjerenja, otvorila je put modernizaciji mjerenja duljina u geodeziji. Pojavom impulsne metode dolazi do bez reflektornog mjerenja duljina, a samim time i do pojave laserskih skenera. Princip rada za obje metode vrlo je jednostavan, potrebno je poznavati brzinu svjetlosti c i vrijeme t u kojem svjetlost prijeđe dvostruki put između dvije točke, odnosno od odašiljača do reflektora i nazad. Kada imamo poznate iznose brzine svjetlosti i vremena možemo izračunati udaljenost D između odašiljača i reflektora po formuli (1) :

$$D = \frac{1}{2} * c * t \quad (1)$$

Matijević i Roić (2002) objašnjavaju kako je brzina svjetlosti konstantna veličina, stoga za mjerenje duljine potrebno je točno odrediti vremenski interval koji je potreban elektromagnetskom valu da prijeđe put od odašiljača do reflektora i natrag.

Faznim mjerenjem koristi se posredna metoda mjerenja vremenskog intervala mjerenjem fazne razlike između odaslano i primljenog signala. Modularni val odaslan iz elektroničkog uređaja prema reflektoru, nakon refleksije pomaknut je u odnosu na odaslani val. Na temelju cijelog broja valnih duljina i faznog pomaka dolazimo do duljine.

Lasersko skeniranje je jedna od najnovijih tehnika koja je poboljšala 3D izmjeru (Alkan i Karsidag, 2012), a ne predstavlja zamjenu za postojeće tehnike geodetskog snimanja, već predstavlja alternativu koja se može upotrijebiti u većini geodetskih poslova. Registracijom udaljenosti i kuta do određene točke u području snimanja obavlja se skeniranje. Kao rezultat snimanja dobiva se skup trodimenzionalnih XYZ točaka koji se naziva oblak točaka. Prostorna udaljenost između točaka snimanja unutar oblaka točaka ovisi o blizini objekta snimanja, ali i o tehničkim specifikacijama instrumenta. Današnji skeneri snimaju vrlo guste oblake točaka i pružaju mogućnost dobivanja točaka na međusobnoj udaljenosti od 1 mm. Oblak točaka uz prostorne, relativne ili apsolutne koordinate može sadržavati i RGB model boje reflektirane

površine, odnosno može sadržavati podatak o boji i intenzitetu reflektirane zrake. RGB model dobiven je vanjskom ili unutarnjom kamerom, a vrijednost intenziteta dobiva se iz jačine odbijenog signala (Miler i dr., 2007).

Lasersko skeniranje dijeli se u dvije grupe: statičko i dinamičko lasersko skeniranje. Kod statičkog skeniranja laserski skener miruje, odnosno fiksiranje u prostoru. Dok se kod dinamičkog laserskog skeniranja laserski skener veže za mobilnu platformu, npr. za skeniranje iz zraka (avion) ili skeniranje sa površine Zemlje (vozilo u pokretu). Tijekom rada potrebno je koristiti sustav za pozicioniranje, kako bi se odredio položaj instrumenta tijekom snimanja.

Princip rada laserskih skenera zasniva se na mjerenju polarnih koordinata, horizontalnog i vertikalnog kuta te udaljenosti do pojedine točke prostora. Prema unaprijed zadanom razmaku, instrument šalje niz laserskih impulsa i registriira ukupan pomak sustava u odnosu na njegov prvobitni položaj te izmjerenu duljinu, računa prostorne koordinate svake točke. Za povećanje točnosti, mjerenje udaljenosti obavlja se u određenom broju ponavljanja.

Jedan od važnijih dijelova kod konstrukcije laserskog skenera je rješenje usmjeravanja laserske zrake. Kako bi se snimanjem željenog objekta ostvarilo mjerenje velikog broja točaka, odnosno njihovih 3D koordinata, potrebno je uz mjerenje duljine odrediti i horizontalni i vertikalni kut sa zadovoljavajućom točnošću. Laserski skeneri nemaju isti princip rada kao i klasični geodetski instrumenti kod kojih se neposredno mjere kutovi prema određenim točkama, zato što su pomaci u horizontalnim i vertikalnim ravninama unaprijed poznati. Vrijednost kutnog pomaka se, u odnosu na ishodišni položaj, dobiva za svaku mjerenu točku zbrajanjem prethodno izvedenih, konstantnih pomaka (Matijević i Roić, 2002).

2.1 Povijest

Albert Einstein još je početkom 20-og stoljeća istraživao princip rada lasera proučavajući interakciju fotona s pobuđenim elektronima unutar atoma. Upravo sa tim otkrićima je postavio temelje za izradu prvog lasera. Dok su Gordon Goulda i Theodora Maimana u 50-im godinama prošlog stoljeća izumili lasersku zraku.

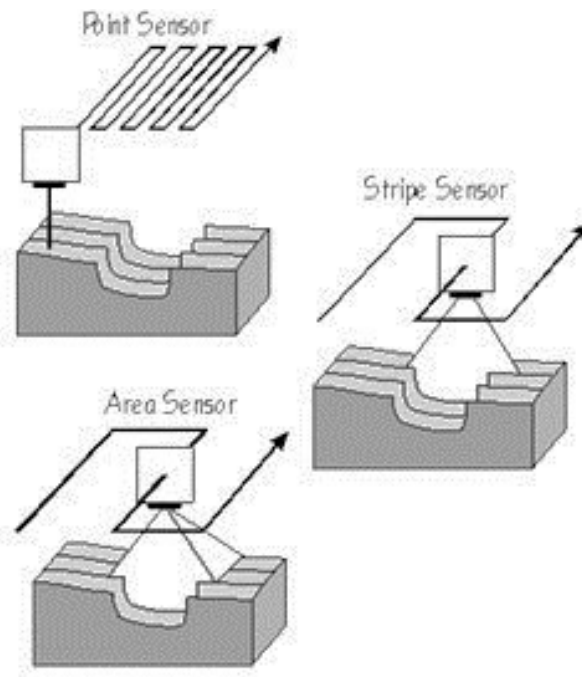
3D lasersko skeniranje razvilo se tijekom druge polovice 20. stoljeća pokušavajući što preciznije rekreirati površine različitih objekata i mjesta. Prva tehnologija 3D skeniranja nastala je 1960-ih, skeneri su koristili svjetla, kamere i projektore. Ograničenja opreme zahtijevala su mnogo vremena i truda za točno skeniranje objekata. Nakon 1985. godine zamijenjeni su skenerima koji su koristili bijelo svjetlo, lasere i sjenčenje za snimanje određene površine. Razvoj računala omogućio je izradu složenijih modela, ali problem je bio kreiranje takvog modela. Kompleksnije modele nije bilo moguće precizno izmjeriti ravnalom, (slika 2.3).



Slika 2.3 Mjerenje kompleksnijih modela ravnalom (Ebrahim, 2011)

Osamdesetih godina razvila se kontaktna sonda i omogućila stvaranje preciznijeg modela koji je i dalje bio spor. Tražilo se rješenje koje bi sustav učinilo efikasnijim, odnosno da većom brzinom može obuhvatiti istu količinu detalja. Samim time došlo je do razvijanja optičke tehnologije, korištenje svjetla pokazalo se kao brže rješenje od fizičke sonde. Uz korištenje svjetlosti bilo je moguće skenirati i mekane objekte, koji bi do tada bilo kakvim fizičkim dodirima mogli biti ugroženi. U to vrijeme postojale su 3 vrste optičke tehnologije (slika 2.4) (Ebrahim, 2011) :

- **Točka** (engl. *Point Sensor*) - slična fizičkoj sondi zato što koristi jednu referentnu točku, koja se ponavlja mnogo puta. Predstavlja najsporiji pristup jer je zahtijevao mnogo fizičkih pokreta senzora.
- **Površina** (engl. *Stripe Sensor*) - tehnički zahtjevno, nedostatak robusnih sustava u prodaji.
- **Linija** (engl. *Area Sensor*) - pokazao se kao brži način od sondiranja točaka zato što koristi niz od mnogo točaka za prelazak preko objekta odjednom. Zadovoljava dvostruke zahtjeve za brzinom i preciznošću.



Slika 2.4 Skica 3 vrste optičkih tehnologija (Ebrahim, 2011)

Linija se pokazala kao smjer u kojem se treba razvijati, ali ispostavilo se da je sljedeći izazov softver. Senzor bi napravio nekoliko skeniranja iz različitih pozicija da bi uhvatio objekt u tri dimenzije. Problem je bio spojiti navedena skeniranja, ukloniti duplicirane podatke i izdvojiti višak koji se nakuplja pri tako velikom broju točaka. Tvrtke su razvile vlastite skenere s visokim detaljima, neki su mogli uhvatiti i boju objekta, ali unatoč tom napretku pravo trodimenzionalno skeniranje sa zahtijevanom brzinom i točnošću, ostalo je nedostižno.

Cilj je bio izraditi 3D skener koji zadovoljava sljedeće kriterije:

- Točnost
- Brzu
- Mjerenje istinskih trodimenzionalnih podataka
- Sposobnost registracije boje površine objekta skeniranja
- Financijske isplativosti

Tek je 1996. godine napravljen 3D skener pod nazivom ModelMaker (slika 2.5). Skener je implementiran uz pomoć linijskog 3D skeniranja i manualnog upravljanja. ModelMarker predstavlja prvi fleksibilni sustav snimanja stvarnosti koji proizvodi složene modele te prikazuje njihove teksture i boje u relativno kratkom vremenu (Ebrahim, 2011).



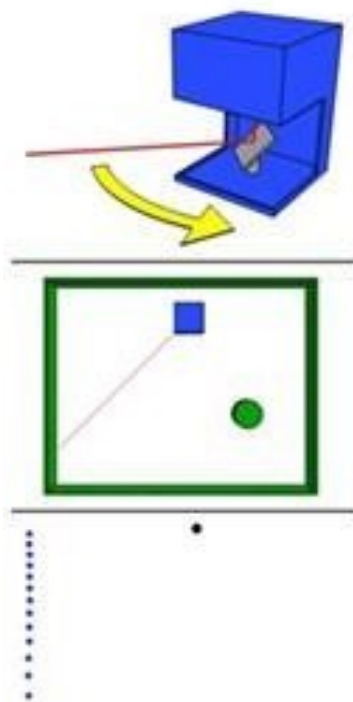
Slika 2.5 3D skener ModelMaker (Ebrahim, 2011)

2.2 Pregled LIDAR sustava

LIDAR je kratica za engleski izraz Light Detection And Ranging, u prijevodu detekcija i određivanje udaljenosti objekta pomoću svjetlosnih valova. Iako je bilo sugestija da se uvede pojam LaDAR (engl. *Laser Detection And Ranging*), zbog naglašavanja da se radi o primjeni lasera (Lasić, 2008). Pripada skupini metoda daljinskih istraživanja koje rade na principu prikupljanja i interpretiranja podataka o udaljenim objektima bez fizičkog kontakta s njima. Temelji se na detekciji i određivanju udaljenosti objekata uz pomoć svjetlosnih valova te ima vrlo široku primjenu. Sustavi koji integriraju različite mjerne senzore omogućuju dobivanje raznovrsnih podataka koji omogućuju detekciju potencijalnih opasnosti. Skeniranje LIDAR sustavima moguće je izvoditi iz statičnog položaja ili pokretne platforme npr. automobil, bespilotna letjelica, zrakoplov i dr. (Baraba, 2020).

LIDAR sustavi imaju široku primjenu u geodeziji od izrade digitalnih modela reljefa (DMR) u šumovitim i nepristupačnim područjima, izračuna volumena s procjenom preostalih rezervi, izrade podloga za projektiranje cesta, autocesta, plinovoda i dr. Kao i praćenje izgradnje spomenutih infrastrukturnih objekata. Također, primjenu ima i u zaštiti okoliša, procjeni erozije tla, riječnih obala, itd. (Kujundžić, 2007). Lasić (2018) napominje kako se LIDAR sustavi ne koriste samo za prostorno skeniranje, već i za praćenje fizikalnih procesa u atmosferi, jer omogućuje vrlo precizno mjerenje brzine, mjera kretanja, te gustoće čestica u atmosferi. Ova tehnologija se obilježava kraticom DIAL (engl. *Differential Absorption LIDAR*).

Osnovni LIDAR sustav uključuje laserski daljinomjer reflektiran rotirajućim zrcalom (gornja slika) (slika 2.6). Laser skenira oko područja koje se digitalizira, u jednoj ili dvije dimenzije (srednja slika), prikupljajući mjerenja udaljenosti u određenim kutnim intervalima (donja slika).



Slika 2.6 Princip skeniranja LIDAR sustava (Ebrahim, 2011)

Osnovna podjela LIDAR sustava s obzirom na vrstu detekcije (Ebrahim, 2011):

- **nekoherentnu ili izravna detekcije** - uglavnom mjeri amplitude
- **koherentnu** - najbolja za Doppler ili fazno mjerenje, koristi optičku heterodinsku detekciju koja je osjetljivija od izravne detekcije

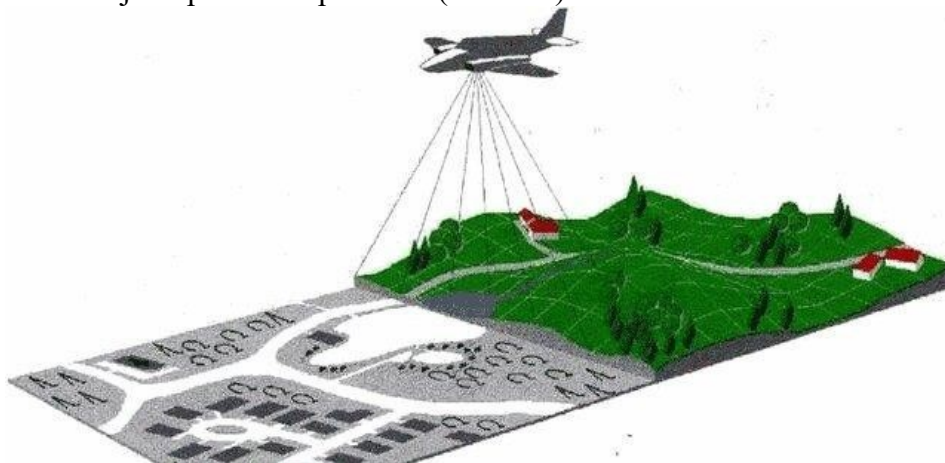
LIDAR sustavi sastoje se od nekoliko glavnih komponenti:

- **Laserski odašiljač**- odašilje impuls prema objektu snimanja koji se reflektira i vraća nazad u prijamni senzor. Za topografska snimanja Zemlje obično se koristi blisko infracrveno lasersko područje
- **Skener i optika** — brzina kojom se slike razvijaju ovisi brzini kojom se skeniraju. Postoji nekoliko opcija za skeniranje azimuta i elevacije, uključujući dvostruka oscilirajuća ravna zrcala, kombinaciju s poligonskim zrcalom, dvoosni skener. Odabir optike utječe na kutnu rezoluciju i raspon koji se može otkriti.
- **Fotodetektor i elektronika prijemnika** —koriste se dvije osnovne tehnologije fotodetektora: fotodetektor u čvrstom stanju, kao što su silicijske lavinske fotodiode ili fotomultiplikatori. Osjetljivost prijemnika još je jedan parametar koji se mora uravnotežiti u dizajnu LiDAR-a.
- **Pozicioni i navigacioni sustavi** — LiDAR senzori koji su postavljeni na mobilne platforme kao što su zrakoplovi ili sateliti zahtijevaju instrumente za određivanje

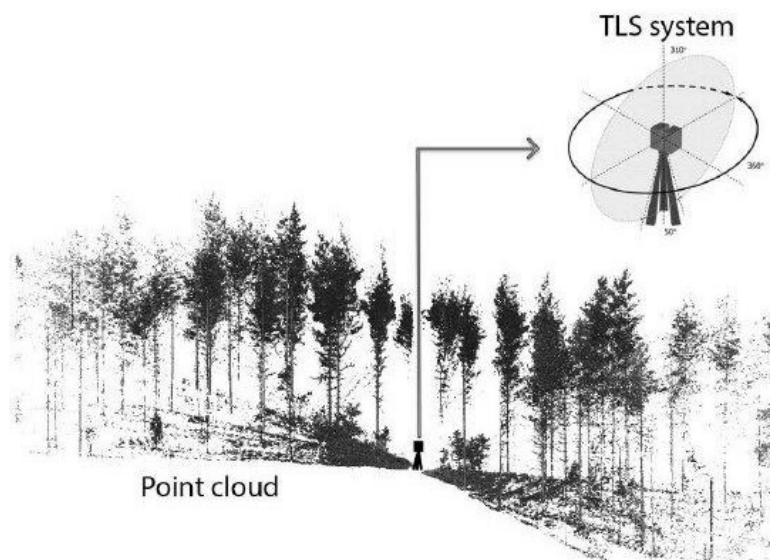
apsolutne pozicije i orijentacije senzora. Takvi uređaji općenito uključuju prijemnik Global Positioning System (GPS) i Inercijalnu mjernu jedinicu (IMU).

S obzirom o vrsti terena koji je potrebno izmjeriti odabire se pogodnija metoda snimanja. Osnovni princip određivanja koordinata mjerenih točaka je isti, ali se tehnologije bitno razlikuju. Prema položaju laserskog skenera u odnosu na Zemljinu površinu, dijeli se na:

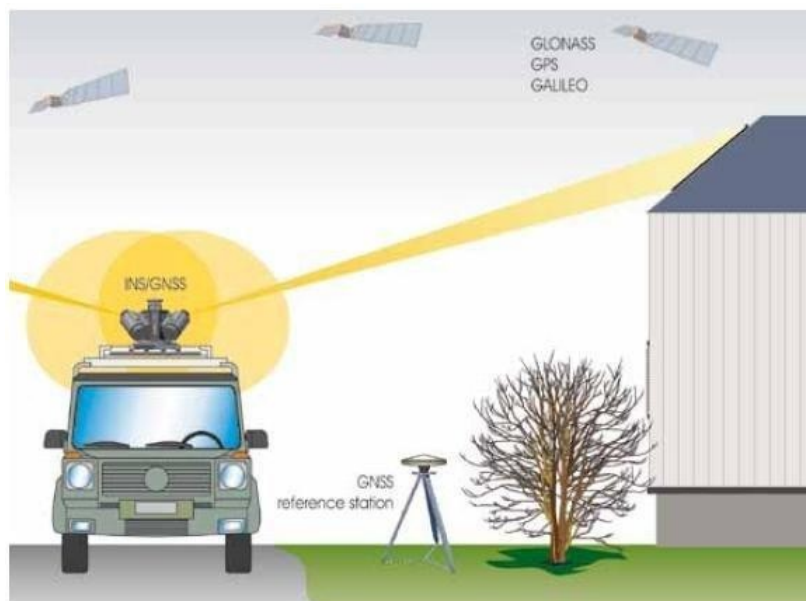
- lasersko skeniranje iz zraka (engl. Airborne Laser Scanning - ALS) (slika 2.7)
- lasersko skeniranje sa zemlje (engl. Terrestrial Laser Scanning - TLS) (slika 2.8)
- lasersko skeniranje sa pokretnih platformi (slika 2.9)



Slika 2.7 Lasersko skeniranje iz zraka (URL2)



Slika 2.8 Lasersko skeniranje sa Zemlje (URL 3)



Slika 2.9 Lasersko skeniranje sa pokretnih platformi (URL 4)

2.2.1 Lasersko skeniranje sa zemlje

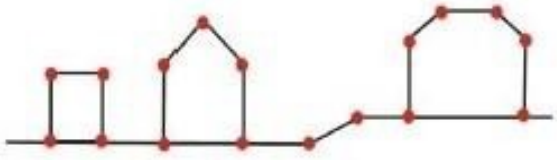
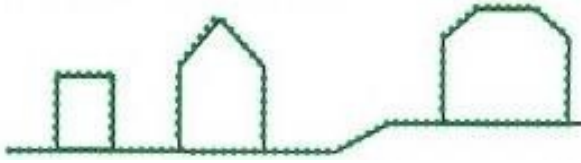
Prvi terestički laserski 3D sustavi pojavili su se devedesetih godina. Tijekom godina došlo je do značajnog napretka te je u posljednje vrijeme postala nezamjenjiva tehnologija za izmjernu i prikazivanje Zemljine površine i objekata na njoj. Instrumenti koji se koriste su terestički laserski skeneri TLS koji omogućuju pridobivanje cijelih područja manjeg i srednjeg protezanja, kao i detaljnih digitalnih snimaka velikih objekata.

Princip rada je vrlo sličan današnjim klasičnim geodetskim instrumentima s laserom koji su u upotrebi već godinama. Laserska zraka odaslana iz mjernog instrumenta se reflektira od objekta snimanja i vraća natrag do mjernog instrumenta. Kombinacija izmjerene udaljenosti i kuta s određenog stajališta daje koordinate tražene točke u 3D prostoru. Osnovna podjela laserskog skeniranja prema načinu snimanja je na statičko i mobilno.

Kod statičkog skeniranja terestički laserski skeneri postavljaju se na stativ poput klasičnog geodetskog instrumenta. Mjerenje se obavlja metodom registracije kuta i udaljenosti do određene točke u području snimanja. Udaljenost između susjednih točaka unutar oblaka točaka definirana je tehničkim karakteristikama korištenog instrumenta i blizinom objekta snimanja, a snimanja omogućuju vrlo gust oblak točaka velike točnosti. Terestički laserski skeneri najčešće imaju ugrađenu RGB kameru, koja svakoj izmjerenoj točki dodjeljuje RGB vrijednost. Vizualizacija snimljenih objekata je moguća u kombinaciji sa izmjerenim intezitetom na svakoj točki, ali za bolju uspješnost potrebna je osvjetljenost objekta.

TLS ima mnogo prednosti u odnosu na klasične metode izmjere kao što je prikazano u tablici 1., neke od njih su: brža izmjera i znatno smanjenje troškova kod zahtjevnijih projekata, mjerenja je moguće obaviti i tijekom noći, snimanje nedostupnih ili opasnih objekata sa sigurne udaljenosti, izmjera svih točaka objekata, što povećava sigurnost korisnika u točnost izmjerenih podataka te je moguće iskoristiti za neke nove zahtjeve (Đapo i dr., 2022).

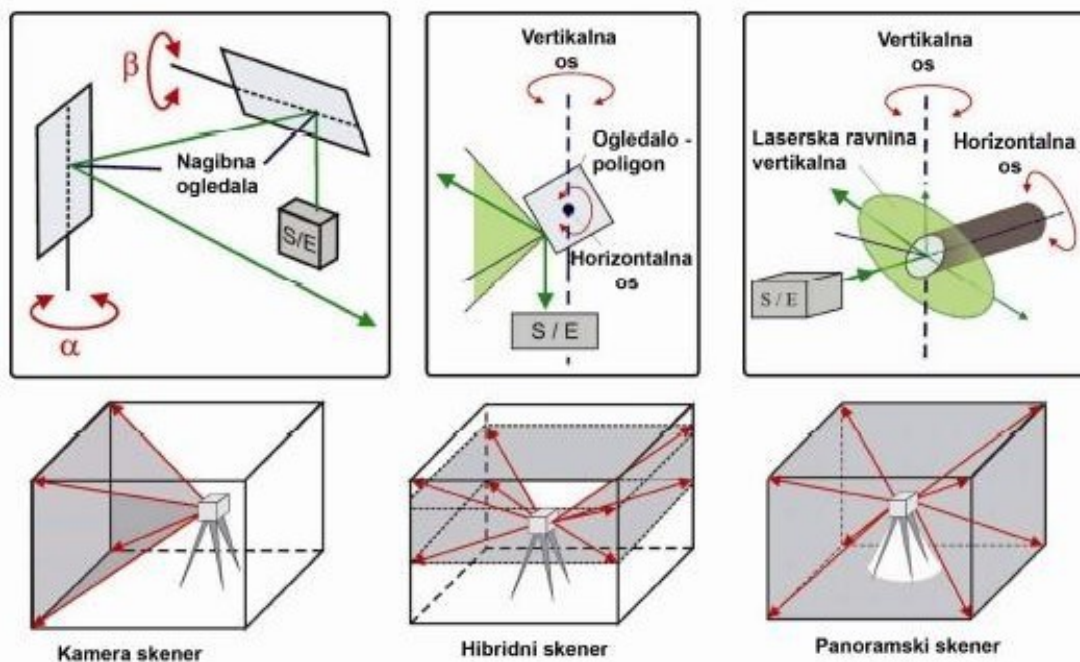
Tablica 1. Usporedba TLS i klasične geodetske metode (Lasić, 2008)

Klasična mjerna stanica	Terestički laserski skener
<ul style="list-style-type: none"> • Mjerenje karakterističnih točaka • Mnogo truda za malo točaka • Uloženi trud po točki je velik • Geometrija snimljenih točaka je deskriptivna • Točke snimanja odabiru se na terenu (iskustvo) • Odabir snimljenih točaka određuje kvalitetu snimaka 	<ul style="list-style-type: none"> • Pojedinačna mjerenja • Ne mjere se karakteristične točke • Nekontroliran odabir točaka • Snimak nema geometrijsko značenje (simbolika) • Uloženi trud po točki je mali • Odabir snimljenih točaka u uredu (postprocessing) • Kvaliteta opisnog karaktera - ovisi o snimljenim elementima
	

Terestričke laserske skenere dijelimo prema načinu snimanja, prema načinu mjerenja udaljenosti i prema načinu prikupljanja oblaka točaka.

Lasić (2008) razlikuje tri vrste terestričkih laserskih skenera prema načinu snimanja (slika 2.8):

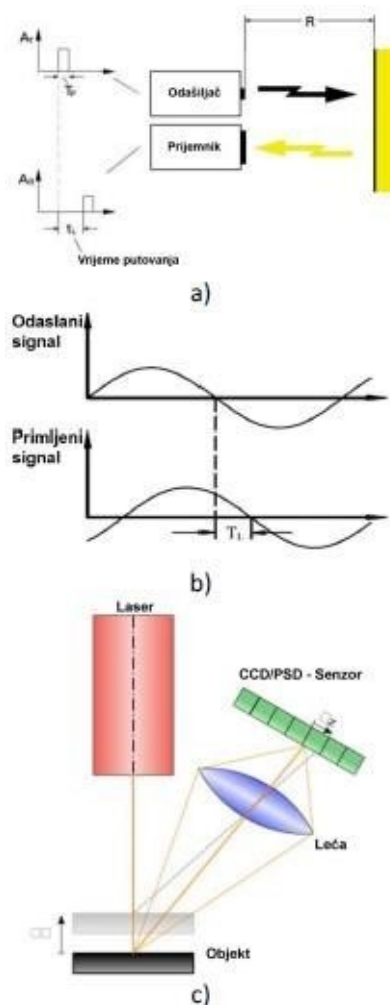
- **Skeneri – kamere** - imaju ograničeni prozor snimanja (engl. FOV – *Field Of View*) koje se izvodi uz pomoć dva sinkronizirana ogledala (horizontalno i vertikalno) koja usmjeravaju lasersku zraku. Skeniraju sve što se nalazi u trenutnom prozoru snimanja, te ga se uspoređuje s fotografskim kamerama. Skeneri imaju jako veliki domet čak i više od 1000 m što im omogućava snimanje vrlo uskog područja.
- **Panoramski skeneri** - snimaju sve oko sebe osim područja ispod postolja na kojem se nalaze u trenutku snimanja jer je vidno polje (FOV) ograničeno bazom instrumenta. Princip rada je da se rotacijom jednog ogledala koje usmjerava lasersku zraku u vertikalni kut od 310° te se postolje instrumenta rotira za 360° oko vertikalne osi (snimak $310^\circ \times 360^\circ$). Skeneri pružaju mogućnost prikupljanja podataka sa velikog područja snimanja u vrlo kratkom vremenu. Zbog kratkog dometa većinski se koriste za snimanje interijera objekata.
- **Hibridni skeneri** - vidno polje (FOV) je po horizontalnoj osi 360° , a po vertikalnoj je ograničen na 60° . Princip rada je da u trenutnom smjeru gledanja rotacijska prizma ili ogledalo rotiraju se oko horizontalne osi i skeniraju sve u vertikalnom kutu od 60° , dok se cijeli instrument ili samo dio rotira za 360° oko vertikalne osi. Zbog svoje svestranosti ovo je najčešća vrsta instrumenta u praksi



Slika 2.10 Podjela terestričkih laserskih skenera prema načinu snimanja (Lasić, 2008)

Terestričke laserske skenere dijelimo i s obzirom na način mjerenja udaljenosti. Odabir metode ovisi o zahtijevanom dometu i točnosti skeniranja, također koriste se samostalno, ali je moguće i kombinirati za raznovrsni sustav skeniranja. Razlikuju se tri vrste terestričkih laserskih skenera (slika 2.9) (Lasić, 2008):

- **Pulsni** (engl. TOF – *Time Of Flight*) koji radi na principu mjerenja vremena između odaslano i primljenog signala. Skener pruža mogućnost mjerenje velike udaljenosti preko 1000 m, ali uz smanjenu točnost. Upravo se pulsno mjerenje udaljenosti najviše koristi, dobivena udaljenost kombinira se s izmjerenim horizontalnim i vertikalnim kutovima za dobivanje trodimenzionalnih koordinata.
- **Fazni** (engl. *phase*) koji rade na principu mjerenja razlike u fazi između odaslano i primljenog signala. Domet faznog skenera je ograničen na stotinjak metara, dok je točnost u granicama od nekoliko milimetara.
- **Triangulacijski** (engl. *triangulation*) koji radi na principu optičke triangulacije. Laserska zraka projicira se na objekt i registrira u senzoru smještenom na poznatoj udaljenosti od samog izvora zrake. Triangulacijski skeneri nemaju veliku primjenu u geodeziji zbog ograničenosti dometa na nekoliko metara. No, postižu točnost reda mikrometra.



Slika 2.11 Shematski prikaz pulsnog (a), faznog (b) i triangulacijskog (c) načina mjerenja udaljenosti kod različitih (Lasić, 2008)

Skeneri se dijele prema načinu prikupljanja podataka, odnosno oblaka točaka. Postoje dva tipa oblaka točaka:

- apsolutni (georeferencirani)
- relativni (lokalni)

U današnje vrijeme postoji potreba za direktnim georeferenciranjem oblaka točaka na terenu. Zato skeneri novije generacije imaju tu mogućnost dok starije generacije nisu prvotno rađene za geodetske potrebe pa nisu ni imali potrebu za direktnim georeferenciranjem. Bitna razlika je da ovi skeneri imaju ugrađene horizontalne i vertikalne kompenzatore kao i klasični geodetski instrumenti. Prednost ovih skenera je mogućnost izvedbe mjerenja na jednak način kao i s klasičnim geodetskim instrumentima. Podaci prikupljeni na taj način mogu se već na samom terenu georeferencirati te nije potrebno naknadnom obradom uklopiti snimljeni oblak točaka. Skeneri koji nemaju direktno georeferenciranje naknadno u obradi mogu dobiti georeferencirani oblak točaka. Skeneri koji imaju ugrađeni kompenzator i koji mjere na klasični način trebaju ispuniti uvjet da vertikalna os bude postavljena vertikalno u prostoru. Zbog prisutnosti

kompensatora onemogućeno je naginjanje i usmjeravanje skenera u različite smjerove te su puno osjetljiviji na podrhtavanja u okolini (Lasić, 2008).

2.2.2 Lasersko skeniranje iz zraka

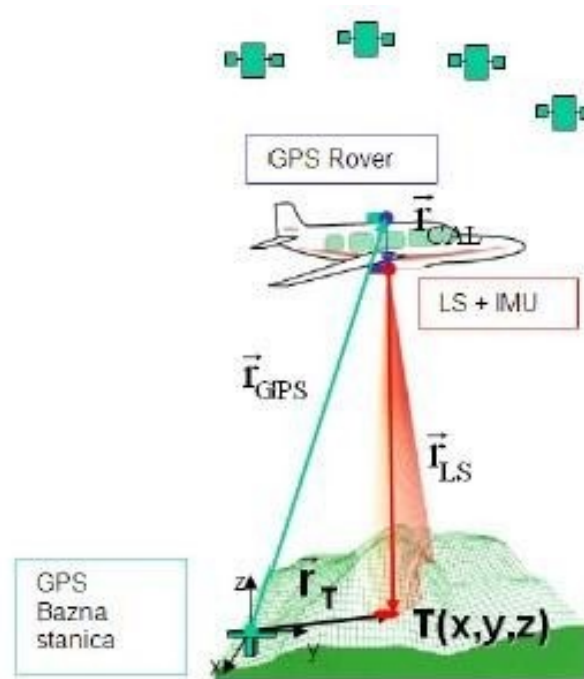
Eksperimentalno korištenje LIDAR sustava, odnosno zračnih laserskih skenera, započelo je 60-ih godina prošlog stoljeća za potrebe određivanja topografije. Počeci razvoja vezani su za američku vojsku, a posljednjih godina privatne tvrtke preuzimaju razvoj tehnologije te danas imamo veliki broj zračnih laserskih sustava: Leica, Toposys, Fugro, Riegl, Optech i drugi.

Zrakoplovom se prelijeće područje izmjere ili koridor, a sa njegove donje strane nalazi se LIDAR sustav. Izmjera jednog niza, odnosno pojasa na terenu odgovarajuće širine, ovisi o visini leta i vidnom kutu skenera tijekom jednog preleta. Neka područja izmjere potrebno je nadlijetati više puta kako bi se dobio potreban broj nizova, a obuhvat cijelog područja izmjere te visinsko i položajno izjednačenje svih nizova ostvaruje se ostavljanjem preklopa između nizova (slika 2.10) (Gajski, 2007).



Slika 2.12 Princip snimanja u nizovima (Gajski,2007)

Polarnom metodom određuju se prostorne koordinate točaka terena te je potrebno poznavati prostornu poziciju pôla skenera i prostorni vektor od pôla do mjerene točke (slika 2.11). Da bi dobili što gušći raspored točaka i što šire područje u jednom preletu mehanizam za skeniranje otklanja lasersku zraku od referentne osi laserskog skenera. Plošno pokrivanje postiže se otklanjanjem laserske zrake samo u poprečnom smjeru jer zrakoplov nosi LIDAR u smjeru leta. Stoga se kod ALS u pravilu primjenjuju jednoosni skeneri.



Slika 2.13 Osnovne komponente ALS-a i princip određivanja koordinata (Gajski, 2007)

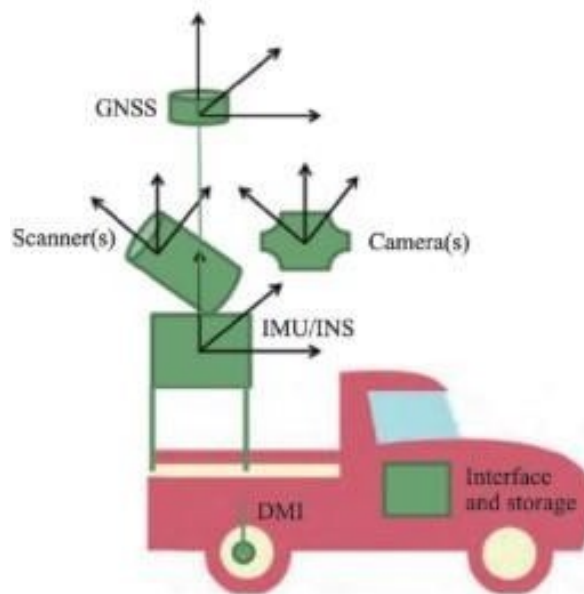
Potrebno je poznavati udaljenost između točaka terena i laserskog skenera, također i kutove pod kojima se laserska zraka odašilje prema terenu prilikom skeniranja. Laserski skener sastoji se od više senzora kojima se vrši izmjera i određuju navedene veličine. Laserski odašiljač šalje impuls prema objektu snimanja, impuls se reflektira i putuje nazad u prijamni senzor. Na temelju vremena koje je potrebno laserskom impulsu da stigne od objekta snimanja i reflektira se nazad određuje se udaljenost skenera od objekta snimanja.

2.2.3 Lasersko skeniranje sa pokretnih platformi

Lasersko skeniranje sa pokretnih platformi predstavlja prikupljanje 3D podataka uz pomoć jednog ili više laserskih skenera koji su postavljeni na pokretnu platformu. Namijenjena je izmjeri većih područja u što kraćem vremenu. Metoda se označava kraticom MTL (engl. *Mobile Terrestrial LIDAR*) ili MLS (engl. *Mobile laser scanning*). Mobilna platforma za MLS može biti cestovno vozilo, terensko vozilo, tračno vozilo, plovilo i dr.

MLS sustavi obično se sastoje od GNSS prijemnika, laserskih skenera, digitalnih kamera, IMU-ova i drugih uređaja (slika 2.12). Globalni satelitski navigacijski sustav (GNSS) i inercijalna mjerna jedinica (IMU) ključne su komponente MLS-a za navigaciju (Wang i dr., 2020). IMU uz pomoć magnetometra, akcelerometra i žiroskopa kontinuirano računa poziciju, orijentaciju, brzinu i smjer kretanja vozila bez uzimanja u obzir vanjskih referenci. Unutar terestričkih MLS sustava IMU se koristi kako bi se odredila promjena XYZ pozicije i orijentacije senzora između GNSS mjerenja i tijekom perioda kada je GNSS nedostupan. U okruženju kada GNSS nije dostupan LiDAR igra značajnu ulogu.

Mogu se koristiti i odometri odnosno uređaji za mjerenje udaljenosti (engl. *Distance Measuring Indicator* - DMI). U mobilnim laserskim sustavima uglavnom se koriste pulsni laserski skeneri (TOF).



Slika 2.14 Komponente MLS sustava (URL 5)

Razlikujemo dvije izvedbe mobilnih laserskih sustava ovisno o tome vrši li skener rotaciju ili ne. Prva izvedba koristi statičke terestričke laserske skenere koji rade u linijskom modu, odnosno skener ne vrši rotaciju već samo unutarnje ogledalo otklanja lasersku zraku u jednoj ravnini. Kada je potrebno zahvatiti polje vidljivosti od 360° uglavnom se koristi više skenera u sustavu. Drugi sustav koristi laserske skenere s rotirajućom laserskom glavom na kojoj se nalazi laserski odašiljač i tako prikupljaju podatke u polju vidljivosti od 360° . U oba slučaja, prikupljanje podataka se obavlja tijekom kretanja vozila na kojem se nalaze.

Osnovna prednost korištenja MLS-a pri izmjeri su višestruko smanjeni troškovi u odnosu na tradicionalne metode izmjere uz zadržavanje visoke točnosti. Omogućuje puno bržu izmjeru, manji broj potrebnih mjeritelja te se laserskim skeniranjem ne prikupljaju samo primarni podaci potrebni za neki projekt, već svi podaci koji su u dosegu laserskog skenera.

Mobilno lasersko skeniranje vrlo je slično zračnom laserskom skeniranju (ALS), oba sustava koriste iste komponente (LIDAR, INS i GNSS i) te kao rezultat snimanja dobiva se oblak točaka sa informacijama o intenzitetu povratnog signala. Također, oba sustava mogu istovremeno prikupljati podatke skenerom i digitalnim kamerama, te pružaju vrlo visoku vertikalnu točnost. Iako MLS pruža nešto veću horizontalnu točnost (Đapo i dr., 2022). Lasersko skeniranje sa pokretnih platformi prikuplja veću količinu izlaznih podataka u odnosu na terestričko lasersko skeniranje (TLS) i veću preciznost u određivanju raspona i gustoće točaka za razliku od laserskog snimanjem iz zraku (ALS). Kao rezultat toga, MLS je vrlo prikladan za popunjavanje nedostataka između ove dvije tehnike prikupljanja 3D

podataka (Kukko, 2013). Najzahtjevniji proces kod mobilnog laserskog skeniranja je proces obrade podataka. Zbog velike količine podataka koji se prikupe u kratkom vremenu, od kojih nisu svi podaci potrebni za izmjeru. Potrebno je provesti složene i računalno zahtjevne faze kako bi se dobio potrební rezultat.

2.3 Izvor pogrešaka TLS-a

Na pogreške kod terestričkih laserskih skenera utječe veliki niz međusobno povezanih faktora što opis pogrešaka čini zahtjevnim zadatkom. Također, problem je što ne postoji univerzalan terestrički laserski skener kod kojeg bi se mogle opisati pogreške. Terestrički laserski skeneri razlikuju se od proizvođača do proizvođača po načinu konstrukcije. Dizajn skenera je složen, sa mnogo mehaničkih i elektroničkih dijelova koji utječu na ukupnu točnost.

Pogreške kod terestričkih laserskih skenera dijele se u tri osnovne kategorije:

- Instrumentalne pogreške
- Pogreške vezane uz objekt snimanja
- Pogreške zbog atmosferskih uvjeta

Automatizacija terestričkih laserskih skenera smanjuje utjecaj ljudske pogreške, te zato nije navedena u klasifikaciji pogrešaka. No, ljudske pogreške mogu biti velike prilikom obrađivanja podataka (Đapo i dr., 2022).

Instrumentalne pogreške vezane su uz dizajn terestričkog laserskog skenera i za njegove tehničke specifikacije. Dijele se u dvije grupe pogrešaka osnovne i specifične pogreške. Osnovne pogreške nastale su zbog fizičkih nedostataka mjerenja duljina laserom i fizičkih pogrešaka rotirajućeg zrcala, te se ne mogu ukloniti ili smanjiti nikakvih redukcijama ili korekcijama. Specifične pogreške vezane su za specifične dijelove terestričkih laserskih skenera kao što su: lasersko mjerenje duljina, rotirajuća zrcala i pogreške osi instrumenta. Pogreške ove vrste mogu se ukloniti ili reducirati kalibracijom instrumenta. Instrumentalne pogreške imaju i slučajan i sistematski utjecaj na točnost mjerenja.

Refleksija objekta snimanja je prvi i glavni izvor pogrešaka vezanih uz objekt snimanja. Skeniranje je bezdodirna tehnika i radi na principu refleksije signala, rezultati mjerenja duljina jako ovise o refleksiji objekta snimanja, koji jako utječe na odnos signal/šum. Odnos reflektirane i poslone zrake može se definirati kao refleksija objekta, a na nju utječu:

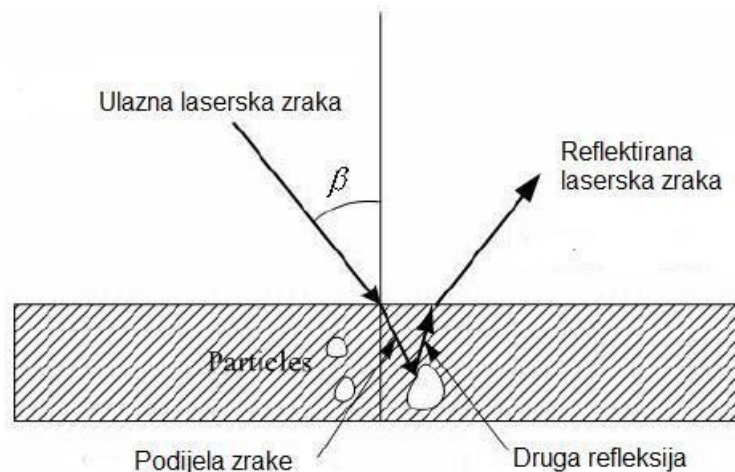
- Električna i magnetska svojstva te svojstvo provodljivosti materijala, odnosno svojstva materijala od kojeg je napravljen objekt snimanja
- Hrapavost površine objekta
- Boja objekta
- Temperatura objekta
- Vlažnost površine objekta
- Valna duljina lasera
- Ulazni kut laserske zrake na objekt (povećanje ulaznog kuta laserske zrake uzrokuje smanjenje standardne devijacije mjerene udaljenosti)
- Polarizacija

Lambertain-ovom formulom (2) može se opisati odnos između reflektirane laserske zrake i svojstva refleksije materijala objekta skeniranja:

$$I \approx \rho \cdot \cos\beta / R^2 \quad (2)$$

pri čemu je I intenzitet povratne laserske zrake, ρ je koeficijent refleksije materijala objekta, β je ulazni kut laserske zrake, a R je udaljenost do objekta.

Maksimalni domet skenera razlikovati će se ovisno o intenzitetu refleksije površine. To je posljedica pogreške vremenskog hoda i limitiranog dinamičkog dometa skenera. Površine sa velikom refleksijom omogućuju pouzdanija i preciznija mjerenja, u odnosu na površine sa slabijom refleksijom, jer se veći dio laserske energije reflektira u senzor. Utjecaj preciznosti mjerenja udaljenosti sa promjenom udaljenosti od objekta više se očituje kod površina sa slabom refleksijom, gdje preciznost znatno opada promjenom udaljenosti. Ukoliko je refleksija objekta prevelika, kao kod metalnih površina, ili premala, udaljenost će se izmjeriti sa nedovoljnom točnošću ili se neće uopće izmjeriti. Slika 2.13 prikazuje kako se odaslana laserska zraka kod nekih materijala podijeli, jedan dio zrake se reflektira, dok se drugi dio penetrira u materijal i onda se reflektira.



Slika 2.15 Refrakcija i refleksija laserske zrake (Đapo i dr.,2022)

Atmosferske pogreške važan su faktor kod mjerenja terestičkih laserskih skenera i očituju se u pogreškama mjerenja duljina, a uzrokuju ih uvjeti okoliša snimanja, kao što su temperatura, vlažnost, tlak, osvjetljenost, različite vibracija.

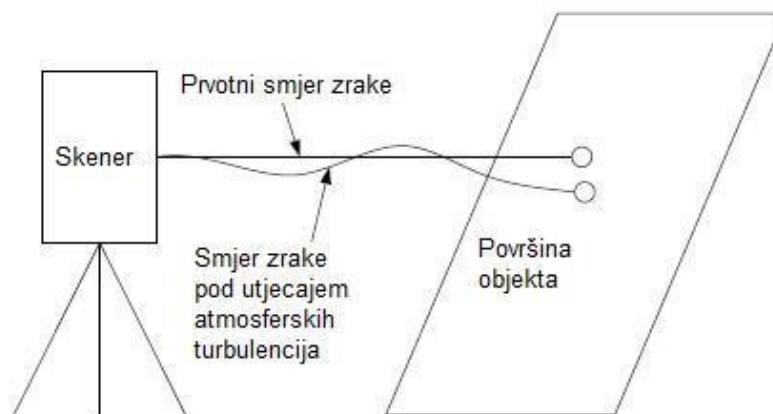
Širenjem laserske zrake u atmosferi dolazi do efekta:

- Izobličenja oblika povratnog signala
- Prigušenje intenziteta laserske zrake, odnosno smanjivanja snage lasera

Prigušenje se sastoji od rasipanja laserske zrake i od apsorpcije laserske zrake. Molekule zraka i aerosoli, koloidno raspršene čvrste ili tekuće čestice u plinu, kao magla ili dim, uzrokuju rasipanje zrake.

Točnost mjerenja udaljenosti ovisi o točnosti određivanja brzine širenja laserske zrake koja ovisi o refrakcijskom koeficijentu zraka. Refrakcijski koeficijent zraka funkcija je temperature (t), tlaka (p), vlažnosti (h) ili parcijalnog tlaka vodene pare (p_w) i udjelu CO₂ u zraku. Na širenje

laserske zrake osim refrakcije zraka utječu i atmosferske turbulencije (slika 2.14). Širenjem kroz zrak laserska zraka dolazi do područja različite temperature gdje dolazi do njenog loma. Laserska zraka se lomi u različitim smjerovima, dok dijametar laserske zrake ostaje nepromijenjen (Đapo i dr., 2022).



Slika 2.16 Promjena smjera zrake uslijed utjecaja atmosferskih turbulencija (Đapo i dr., 2022)

3. TEORIJSKE OSNOVE FOTOGRAMETRIJE

Fotogrametrija i daljinska istraživanja su umijeće, znanost i tehnologija dobivanja pouzdanih informacija o Zemlji i njenom okruženju te ostalim fizičkim objektima i fizikalnim procesima, pomoću snimki i ostalih senzorskih sustava, bez neposrednog kontakta s objektom, postupcima prikupljanja, mjerenja, analiza i predočavanja.

Aime Laussedat smatra se ocem fotogrametrije dizajnirao je opremu za prvu terestičku fotogrametriju i koristio je za izmjeru u arhitekturi, također je koristio za potrebe Francuske vlade (Gajski, 2017). 1851. godine rekonstruirao je snimljeni objekt iz dvije fotografije koristeći metodu švicarskog matematičara J. H. Lamberta. Metoda je rezultat dugogodišnjih istraživanja konstrukcija baziranih na topografskom stolu i »camera obscuri«, a dobila je ime »Mtrophotographi« (Govorčin i dr., 2012). Prva fotografiju iz zraka snimio je Gaspard Felix Tournachon 1958. godine koristeći balon za letenje.

Povijest fotogrametrije može se podijeliti na četiri razdoblja ovisno o razvoju samog instrumentarija (Saif, 2022) :

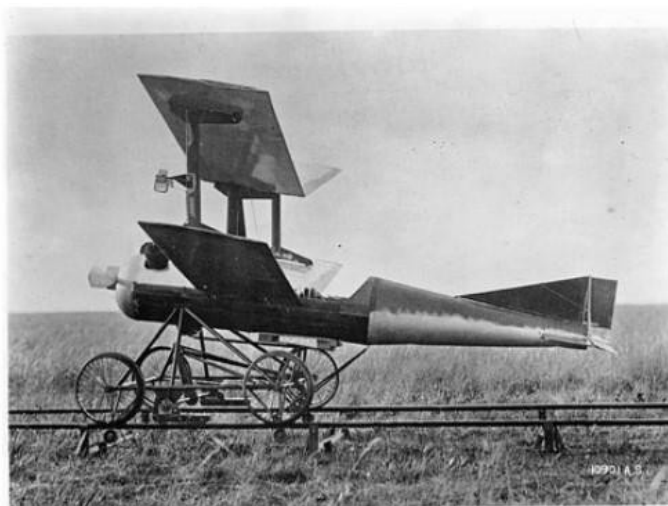
- fotogrametrija u ravnini (1860. – 1900.) - predstavlja proširenje tradicionalnog mjerenja u ravnini
- analogna fotogrametrija (1900. – 1960.) – koriste se mehaničke i/ili optičke metode za izvlačenje informacija iz analognih fotografija na temelju rekonstrukcije položaja kamere. Razvoj aviona 1903. godine od strane braće Wright potaknuo je razvoj ove faze, koristi se kao platforma za kameru koja je omogućila snimanje iz zraka i koristila se u svrhe kartiranja.

- analitička fotogrametrija (1960. – 1996.) - koristi se isti proces kao kod analogne fotogrametrija, samo se proces rekonstrukcije se ne izvodi mehanički, već matematički pomoću računala.
- digitalna fotogrametrija (1996. do danas) – primjenjuju se isti matematički principi kao i kod analitičke fotogrametrije, samo se obrađuje digitalna fotografija umjesto filmskih. Digitalna fotogrametrija konstantno napreduje te zajedno sa moćnim fotogrametrijskim softverima omogućuje rekonstruiranje 3D modela jednostavno i precizno uz visoku kvalitetu.

3.1 Povijest razvoja bespilotnih letjelica

Zbog svoje višestruke primjene, bilo u vojne, civilne ili rekreativne svrhe definicija pojma bespilotnih letjelica (engl. Unmanned Aerial Vehicle – UAV) razlikuje se u ovisno o dostupnoj literaturi. Najosnovnije objašnjene bespilotnih letjelica bilo bi da su to letjelice sposobne izvršiti kontinuirani let bez pilota imaju mogućnost da se njima upravlja.

Nikola Tesla je 1915. godine u svojoj disertaciji opisao naoružani bespilotni zrakoplov dizajniran za obranu Sjedinjenih Američkih Država, odnosno sam koncept bespilotnog leta. Dvije godine nakon, američka vojska započinje sa proizvodnjom prvih bespilotnih letjelica koje se kontroliraju radiosignalom (slika 3.1). Time je započelo kontinuirano usavršavanje bespilotnih letjelica i njihova sve šira primjena. Osim u vojne svrhe, gdje imaju najčešću upotrebu, koriste se u znanstvenim, komercijalnim i zadacima javne sigurnosti, s ciljem akvizicije podataka i snimaka ugroženih područja, izrade karata, komunikacijskog prijenosa, istraživanja, spašavanja, pregleda prometa i dr. (Govorčin i dr., 2012).



Slika 3.1 Prva bespilotna letjelica Torpedo (URL 6)

Ovisno o njihovoj radnoj visini leta dijele se na dvije osnovne grupe (Kolarek, 2010):

1. Letjelice kojima je minimalna visina leta 3 000 m, imaju mogućnost u duljem vremenu prikupljati podatke, a da koriste minimalnu potrebnu energiju za održavanje leta

2. Letjelice kojima je maksimalna visina leta do 300 m, mikro i mini kategorija bespilotnih letjelica

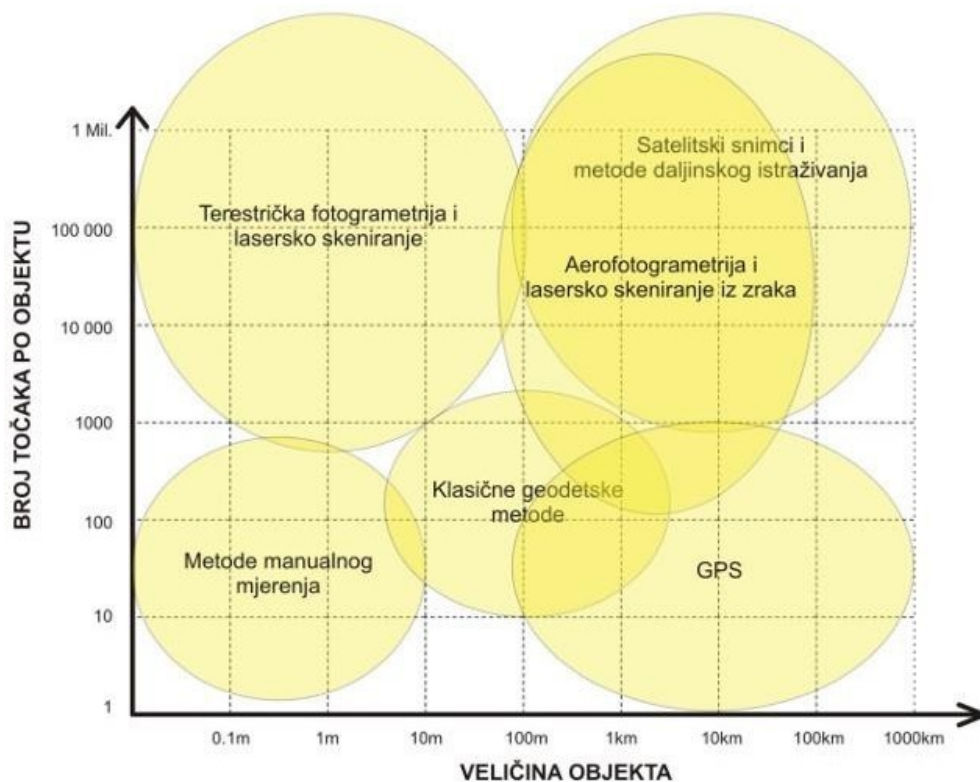
Bespilotnim letjelicama može se upravljati daljinski, također može biti poluautonomna, autonomna ili kombinacija spomenutog, gdje je sposobna izvršavati velik broj zadataka. Vrste bespilotnih letjelica razlikuju se u ovisnosti o potrebama korisnika. Europska zajednica za bespilotne letjelice (engl. European Association of Unmanned Vehicles Systems – EUROUVS) klasificirala je bespilotne letjelice na osnovu sljedećih parametara: visina leta, trajanje leta, brzina, maksimalna nosivost (engl. maximum takeoff weight – MTOW), veličina letjelice, domet signala i dr.

Postoje četiri glavne kategorije po kojima su raspodijeljene bespilotne letjelice (»UVS-International– UAV System producers & Models: All UAV Systems Referenced« 2006):

- mikro/mini (MAV/Mini)
- taktičke (TUAV)
- strateške
- bespilotne letjelice s posebnom zadaćom.

Dizajn mikro i mini bespilotne letjelice fokusiran je na njihovo upravljanje u urbanim područjima (čak među zgradama), letove duž tunela, prijenos uređaja za snimanje i prisluškivanje te prijenos odašiljača i kamera. Bespilotne letjelice imaju svoju primjenu i kod prikupljanja velikog broja informacija o terenu i objektima na relativno malom području prikazanog u trenutnom stanju u naravi. Upravo za takva područja, kao i za strma i nepristupačna područja, mnogo je ekonomičnija od klasičnih metoda snimanja, a pri tome zadovoljava traženu točnost (Govorčin i dr., 2012).

Kolarek (2010) prikazuje graf izbora geodetske metode izmjere (slika 3.2) gdje se vidi da se upotreba bespilotnih letjelica za prikupljanje podataka fotogrametrijskim metodama smjestila između terestričke metode, aerofotogrametrije i laserskog snimanja. Odnosno, koristi se kada je potrebno na relativno malom području prikupiti veliki broj informacija.



Slika 3.2 Izbor geodetske metode izmjere (Kolarek, 2010)

3.2 Fotogrametrijske metode

Fotogrametrija povezuje umjetnost, znanost i tehnologiju za dobivanje pouzdanih informacija o fizičkim objektima i okolišu kroz proces snimanja, mjerenja i tumačenja fotografskih slika i uzoraka snimljene elektromagnetske energije i zračenja i drugih pojava. (Wolf i Dewitt, 2000.; McGlone, 2004.). Smatra se da je fotogrametrija stara koliko i sama fotografija, obje su se razvile u 19. stoljeću.

Razvoj fotogrametrije započeo je prije 150 godina, na početku bila je u obliku čiste analogne, odnosno optičko-mehaničke tehnike zatim analitičke metode koja se temelji na rješenju matematičkih algoritama uz pomoć računala. Danas je riječ o digitalnoj fotogrametriji ili fotogrametriji koja se temelji na digitalnim slikama i računalnom vidu. Fotogrametrija se primarno bavi preciznim mjerenjima trodimenzionalnih objekata i obilježja terena iz dvodimenzionalnih fotografija. Primjenjuju se za mjerenje koordinata, izrada topografskih karata, izradu digitalnih modela visina, kvantifikaciju visina, udaljenosti, površina i volumena i dr. (Aber i dr., 2010).

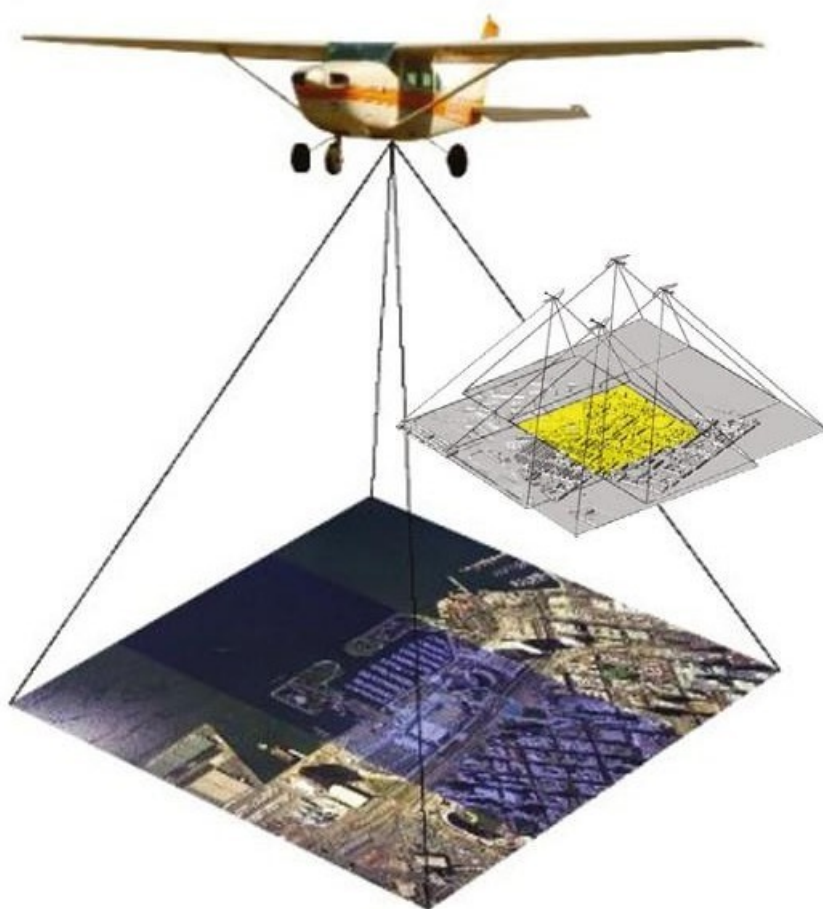
Fotogrametrija se može klasificirati u tri glavne kategorije, s obzirom na daljenost između položaja snimljenog uređaja i predmeta interesa u trenutku snimanja fotografije:

1. Aerofotogrametriju - kamera u zraku
2. Terestičku fotogrametriju - kamera u ruci ili na tronošću
3. Satelitsku fotogrametriju

3.2.1 Aerofotogrametrija

Aerofotogrametrija predstavlja znanstvenu disciplinu koja koristeći fotografije snimljene iz zraka kreira trodimenzionalne modele objekata na Zemljinoj površini. Precizno mapiranje i analiza terena u kratkom vremenskom roku jedna su od glavnih prednosti, kao i pružanje visoko preciznih i pouzdanih podataka o Zemljinoj površini. Primjenjuje se u očuvanju okoliša, planiranju prostora, u industriji i dr.

Aerofotogrametrijska snimka rezultat je snimanja iz zraka pri čemu se koriste kamere posebno konstruirane za tu namjenu (slika 3.3). Iznad otvora na podu zrakoplova na posebno stabiliziranim žiroskopskim postoljima pričvršćuje se kamera, koja prikuplja veliki broj visoko rezolucijskih fotografija. Sam rad kamera kontrolira se navigacijskim GPS-om i inercijalnim sustavima. Kamere trebaju zadovoljiti geometrijsku točnost koja je od izuzetne važnosti, te je potrebno provoditi redovitu kalibraciju svake godine.



Slika 3.3 Princip aerofotogrametrijskog snimanja (Govorčin i dr., 2012)

Aerofotogrametrijske snimke prikupljaju se s raznih visina leta ovisno o namjerna, odnosno u raznim rezolucijama tzv. Ground Sampling Distance (GSD) – veličina piksela na Zemlji). Najčešće se koriste rezolucije od 7,20 i 35 cm GSD. Također, bilježi se vidljiv dio spektra te RGB boje (crvena, zelena, plava) i blisko-infracrveni spektar (Near InfraRed – NIR).

Primjera aerofotogrametrijskih snimaka je široka. Može biti osnova za katastarsku izmjeru za geodetske namjene, prikupljanje podataka te digitalni model reljefa, fotogrametrijsku izmjeru za uspostavu i održavanje topografskih baza podataka, proizvodnju digitalnog ortofota različitih mjerila, obnavljanje topografskih baza, izradu Hrvatske osnovne karte HOK5, Topografske karte u mjerilu 1: 25000 i vojnih topografskih karata.«.

Govorčin i dr. navode kako je pri usporedbi bespilotnih letjelica i klasične aerofotogrametrije bitno napomenuti da osim samog područja snimanja i vremenske dimenzije podataka, koja kod bespilotnih letjelica pruža realniji prikaz stvarnog stanja terena. Utjecaj negativnih atmosferskih prilika poput oblaka ili slabe magle eliminira se manjom visinom leta, te omogućuje brzu reakciju i trenutno prikupljanje.

Bespilotne letjelice moraju zadovoljiti osnovne uvjete da bi se mogle koristiti za fotogrametrijsko snimanje, a to su (Govorčin i dr., 2012).:

- mogućnost izvođenja projektiranog plana leta s visokom točnošću
- mogućnost nosivosti opreme za snimanje i navigaciju
- autonomija leta letjelice MINI <10 kg 1-2 kg 1-10 km 60-120 min 500-1500 m 25-50 m/s
- smanjene vibracija i ostalih vanjskih utjecaja tijekom leta.

3.2.2 Terestička fotogrametrija

Terestička fotogrametrija, odnosno fotogrametrije bliskog dometa (engl. close range photogrammetry - CRP) bavi se objektima udaljenim do cca. 200 m (Aber i dr., 2010). Tijekom snimanja kamera je pozicionirana na tlu, najčešće stabilizirana na odgovarajućem stalku, ali se može držati i rukom. Rezultat ovakvih snimaka su 2D slike ili 3D modeli.

Fotogrametrija bliskog dometa predstavlja mjerenje 3D objekata korištenjem podataka koji su pohranjeni na 2D fotografijama. Kako bi se dobile 3D informacije, potrebne su minimalno 2 fotografije istih predmeta. CRP je uglavnom se koristi za mjerenje deformacija konstrukcija, arhitektonsko mapiranje, modeliranje zgrada, dokumentiranje artefakata, svrhe obrnutog inženjeringa itd. Arhitektonska i arheološka fotogrametrija primjeri su CRP aplikacija koje imaju u širokoj upotrebi od 1960-ih (Mokhtar i dr. 2021).

Najčešće su predmet snimanja manji prirodni ili umjetni predmetima, upravo o veličini objekta ovisi koji će se koordinatni sustav koristiti. GPS sustavi i globalni koordinatni sustavi praktični su za korištenje kod velikih objekata i gdje je dostupna visoka razina hardverske opreme. Za modeliranje arhitektonskih objekata koristi se lokalni koordinatni sustav koji se bira prema građevine koja se želi modelirati (Stojaković, 2008).

Prilikom očuvanja kulturne baštine upravo terestička fotogrametrija ima važnu ulogu. Omogućuje izmjeru unutar samih objekata npr. unutrašnjost crkve (slika 3.4), odnosno snimke se prikupljaju mjernom kamerom na razini Zemljine površine. Prednost prikupljanja podataka

terestičkom metodom fotogrametrije u odnosu na konvencionalne načine (mjerenje pravac-kutova i duljina) je ta što fotografske snimke pružaju vrlo visoku razinu prikazivanja detalja snimljenog objekta. Također terestrička fotogrametrija nalazi svoju primjenu kod mjerenja, odnosno određivanja dinamičkih pomaka objekata.



Slika 3.4 Terestrička fotogrametrija (URL 7)

3.2.3 Satelitska fotogrametrija

Satelitska fotogrametrija prikuplja informacije uz pomoću uređaja koji se nalaze u satelitima u Zemljinoj orbiti, koji koriste posebne senzore koji snimaju različite valne duljine. Nakon snimanja potrebna je dodatna obrada, kako bi se postigla zadovoljavajuća točnost.

Bespilotne letjelice namijenjene za potrebe satelitske fotogrametrije moraju zadovoljiti osnovne uvjete poput mogućnosti izvođenja leta s visokom točnošću, autonomija samog leta, mogućnost nosivosti opreme za snimanje i navigaciju te smanjenje vibracija i ostalih vanjskih utjecaja tijekom leta. Vremenski čimbenik snimanja također je bitan, jer bespilotna letjelica pruža realniji prikaz stvarnog stanja na terenu s obzirom na satelitske snimke. Nižom visinom leta smanjuje se vjerojatnost prisustva oblaka ili magle na snimkama te omogućuje brzu reakciju i trenutno prikupljanje podataka.

Nedostaci satelitske fotogrametrija u odnosu na aerofotogrametriju su pomaci uzrokovani nestabilnošću mehaničke konstrukcije senzora i tijela satelita, oblaka i drugih atmosferskih ili kozmičkih čimbenika (npr. rotacija Zemlje) s obzirom na visinu orbite satelita, grublja prostorna rezolucija. A prednosti su veća brzina i opseg snimanja, posljedično manja cijena, te nema potrebe za planiranjem rute leta.

Satelitske snimke koje se koriste za potrebe satelitske fotogrametrije vrlo su visoke rezolucije, registriraju podatke u prostornoj rezoluciji manjoj od 1m. Satelitske snimke sustava Landsat upotrebljavaju se jer su besplatne i njihova je srednja rezolucija 15 m.

Poznavanje geometrijskih parametara kamere važno je za primjenu fotogrametrijskih metoda neovisno o veličini objekta ili njegovoj udaljenosti od kamere. Kamere za satelitsko snimanje upotrebljavaju drugačiji način formiranja slika u odnosu na klasične kamere. Linijski senzor (engl. *push-broom*) smatra se posebnim oblikom matričnog senzora, koji ima samo jednu liniju piksela, preslikavanje obavlja po principu centralne projekcije od središnjeg (centralnog) piksela prema rubovima.

Snimanje kod klasičnih zračnih fotogrametrijskih misija planira se i kontrolira tako da se napravi idealan obuhvat područja snimanja blokovima snimki u paralelnim nizovima i pogodnoj geometrijskoj konfiguraciji. Dok je kod satelitskog snimanja akvizicija restriktivnija kod uzorkovanja, vremenskog intervala prikupljanja i atmosferskih utjecaja. Linija leta zadana je orbitom, većina satelitskih sustava opremljena je linijskim senzorima, te se upravljanje kamerom u orbiti ostvaruje stereoskopsko preklapanje. Unutar iste orbite stereoskopsko preklapanje snimki obavlja se u unutar nekoliko sati ili unutar nekoliko dana ako je u različitom orbitalnom prolazu (u paralelnoj orbiti). Kod generiranja digitalnog modela Zemljine površine upravo ta geometrijska i vremenska ograničenja stvaraju poteškoće. Postoji potreba za preciznim upravljanjem satelitskim sustavom kako bi se dobile očekivane konvergentne slike, a isto tako veliki vremenski interval uzrokuje veće diskrepancije u radiometrijskim karakteristikama stereoparova zbog različitog osvjetljenja scena. Najvažniji parametar u prikupljanju stereopodataka je kut presijecanja između dvije snimke stereopara, suvremeni algoritmi kreiranja oblaka točaka utemeljenih na presjeku zraka prema identičnim točkama stereoparova snimki najbolje funkcioniraju s kratkim bazama (manji kut presijecanja) snimanja (npr. raspon od 15 – 25 stupnjeva „dobar“ je za presijecanja Semi-Global Matching metodu).

Uska baza između susjednih snimki upotrebljava se u kreiranju oblaka točaka kod većine današnjih algoritama, dok se upotrebom veće baze postiže veća vertikalna točnost, a primjenjuje u tradicionalnoj geometrijskoj analizi. Zaključeno je da se manjim kutem presijecanja, odnosno manjom bazom između stereoskopa postiže konzistentni i potpuni digitalni model (Krtalić i dr., 2019).

3.3 Izvor pogrešaka u fotogrametriji

Gašparović i Gajski (2016) objašnjavaju kako zbog nesavršenosti izrade optičkog sustava (leća, senzora itd.) digitalne fotografije opterećene su pogreškama. Snimka sa koje je eliminirana većina sustavih pogrešaka uključujući neokomitost osi, radijalnu i tangencijalnu distorziju, različito mjerilo po osima naziva se idealizirana snimka. Prilikom korištenja superširokokutnih kamera dobivene snimke izgledaju nerealno, te nisu upotrebljive u mjerne svrhe. Proces nastajanja snimke opisuje se kao centralna projekcija vanjskog sadržaja prostora u prostor unutarnjeg snopa, odnosno projekcije na sam senzor. Da bi se dobila idealizirana snimka potrebno je takav postupak modelirati inverznim postupkom koristeći egzaktnu matematičku izrazu. Također, snimke dobivene profesionalnim mjernim kamerama podložne su malom utjecaju takvih pogrešaka i bitno ih je ukloniti.

Definiranjem unutarnje orijentacije kamere dolazi se do idealizirane „bespogrešne“ snimke. Definiranjem modela za definiranje distorzijskih parametara započinje se proces kalibracije kamere, odnosno određivanje elemenata unutarnje orijentacije. Postupak podrazumijeva snimanje velikog broja poznatih i dobro definiranih prostornih točaka s više stajališta.

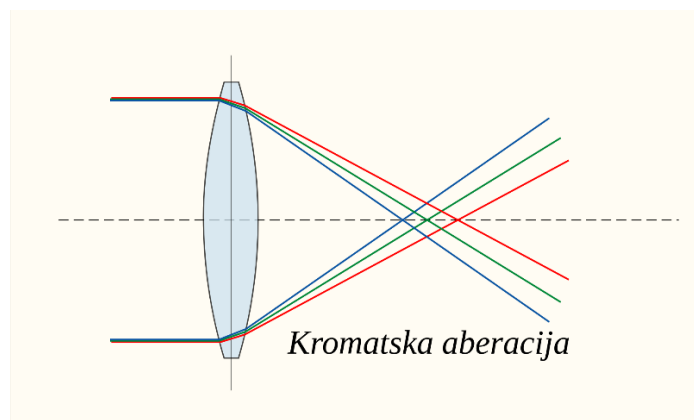
Laboratorijska kalibracija, samokalibracija, kalibracija na zadatku samo su neki od načina provođenja procesa kalibracije kamere.⁷

Odstupanje od idealnog slučaja preslikavanja nazivamo pogreškom leća ili sistema leća.

Pogreške leća dijelimo na (Baučić, 2015) :

- Kromatsku disperziju
- Sfenu aberaciju
- Pogrešku simetrije ili komu
- Astigmatizam
- Ispupčenost slike
- Distorziju

Do kromatske disperzije ili aberacije dolazi kada se bijela svjetlosna zraka nakon prolaska kroz leću rastavlja na svoje komponente koje su različitih valnih duljina (slika 3.5). Ljubičasta i plava zraka kraćih su valnih duljina i lome se najjače, za razliku od crvenih koje se lome najslabije. U vidljivom području svjetlosti indeks loma je obrnuto proporcionalan valnoj duljini, što znači da će se žarišna daljina povećavati sa valnom duljinom. Zbog toga se točka neće oštro preslikati u točku, već u obojene krugove rasipa.



Slika 3.5 Kromatska disperzija (URL 8)

Sfena aberacija nastaje kada rubovi leće lome zrake prejako i tvore fokus bliže leći, od onih koje su bliže optičkoj osi te stoga dolazi do neoštre slike. Točka se ne preslikava u točku, već u koncentrične krugove rasipa. Također, oko je podložno aberacijama, ali su one minimalizirane tijekom evolucije.

Gornji i donji dio leće neće lomiti svjetlosne zrake jednako, pa ne samo da se točka objekta neće preslikati oštro u točku već će i oblik rasipa i raspodjele svjetlosti unutar nje biti nepravilan, razvučen kao komet.

Pogreška simetrije ili koma uzrokuje neoštrinu, a u fotogrametriji izaziva pogrešku pri mjerenju koordinata točaka na snimci, budući da se točka preslika razvučeno i nema definirano težište.

Astigmatizam predstavlja pogrešku neoštrog preslikavanja koje uzrokuje kosi upad svjetlosnih zraka na objektiv. Leća je nejednoliko zakrivljena u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini, kao rezultat toga je različita žarišna daljina u tim ravninama. Postoje dva moguća postava oštine, jednom u horizontalnoj jednom u vertikalnoj ravnini. Od točkastog predmeta dobije se dužina, jer leća fokusira zrake u vertikalnoj ravnini na drugoj udaljenosti nego u horizontalnoj.

Ispupčenost slike nastaje zbog što se oštra slika ravnine okomite na optičku os ne stvara u jednoj ravnini, već se ona stvara na nekoj rotacijskoj plohi. Zato se za postav fokusiranja uzima onaj položaj slikovne ravnine kod kojeg je zbroj kvadrata odstupanja jednak minimumu (Gaussova ravnina).

3.4 Zakonska regulativa za fotogrametrijska mjerenja

Na području Republike Hrvatske donesena je zakonska regulativa za upravljanje bespilotnim letjelicama na temelju:

- Uredbe o snimanju iz zraka donesena od strane Vlade Republike Hrvatske (Narodne novine, 2020)
- Pravilnika o sustavima bespilotnih zrakoplova donesenog od strane Ministarstva mora, prometa i infrastrukture (Narodne novine, 2018.)

Snimanje iz zraka državnog područja Republike Hrvatske uređeno je Uredbom o snimanju iz zraka. Iznimke na koje se ne odnosi uredba su redovni poslovi koje obavljaju Ministarstva obrane i Ministarstva unutarnjih poslova, Ministarstva mora, prometa i infrastrukture

Područje Republike Hrvatske mogu snimati iz zraka samo pravne i fizičke osobe koje su registrirane pri nadležnim tijelima za te djelatnosti, naravno tek kada dobiju odobrenje za snimanje iz zraka. Operator snimanja koji upravlja uređajem za snimanje treba se pridržavati propisa koji se odnose na zaštitu osobnih podataka. Pravna ili fizička osoba koja je odgovorna za upravljanje zrakoplovom dužna je prije snimanja najaviti i usuglasiti operacije snimanje iz zraka s nadležnom kontrolom zračnog prometa, sve u skladu s propisima koji uređuju zračni promet.

Prilikom snimanja određenih lokacija i građevina, zaštićenih dijelova prirode potrebno je dobiti i suglasnost vlasnika, odnosno korisnika lokacije i građevine ili javne ustanove koja je nadležna za to područje. Također, kada se snima u području razgraničenja sa susjednim državama te je neophodno koristiti njihov zračni prostor potrebno je ishoditi diplomatsko odobrenje susjedne države putem Ministarstva vanjskih i europskih poslova.

Državnoj geodetskoj upravi podnosi se zahtjev za izdavanje odobrenja, a mora sadržavati sljedeće (Narodne novine,2020) :

1. podatke o naručitelju snimanja (naziv, adresa sjedišta i OIB)
2. podatke o snimatelju (naziv, adresa sjedišta i OIB)
3. podatke o operatoru snimanja (ime, prezime, adresa sjedišta, zanimanje i OIB)
4. podatke o zrakoplovu (proizvođač, tip/model, registracijska oznaka ako je primjenjivo)
5. podatke o operatoru zrakoplova (naziv, adresa sjedišta, OIB, osoba za kontakt, telefon, fax, e-mail)
6. podatak o planiranom razdoblju snimanja (do tri mjeseca)
7. svrhu snimanja

8. podatak radi li se o ciljanom snimanju (priložiti popis lokacija i građevina)
9. podatke o vrsti snimanja (analogno/digitalno), MS/GSD, kameri/senzoru, žarišnoj daljini objektiva, obliku zapisa (filmu ili formatu digitalnog zapisa zračne snimke)
10. dokaz o registriranoj djelatnosti snimanja iz zraka izdanog od strane nadležnog tijela države u kojoj ima poslovni nastan. Dokaz o registriranoj djelatnosti inozemnog snimatelja prilaže se u ovjerenom prijevodu na hrvatski jezik
11. plan snimanja na odgovarajućoj kartografskoj podlozi u prikladnom mjerilu s označenim područjem snimanja i popisom koordinata lomnih točaka područja snimanja.

Također, Državnoj geodetskoj upravi se podnosi zahtjev i izdavanje odobrenja za uporabu zračnih snimaka i mora sadržavati sljedeće (Narodne novine,2020):

1. podatke o naručitelju snimanja (naziv, adresa sjedišta i OIB)
2. klasifikacijsku oznaku, urudžbeni broj i datum rješenja kojim je odobreno snimanje iz zraka
3. podatak o obavljenom razdoblju snimanja
4. način uporabe zračnih snimaka i
5. cjelokupni snimljeni materijal snimljen sukladno izdanom odobrenju za snimanje iz zraka za kojeg se podnosi zahtjev za izdavanje odobrenja za uporabu zračnih snimaka.

Ukoliko snimanje nije obavljeno u skladu sa odobrenjem za snimanje iz zraka, naručitelj snimanja obavezan je najkasnije u roku od osam dana od isteka navedenog roka u odobrenju obavijestiti Državnu geodetsku upravu.

Povjerenstvo za preglede zračnih snimaka, koje je osnovala Državna geodetska uprava i Ministarstvo obrane, pregledava zračne snimke koje sadrže vojne lokacije i građevine od značaja za obranu i ostale vojne lokacije i građevine na područja Republike Hrvatske. Nakon odobrenja Povjerenstva, donosi se rješenje koje odobrava korištenje zračnih snimaka u skladu s podnesenim zahtjevom. Naručitelj snimanja obavezan je zaštititi klasificirane zračne snimke u skladu sa propisima, ukoliko nije u mogućnosti dužan je uništiti klasificirane zračne snimke i obavijestiti Državnu geodetsku upravu.

Pravilnikom su propisani uvjeti za sigurnu upotrebu bespilotnih zrakoplova operativne mase do 150 kilograma i uvjeti koje moraju zadovoljavati osobe koje sudjeluju u izvođenju letova. Odredbe Pravilnika ne odnose se na bespilotne zrakoplove koji obavljaju vojne, carinske ili policijske aktivnosti, gašenje požara, nadzor granice i obalne straže, traganje i spašavanje ili slične aktivnosti koje se provode u javnom interesu, također kada se koriste u zatvorenom prostoru.

Bespilotni zrakoplov koji se koristi za letačke operacije mora biti označen identifikacijskom negorivom pločicom ili identifikacijskom naljepnicom, za bespilotne zrakoplove operativne mase do 5 kg. Na identifikacijskoj negorivoj pločici ili naljepnici moraju biti podaci o imenu, adresi i informacije za kontakt operatora ili vlasnika, jedinstvenu identifikacijsku oznaku bespilotnog zrakoplova i kako je primjenjivo, za izvođenje letačkih operacija kategorije C2 koju dodjeljuje Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo.

Letenje bespilotnim zrakoplovom moguće je (Narodne novine, 2018):

- danju
- u nekontroliranom zračnom prostoru na visini do 120 m iznad razine tla ili do 50 m iznad prepreke, ovisno što je više
- u kontroliranom zračnom prostoru izvan prostora polumjera 5 km od referentne točke aerodroma na visini do 50 m iznad razine tla
- na udaljenosti od najmanje 3 km od rubova i pragova uzletno-sletne staze (USS) nekontroliranog aerodroma (slika 1-1), osim kada su posebno predviđene procedure za letenje bespilotnih zrakoplova definirane naputkom za korištenje aerodroma,
- na način da horizontalna udaljenost bespilotnog zrakoplova od skupine ljudi nije manja od 50 m, osim kada se bespilotnim zrakoplovom sudjeluje na zrakoplovnoj priredbi,
- na način da horizontalna udaljenost od ljudi koji nisu uključeni u operacije nije manja od visine leta i nije manja od:
 - 5 m kada je na bespilotnom zrakoplovu uključen način rada na maloj brzini i kada je najveća dopuštena brzina podešena na 3 m/s, ili
 - 30 m u ostalim slučajevima,
- unutar vidnog polja pilota na daljinu
- uz uspostavu *ad hoc* strukture u skladu s primjenjivim propisom o upravljanju zračnim prostorom.

Ukoliko se bespilotni zrakoplov koristi za potrebe rekreacije i sporta potrebno je izvoditi let koristeći prikaz pogleda iz bespilotnog zrakoplova (FPV – *first person view*), letjeti samo u nenaseljenom području na visini većoj od 120 m iznad tla. Dok prevoženje opasne robe, tereta, ljudi i životinja, kao i izbacivanje predmeta tijekom leta i let iznad skupine ljudi nije dopušten.

Pilot na daljinu mora upravljati bespilotnim zrakoplovom bez narušavanja javnog reda i mira, bez dovođenja u opasnost po život, zdravlje ili imovinu na tlu i u zraku. Upravljanje mora biti sukladno propisima, letačkom priručniku ili uputama za upotrebu, te se ne smije istovremeno upravljati s više bespilotnih zrakoplova ili unutar područja hitne intervencije. Prije samog leta bespilotne letjelice potrebno je provjeriti ispravnost sustava, oznake na letjelici, osigurati područje uzlijetanja i slijetanja, te sve potrebne informacije za planirani let. Provjeriti meteorološke i ostale uvjete da su prikladni za sigurno izvođenje leta, kao i da je sva oprema ili teret na bespilotnom zrakoplovu sigurno pričvršćen. Upravljanje letjelicom mora biti osigurano da prilikom uzlijetanja ili slijetanja nadvisuje sve prepreke, potrebno je stalno promatrati zračni prostor zbog izbjegavanja opasnosti te dati prednost zrakoplovu s posadom.

Prilikom izvođenja noćnih letova bespilotni zrakoplov obavezan je imati svijetla koja omogućuju utvrđivanje orijentacije u prostoru te moraju biti vidljiva pilotu na daljinu tijekom cijelog leta. Dokumenti koje pilot treba imati tijekom izvođenja leta su (Narodne novine, 2018):

- letački priručnik ili upute za upotrebu sustava bespilotnog zrakoplova
- potvrdu o evidenciji ili izvornik ili ovjerenu presliku odobrenja za izvođenje letačkih operacija, kada je primjenjivo,
- policu obveznog osiguranja zrakoplova izdanu u skladu s primjenjivim propisom, i
- operativni priručnik, kada je primjenjivo

Tablica 2. prikazuje kategorizaciju bespilotnih letjelica s obzirom na operativnu masu (Narodne novine, 2018) :

Tablica 2. Kategorizacija bespilotnih letjelica s obzirom na operativnu masu (Narodne novine, 2018)

Kategorija letaćkih operacija	BESPILOTNI ZRAKOPLOV		IZVOĐENJE LETAČKIH OPERACIJA		ZAHTEVI ZA PILOTA NA DALJINU		ZAHTEVI ZA OPERATORA	
	Operativna masa bespilotnog zrakoplova	Najveća brzina bespilotnog zrakoplova prema tehničkim specifikacijama proizvođača	Dio dana	Područje izvođenja operacija	Minimalna dob	Polaganje teorijskog/praktičnog ispita	Obaveza evidentiranja/odobrenja operatora	Dokumentacija operatora
A	OM < 250 g	< 19 m/s	Danju i/ili noću	Naseljeno i/ili nenaseljeno područje	Nije primjenjivo	Nije primjenjivo	Nije primjenjivo	Nije primjenjivo
B1	250 g ≤ OM ≤ 900 g	< 19 m/s	Danju	Nenaseljeno područje	14 godina starosti, ili manje od 14 godina starosti, pod nadzorom punoljetne osobe	Nije primjenjivo	Nije primjenjivo	Nije primjenjivo
B2	OM < 5 kg	Nije primjenjivo	Danju i/ili noću	Naseljeno i/ili nenaseljeno područje	16 godina	Nije primjenjivo	Evidencija	Nije primjenjivo
C1	5 kg ≤ OM < 25 kg	Nije primjenjivo	Danju	Nenaseljeno područje	18 godina	Položen teorijski ispit iz poznavanja primjenjivih zrakoplovnih propisa koji provodi Agencija	Evidencija	Nije primjenjivo
C2	5 kg ≤ OM ≤ 150kg	Nije primjenjivo	Danju i/ili noću	Naseljeno i/ili nenaseljeno područje	18 godina	a) Položen teorijski ispit iz poznavanja primjenjivih zrakoplovnih propisa koji provodi Agencija b) Demonstracija pripreme leta i letenja	Odobrenje	a) Operativni priručnik b) Zapisi o letu c) Upravljanje rizicima

4. TERENSKO PRIKUPLJANJE PODATAKA

4.1 Predmet izmjere

Crkva Sv. Petra (slika 4.1) izgrađena u baroknom stilu nalazi se u Svetom Petru Mrečničkom na samoj obali rijeke Mrežnice, na mjestu gdje je u rimsko doba bio grad. Lokacija crkve dana je na poveznici (URL 9). Zidovi crkve prikazuju reljefe iz rimskog doba. Pretpostavlja se da je crkva građena od kamenja iz ruševina nekadašnjeg rimskog grada, čiji se ostaci naziru u riječnom koritu. Prvi puta se spominje 1334. godine u Popisu župa Zagrebačke biskupije. Na mjestu starije crkve izgrađena je župna crkva 1711. godine, sačuvan je donji dio zvonika i svetište iz 17.stoljeća. obnovljena je iznutra 2020. godine te su dodatno uređeni svetište i sakristija.



Slika 4.1 Crkva Sv. Petra (URL 10)

4.2 Korišteni instrumentarij

Instrumentarij koji se koristio prilikom geodetske izmjere je:

- 3D terestički laserski skener Faro Focus S 350 plus (slika 4.2) (tablica 2)
- Беспilotna letjelica Phantom 4 Pro v2.0 (slika 4.3) (tablica 3)
- GNSS uređaj Trimble R12i (slika 4.4) (tablica 4)



Slika 4.2 3D terestički laserski skener Faro Focus S 350 plus (URL 11)



Slika 4.3 Bespilotna letjelica Phantom 4 Pro v2.0 (URL 12)



Slika 4.4 GNNS uređaj Trimble R12i (URL 13)

Tablica 3. Tehničke specifikacije za Faro Focus S 350 plus (URL 14)

Domet	90% reflektivnosti (bijelo)	0.6-350 m
	10% reflektivnosti (sivo)	0.6-150 m
	2% reflektivnosti (crno)	0.6-50 m
Šum u ovisnosti o duljini (mm)	@10m 90% (bijelo)	0.1
	@10m 10% (sivo)	0.3
	@10m 2% (crno)	0.9
	@25m 90% (bijelo)	0.2
	@25m 10% (sivo)	0.5
	@25m 2% (crno)	1.6
Maksimalna brzina mjerenja	do 2 milijuna točaka u sekundi	
Kutna preciznost	19	
Preciznost 3D točaka	2 @10 m 3.5 @25 m	
Rezolucija boja	do 165 megapiksela	
Vidno polje skenera	300° vertikalno i 360° horizontalno	
Pohrana podataka	SDHCTM, SDXCTM; 32GB; max. 512GB kartica	
GNSS	GPS i GLONASS	
Baterija	19V (eksterna baterija), 14.4V (interna baterija)	
Potrošnja energije	15W tijekom mirovanja, 25W tijekom skeniranja, 80W tijekom punjenja	
Trajanje baterija	4.5 sata	
Vodootpornost	IP54	
Temperatura	radna: 5° - 40° C	
	zahtijeva dodatnu opremu: -20° - 55° C	
	skladištenje: -10°- 60°C	
Težina	4.2 kg (sa baterijom)	
Dimenzije	230 x 183 x 103mm	

Tablica 4. Tehničke specifikacije za bespilotnu letjelicu Phantom 4 Pro v2.0 (URL 15)

Težina	1375 g
Najveća brzina	S-mode: 45 mph (72 kph)
	A-mode: 36 mph (58 kph)
	P-mode: 31 mph (50 kph)
Najveća brzina dizanja	S-mode: 6 m/s
	P-mode: 5 m/s
Najveća brzina spuštanja	S-mode: 4 m/s
	P-mode: 3 m/s
Vrijeme letenja	oko 30 min
Maksimalna otpornost na vjetar	10 m/s
Maksimalna nadmorska visina leta	6000 m
Raspon radne temperature	0° to 40°C
Memorijska kartica	microSD maks. kapacitet: 128 GB
Kamera	20 MP
Najveća razlučivost slike	5472×3078, 16:9
Format pohrane slike	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Maksimalna brzina prijenosa videa	100 Mbps
Format pohrane videa	MP4/MOV (AVC/H.264; HEVC/H.265)
Navigacijski sustav	GPS/GLONASS
Točnost GNSS-a	±0.5 m vertikalno, ±1.5 m horizontalno
Stabilizacija	3 osi (pitch, roll, yaw)
Baterija	6000 mAh
Mobilna aplikacija	DJI GO 4

Tablica 5. Tehničke specifikacije za GNSS uređaj Trimble R12i (URL 13)

Simultano praćeni satelitski signali	<p>GPS: L1C, L1C/A, L2C, L2E, L5</p> <p>GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3</p> <p>SBAS(WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS): L1C/A, L5</p> <p>Galileo: E1, E5A, E5B, E5AltBOC, E6</p> <p>BeiDou: B1, B1C, B2, B2A, B2B, B3</p> <p>QZSS: L1C/A, L1S, L1C, L2C, L5, L6</p> <p>NavIC (IRNSS) : L5</p> <p>L-band: Trimble RTX™ korekcije</p>
Visoko precizna statika	Horizontalno 3 mm+0.1 ppm RMS
	Vertikalno 3.5 mm+0.4 ppm RMS
Statika i brza statika	Horizontalno 3 mm+0.5 ppm RMS
	Vertikalno 5 mm+0.5 ppm RMS
Kinematikčka izmjera	
Pojedinačna bazna linija < 30 km	Horizontalno – 8 mm + 1 ppm RMS
	Vertikalno – 15 mm + 1 ppm RMS
RTK u mreži	Horizontalno – 8 mm + 0.5 ppm RMS
	Horizontalno – 15 mm + 0.5 ppm RMS
Dimenzije (Š×V)	11.9 cm x 13.6cm
Težina	1.12kg sa internom baterijom, internim radiom sa UHF antenom, 3.95kg sa dodatnim Trimble TSC7 kontrolerom, nosačem za štap i štapom
Temperatura	Radna –40°C do +65°C
	Skladišna –40°C do +75°C
Baterija	7.4 V, 3.7 Ah punjiva
Radno vrijeme sa internom baterijom	450MHz samo prijem - 6.5 sati
	450MHz prijem i predaja (0.5W) - 6.0 sati
	450MHz prijem i predaja (2.0W) - 5.5 sati

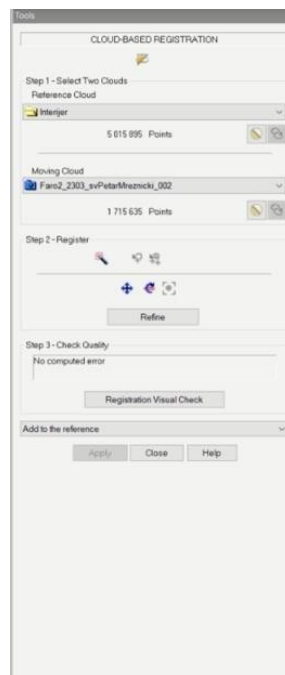
5. OBRADA PODATAKA GEODETSKE IZMJERE

Obrada podataka koji su potrebni za izradu ovog diplomskog rada obavljena je na računalima Geodetskog fakulteta.

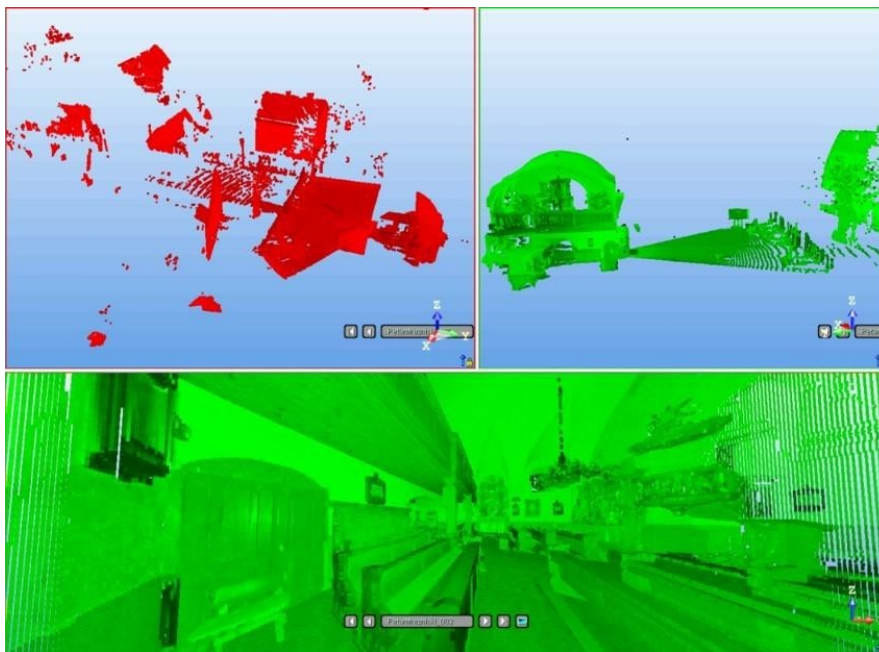
5.1 Terestičkog laserskog skeniranja

Obrada podataka prikupljenih terestičkim laserskim skeniranjem obavljena je u softveru Trimble RealWorks. Podaci dobiveni laserskim skeniranjem su u .fls formatu i kao takvi su učitani u softver. Skenovi su podijeljeni u dvije grupe interijer i eksterijer. Prvi korak kod obrade podataka je registracija skenova kao oblak točaka, obavlja se unutar „Registration“ radnog prostora. Registracijom se pojedini oblaci točaka iz zasebnih lokalnih koordinatnih sustava dovode u zajednički koordinatni sustav. U korištenom softveru registracija se može postići automatskom usporedbom podudarnih točaka i drugih oblika koji su istaknuti na dva susjedna stajališta, a drugi način je ručno. Prvo su registrirani skenovi eksterijera zasebno, a zatim skenovi interijera.

Registriranje skenova obavljeno je metodom oblak na oblak, označavaju se dobro definirani detalji na terenu snimljeni laserom. Unutar „Cloud-based registration“ (slika 5.1) modula bira se proizvoljno stajalište kao referentno, te se druga stajališta registriraju u odnosu na njega. Skenove je potrebno segmentirati na svakom stajalištu. Segmentiranjem se brišu šumovi i nepotrebni dijelovi oblaka točaka, da bi se dobila što pouzdanija i točnije registracija snimaka (slika 5.2). Također, kvaliteta registracije skenova ovisi o preklopu koji mora biti veći od 30% za dva susjedna stajališta.

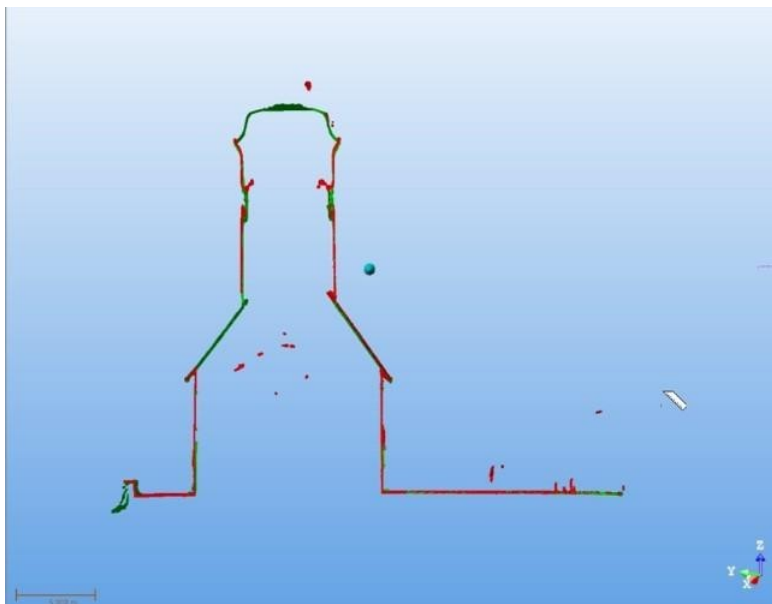


Slika 5.1 Sučelje Cloud-base registration

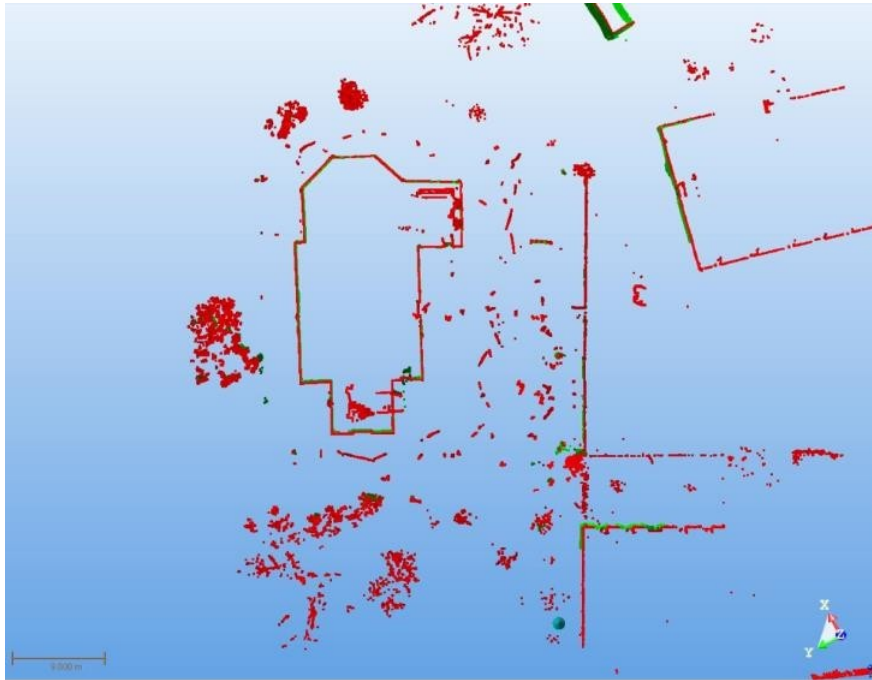


Slika 5.2 Izgled oblaka točaka nakon registracije i segmentacije

U „Registration visual check“ modulu provodi se vizualna provjera tako da se objekt promatra kroz njegov presjek, odnosno tlocrt, nacrt i bokocrt. Ovaj korak potrebno je napraviti prije potvrđivanja registracije skenova. Objekt se provjerava kroz sve tri osi, da bi se provjerile moguće pogreške softvera. Vizualna provjera obavljena je s korakom presjeka na 20 cm i presjekom širine 10 cm, te je utvrđeno da je registracija uspješno provedena (slika 5.3 i 5.4).



Slika 5.3 „Registration visual check“ vertikalnog presjeka



Slika 5.4 „Registration visual check“ horizontalnog presjeka

Potrebno je napraviti orijentaciju koordinatnog sustava projekta. Orijehtacija je napravljena tako da se osi novog lokalnog koordinatnog sustava postavljaju paralelno sa zidovima crkve. Orijehtacija omogućuje bržu i lakšu vizualnu provjeru tijekom registracije skenova. Kada je obavljena vizualna provjera potvrđuje se registriranje skena unutar „Cloud-based registration“, ovakav postupak se radi za svaki sljedeći sken. Kao što je već spomenuto prvo se radi registracija eksterijera, zatim interijera na sasvim identičan način. Nakon što su se registrirali svi skenovi eksterijera i interijera, potrebno je spojiti interijer sa eksterijerom. Prilikom spajanja skenova interijera i eksterijera poželjno da postoji barem jedno stajalište koja se nalazi ispod štoka od vrata. Ukoliko ne postoji takvo stajalište, gotovo je nemoguće obaviti registraciju interijer sa eksterijerom.

Sljedeći korak je georeferenciranje, projekt se nalazi u lokalnom koordinatnom sustavu te ga je potrebno prebaciti u službeni državni projekcijski koordinatni sustav HTRS96/TM. Na terenu su izmjerene točke uz pomoć GNSS prijemnika. Izmjereno je osam točaka u dva neovisna ponavljanja u vremenskom razdoblju od najmanje dva sata, jedno ponavljanje sastoji se od tri uzastopna mjerenja, a svako mjerenje traje 30 sekundi. U tablici 1. prikazane su izjednačene koordinate dane položajno u HTRS96/TM, a visinski u HVRS71.

Tablica 6. Izjednačene koordinate točaka

Broj točke	E [m]	N [m]	H [m]
1	421712,083	5033289,359	128,582
2	421705,387	5033292,629	128,531
3	421705,207	5033302,822	128,536
4	421710,891	5033314,339	128,596
5	421719,116	5033316,088	128,634
6	421737,685	5033306,639	128,252
7	421735,537	5033296,538	128,147
8	421726,032	5033286,741	128,249

Točke koje su potrebne za georefenciranje odabiru se tako da to budu točke koje su karakteristične na mjerenom objektu i za koje smo sigurni da će ih laserski skener uhvatiti. Slika 5.5 prikazuje karakterističnu točku pod brojem 8. Za potrebe gereferenciranja korišteno je svih osam točaka.

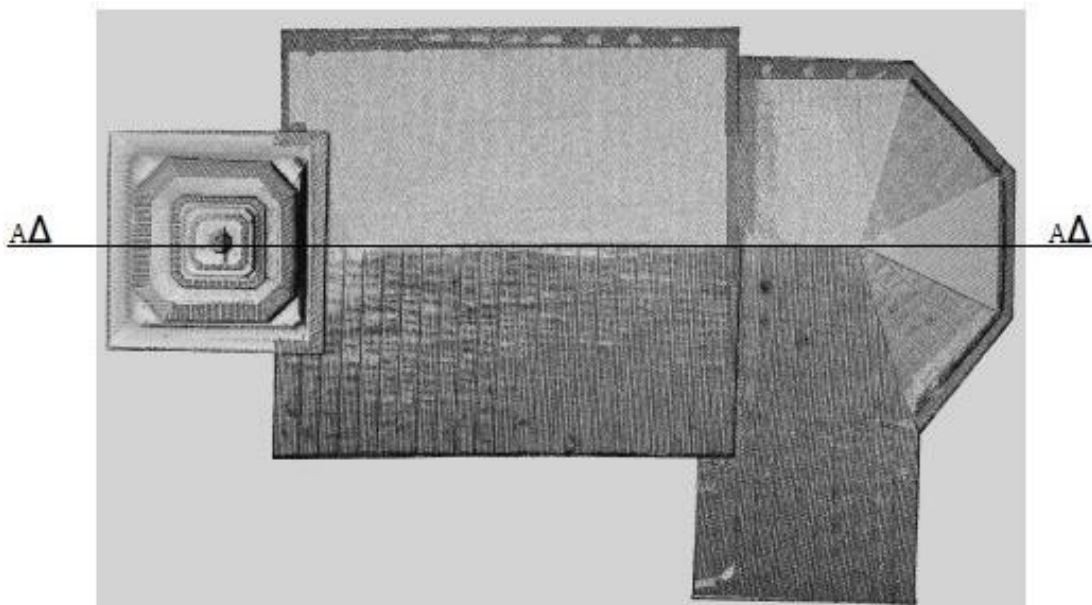


Slika 5.5 Prikaz odabrane karakteristične točke 8

Krovište crkve nije moguće snimiti na terenu koristeći terestički laserski skener, zato se mjerenje upotpunjuje sa aerofotogrametrijskim snimanjem. Potrebno je učitati gusti oblak točaka dobiven bespilotnom letjelicom (postupak kreiranja je objašnjen je u sljedećem poglavlju 5.2) unutar Trimble RealWorks-a i registrirati ga na oblak točaka dobiven terestičkim laserskim skenerom. Generirano je izvješće o registraciji TLS-a i bespilotne letjelice, koje se nalazi unutar priloga diplomskog rada. Nakon uspješne registracije dobiva se gotovi i finalni oblak točaka crkve Sv. Petra Mrežničkog.

Izrađeni su i presjeci korištenjem „Ortho-Projection Tool“ modula. Presjeci prolaze kroz karakteristična mjesta crkve i prikazani su u boji i dubinom prikaza. Kod dubinskog prikaza crvena boja prikazuje dijelove objekta koji su bliži, a plavom bojom su prikazani udaljeniji objekti. Napravljena su dva presjeka:

- Presjek AA- pogled sa južne strane (slika 5.6)
- Presjek BB- tlocrt (slika 5.7)



Slika 5.6 Izrađeni uzdužni presjek



Slika 5.7 Presjek tlocrta

Presjek AA prolazi kroz sredinu tornja crkve uzduž sljemena, a presjek BB prikazuje tlocrtni obris crkve.

5.2 Fotogrametrija

Obrada podataka dobivenih bespilotnom letjelicom obavljeno je unutar softvera Agisoft Metashape Professional. Softver se koristi za pretvaranje digitalnih fotografija u trodimenzionalni prikaz. Također, i za izradu digitalnih ortofoto prikaza i digitalnih modela visina. Fotogrametrijskom izmjerom snimljeno je 1227 fotografija, koje se nalaze unutar WGS84 koordinatnog sustava i potrebno ih je georeferencirati.

Obrada podataka u Agisoft softveru započinje poravnanjem fotografija (engl. *Align photo*) kojim se dovode u prostorno ispravan međusobni položaj. Algoritam traži i označava karakteristične točke koje se nalaze na nekoliko fotografija i povezuje ih (engl. *tie points*). Odabire se u postavkama visoka (engl. *high*) točnost kako bi se fotografije što preciznije smjestile u prostor, program tada koristi originalne snimke. Proces poravnavanja trajao je otprilike 1 sat i 30 minuta, a rezultat je rijedak oblak točaka (slika 5.8).



Slika 5.8 Rijedak oblak točaka

Fotografiranjem je uhvaćeno cijelo dvorište crkve i neki okolni elementi, koji se nalaze sada unutar kreiranog oblaka točaka. Daljnja obrada generiranja 3D modela vremenski bi puno duže trajala, ukoliko bi se ostavili svi detalji zahvaćeni fotografiranjem. Zato se označava područje od interesa, u ovom slučaju područje crkve, a ostali podaci se uklanjaju. Tako da se prilikom kreiranja oblaka točaka koriste samo točke koje se nalaze unutar označenog prostora. Ovim korakom smanjujemo vrijeme obrade, jer se smanjuje područje od interesa. Kreirane su i maske na fotografijama koje sadrže zvonik crkve, šumovi poput neba i okolice su zamaskirani (slika 5.9). Maske omogućuju softveru da kreira oblake točaka samo na području interesa (slika 5.10).



Slika 5.9 Prikaz šuma oko krova crkve



Slika 5.10 Maska kreirana unutar Agisofta

Slijedi izrada gustog oblaka točaka (engl. *Build dense cloud*), prilikom kreiranja naredbe odabire se visoka (engl. *high*) razina kvalitete i željena razina filtriranja srednja (engl. *mild*) (slika 5.11). Razina filtriranja prikazuje različite razine prikazivanja detalja u modelu. Postupak je trajao oko 3 sata. Kao rezultat automatske obrade dobio se oblak točaka kojeg je bilo potrebno očistiti od šumova . Korak uklanjanja šumova je bitan jer se izrada 3D modela temelji na tom oblaku točaka.



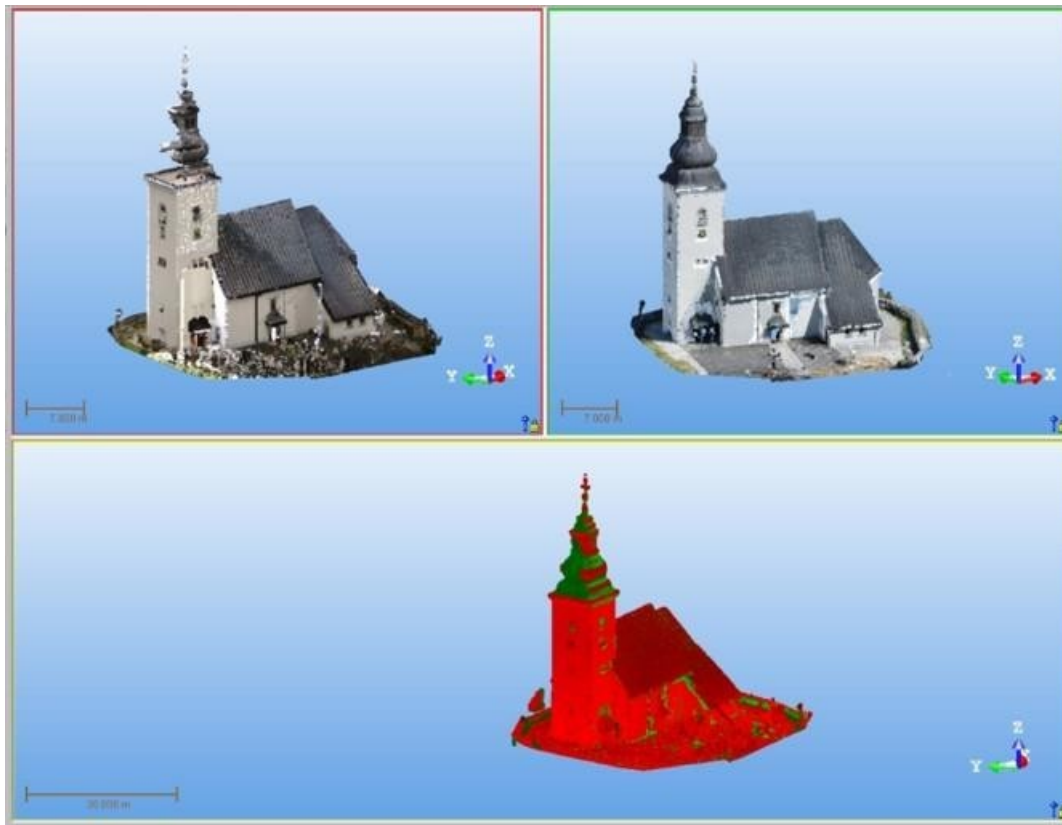
Slika 5.11 Dense cloud

Kada se obave prethodni koraci ide se u izradu 3D modela (engl. *mesh*), odnosno rekonstrukciju modela putem spajanja gustog oblaka točaka u TIN mrežu (engl. *Triangulated Irregular Network*). Kako bi došli do zadovoljavajuće razine 3D modela potrebno je izraditi teksture (engl. *build texture*). Ovim korakom se popravljaju vizualni dojam modela.

Dobiveni model je potrebno georeferencirati. Odabirom bilo koje dvije točke kreira se skala s kojom se model skalira u svoju pravu veličinu. Unose se podaci prostorne duljine između odabranih točaka, koji su iščitani iz Trimble RealWorka korištenjem „Measure“ modula. Kreirano je ukupno 11 skala. Također, model treba namjestiti na ispravne koordinate. Isto uz pomoć Trimble RealWorka i naredbe „Measure“ iščitavaju se koordinate karakterističnih točaka na crkvi. Kod ovog koraka potrebno je voditi računa o tome da se odabrane točke vide i na fotografijama. Izabrano je 11 točaka na kojima će se obaviti georeferenciranje. Kao izlazni rezultat dobiven je i digitalni ortofoto i ortofoto pročelja. Kao izlazna rezolucija izabran je 1 cm/piksel, softver nudi i bolju rezoluciju, ali nema potrebe jer je digitalni ortofoto samo za informativne potrebe.

6. REZULTATI I DISKUSIJA

Krajnji rezultat je obrade podataka je gust oblak točaka crkve Sv. Petra, koji je kreiran korištenjem laserskog skenera i bespilotne letjelice. U ovom radu prikazano je kako je potrebna kombinacija oba načina snimanja jer je nedostatak laserskog skenera da snimi potpuno krovnište upotpunjeno snimkama bespilotne letjelice. Preklapanjem oba snimka i dobiveni oblak točaka prikazan je (slika 6.1).

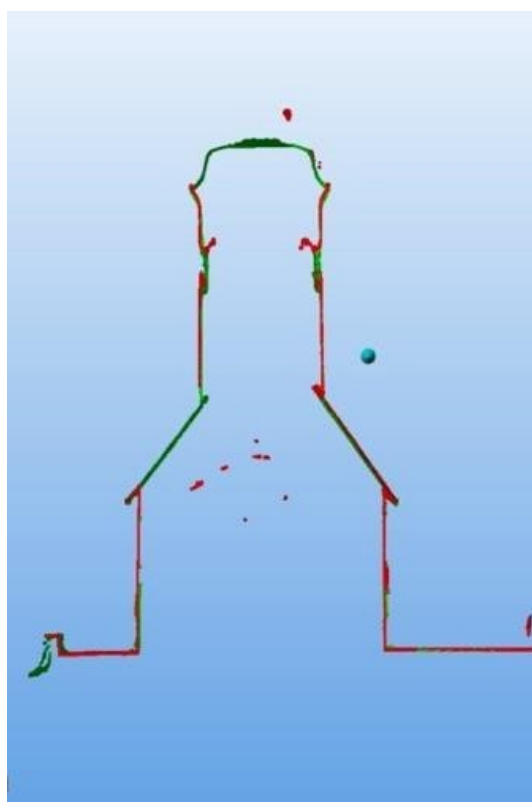


Slika 6.1 Preklapanje snimki skena i drona

Proučavanjem dobivenih rezultata uočava se da su snimke dobivene laserskim skeniranjem točnije jer nema skaliranja modela/oblaka kao kod fotogramterije. Slika 6.2 prikazuje horizontalni presjek spojenih snimki, oblak točaka dobivenog laserskim skenerom (crvena boja) i bespilotnom letjelicom (zelena boja). Vidljiva su blaga odstupanja bespilotne letjelice. Dok nam slika 6.3, vertikalni presjek, također prikazuje blaga odstupanja bespilotne letjelice, ali i nedostatak laserkog skenera da obuhvati krovnište. Najčešći uzrok takvih pogrešaka je nemogućnost postizanja boljeg modela/oblaka sa senzorom CMOS 1" kakav je u Phantomu. Model je unutar 5-10 cm, a kod skenera je relativna točnost 1:1.



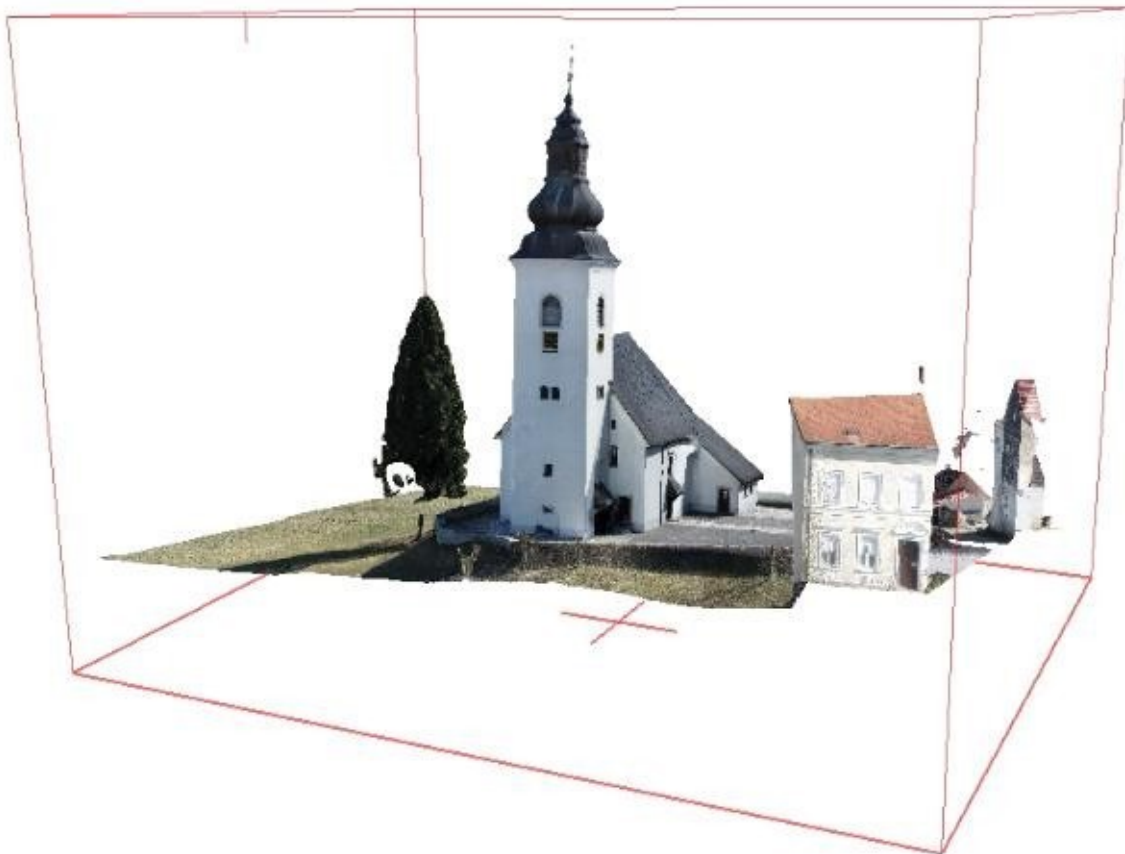
Slika 6.2 Horizontalni presjek spojenih snimki



Slika 6.3 Vertikalni presjek spojenih snimki

Također rezultat obrade je i trodimenzionalni prikaz crkve (slika 6.4), nastao od velikog broja prikupljenih podataka. Nakon što je dodana tekstura model je realno prikazan u odnosu na stvarno stanje crkve, uključujući i objekte koji se nalaze u neposrednoj blizini modela. Kreirani su i digitalni ortofoto iz zraka i ortofoto pročelja unutar Agisoft-a. Kao što je već spomenuto kao izlazna rezolucija izabran je 1 cm/piksel, zbog informativnog karaktera ortofota.

Krajnji rezultati ovog diplomskog rada su gusti oblak točaka crkve, 3D model, digitalni ortofoto iz zraka i ortofoto pročelja, zatim uzdužni i poprečni presjeci crkve s dubinskim prikazom u boji. Svi dobiveni rezultati prikazani su u prilogu diplomskog rada.



Slika 6.4 3D prikaz crkve Sv. Petra Mrežničkog

7. ZAKLJUČAK

Tema ovog diplomskog rada je primjena terestičkog laserskog skeniranja i fotogrametrije za potrebe očuvanja kulturne baštine na primjeru crkve Sv. Petra Mrežničkog. Obrada dobivenih podataka provedena je uspješno te su dobivene visoko kvalitetne snimke, a kao krajnji rezultati dobiveni gusti oblak točaka crkve, 3D model, digitalni ortofoto iz zraka i ortofoto pročelja, zatim uzdužni i poprečni presjeci crkve s dubinskim prikazom u boji.

Terestičko lasersko skeniranje pogodno je za snimanje zahtjevnih struktura i teško dostupnih lokacija, omogućava precizne trodimenzionalne podatke o strukturi i stanju objekta. Dok fotogrametrija omogućava kreiranje visoko kvalitetnih vizualnih zapisa i modela, koji su pogodni za analizu i virtualnu rekonstrukciju. Upravo kombiniranjem navedenih metoda postiže se precizan i sveobuhvatan prikaz kulturnih artefakata, čime se olakšava njihova obnova i zaštita za buduće generacije. Potreba za nadopunjavanje metoda je prikazana i u ovom diplomskom radu. Gdje korištenjem samo terestičkog laserskog skenera nije bilo moguće snimiti cijelo krovšte crkve. Nedostaci su upotpunjeni aerofotogrametrijskim snimanjem.

Metode koje su korištene u ovom diplomskom radu su rezultat tehnološki napredak koji utječe i na razvoj geodetske struke. U odnosu na klasične geodetske metode kreiraju gusti oblak točaka u vrlo kratkom vremenu, što utječe i na financijsku komponentu, te pružaju mogućnost kreiranja 3D modela objekata. Digitalizacija dobivenih podataka od iznimne je važnosti za očuvanje kulturne baštine, jer na taj način podaci postaju lako dostupni i razumni i drugim strukama poput arhitekata, restauratora, konzervatora itd.

Sve navedeno upućuje na to da je hipoteza diplomskog rada zadovoljena, primjena tehnika terestičkog laserskog skeniranja i fotogrametrije pri izradi 3D modela doprinosi očuvanju kulturne baštine prilikom samog planiranja i izvođenja restauracija. Dobiveni rezultati prikazuju stvarno stanje objekta sa svim detaljima i oštećenjima, služe kao kvalitetna podloga za očuvanje kulturne baštine.

LITERATURA

- Aber, J.S., Marzloff, I., Ries, J.B. (2010): Small-Format Aerial Photography: Photogrammetry, Elsevier
- Alkan, R.M., Karsidag, G. (2012): Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements, Laser Scanners I
- Baraba, S. (2020): Primjena LIDAR sustava za potrebe projektiranja željezničkih pruga, Željeznice 21, godina 19, broj 2, str. 31-36
- Baučić M. (2015): Fotogrametrija, predavanja. Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu,
- Đapo, A., Miljković, V., Babić, L., Pribičević, B. (2022): Skripta Trodimenzionalno lasersko skeniranje u geodeziji i geoinformatici, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Ebrahim, M.A.B. (2011): 3D laser scanners: History, applications, and future. Assiut University, Faculty of Engineering
- Gajski, D. (2007): Osnove laserskog skeniranja iz zraka, Ekscentar, br. 10, str. 16-22
- Gajski, D. (2017): Fotogrametrija, predavanja. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- Govorčin, M., Kovačić, F., Žižić, I. (2012): Bepilote letjelice SenseFly Swinglet CAM Ekscentar, br. 15, str. 62-68
- Kolarek M. (2010): Bepilote letjelice za potrebe fotogrametrije Ekscentar, br. 12, str. 70-73
- Krtalić, A. Gajski, D., Maltarski, M. (2019): Digitalni trodimenzionalni prikazi scene i satelitska stereofotogrametrija, Geodetski list, br. 2, str. 147–164, Zagreb
- Kujundžić, D. (2007): Zračni laserski skeneri LEICA ALS50-II i Corridor Mapper, Ekscentar, Br.10, str. 31-34
- Kukko, A. (2013): Mobile laser scanning - system development, performance and applications. Kirkkonummi. Publication of the Finnish Geodetic Institute.
- Lasić, Z. (2008): Skripta iz kolegija Primjena laserskih uređaja, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- Matijević H., Roić M. (2002): Terestrički laserski skeneri, Geodetski list. (79) 3, str. 171-187, Zagreb
- Miler M., Đapo A., Kordić B., Medved I. (2007): Terestrički laserski skeneri, Ekscentar, br. 10, str. 35-38
- Mohd Mokhtar, M. R., Abdul Wahab, S. N., Husain, M. N., Hashim, . H., & Che Kasim, A. (2021). Landslide Monitoring Using Close Range Photogrammetry. Planning Malaysia, 19(19)
- Narodne novine (2010): Pravilniku o zaštiti od optičkog zračenja, Narodne novine, br.91, Zagreb

Narodne novine (2018): Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova, Narodne novine br.104, Zagreb

Narodne novine (2020): Uredba o snimanju iz zraka, Narodne novine br.77, Zagreb

Saif W. (2022): Photogrammetry: A Brief Historical Overview Engineering & Management Department, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran 31261, Saudi Arabia

Stojaković, V. (2008): Terrestrial Photogrammetry and Application to Modeling Architectural Objects, Architecture and Civil Engineering Vol. 6, br. 1, str. 113 - 125

Wang, C., Wen, C., Dai, Y., Yu, S., Liu, M.(2020): Urban 3D modeling using mobile laser scanning: a review, Virtual Reality & Intelligent Hardware, Vol 2 , br 3, str.175— 212

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Monokromatska svjetlosti (Đapo i dr., 2022).....	3
Slika 2.2 Spektar elektromagnetskog zračenja (URL 1)	5
Slika 2.3 Mjerenje kompleksnijih modela ravnalom (Ebrahim, 2011)	7
Slika 2.4 Skica 3 vrste optičkih tehnologija (Ebrahim, 2011).....	8
Slika 2.5 3D skener ModelMaker (Ebrahim, 2011)	9
Slika 2.6 Princip skeniranja LIDAR sustava (Ebrahim, 2011).....	10
Slika 2.7 Lasersko skeniranje iz zraka (URL2).....	11
Slika 2.8 Lasersko skeniranje sa Zemlje (URL 3).....	11
Slika 2.9 Lasersko skeniranje sa pokretnih platformi (URL 4).....	12
Slika 2.10 Podjela terestičkih laserskih skenera prema načinu snimanja (Lasić, 2008).....	14
Slika 2.11 Shematski prikaz pulsog (a), faznog (b) i triangulacijskog (c) načina mjerenja udaljenosti kod različitih (Lasić, 2008)	15
Slika 2.12 Princip snimanja u nizovima (Gajski,2007)	16
Slika 2.13 Osnovne komponente ALS-a i princip određivanja koordinata (Gajski,2007)	17
Slika 2.14 Komponente MLS sustava (URL 5).....	18
Slika 2.15 Refrakcija i refleksija laserske zrake (Đapo i dr.,2022)	20
Slika 2.16 Promjena smjera zrake uslijed utjecaja atmosferskih turbulencija (Đapo i dr.,2022)	21
Slika 3.1 Prva bespilotna letjelica Torpedo (URL 6)	22
Slika 3.2 Izbor geodetske metode izmjere (Kolarek, 2010)	24
Slika 3.3 Princip aerofotogrametrijskog snimanja (Govorčin i dr., 2012)	25
Slika 3.4 Terestička fotogrametrija (URL 7).....	27
Slika 3.5 Kromatska disperzija (URL 8)	29
Slika 4.1 Crkva Sv. Petra (URL 10)	35
Slika 4.2 3D terestički laserski skener Faro Focus S 350 plus (URL 11)	36
Slika 4.3 Bespilotna letjelica Phantom 4 Pro v2.0 (URL 12).....	37
Slika 4.4 GNNS uređaj Trimble R12i (URL 13).....	37
Slika 5.1 Sučelje Cloud-base registration	41
Slika 5.2 Izgled oblaka točaka nakon registracije i segmentacije.....	42
Slika 5.3 „Registration visual check“ vertikalnog presjeka.....	42
Slika 5.4 „Registration visual check“ horizontalnog presjeka.....	43

Slika 5.5 Prikaz odabrane karakteristične točke 8.....	44
Slika 5.6 Izrađeni uzdužni presjek.....	45
Slika 5.7 Presjek tlocrta.....	46
Slika 5.8 Rijedak oblak točaka	47
Slika 5.9 Prikaz šuma oko krova crkve	48
Slika 5.10 Maska kreirana unutar Agisofta	48
Slika 5.11 Dense cloud.....	49
Slika 6.1 Preklapanje snimki skena i drona.....	50
Slika 6.2 Horizontalni presjek spojenih snimki.....	51
Slika 6.3 Vertikalni presjek spojenih snimki.....	51
Slika 6.4 3D prikaz crkve Sv. Petra Mrežničkog.....	52

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba TLS i klasične geodetske metode (Lasić, 2008).....	13
Tablica 2. Kategorizacija bespilotnih letjelica s obzirom na operativnu masu (Narodne novine, 2018).....	34
Tablica 3. Tehničke specifikacije za Faro Focus S 350 plus (URL 14).....	38
Tablica 4. Tehničke specifikacije za bespilotnu letjelicu Phantom 4 Pro v2.0 (URL 15).....	39
Tablica 5. Tehničke specifikacije za GNNS uređaj Trimble R12i (URL 13).....	40
Tablica 6. Izjednačene koordinate točaka.....	44

POPIS URL-OVA

- URL 1. https://www.periodni.com/gallery/spektar_elektromagnetskog_zracenja.png (14.4.2024)
- URL 2. https://www.researchgate.net/publication/309683426_ANUGA-the_FREE_Ocean_Impact_model/figures (17.06.2024)
- URL 3. https://www.researchgate.net/publication/277907947_The_prediction_of_single-tree_biomass_logging_recoveries_and_quality_attributes_with_laser_scanning_techniques/figures?lo=1 (17.06.2024)
- URL 4. https://www.researchgate.net/publication/261170078_Automatic_road_extraction_from_mobile_laser_scanning_data/figures?lo=1 (17.06.2024)
- URL 5. https://www.researchgate.net/publication/378877817_The_usage_of_geospatial_tools_in_traffic_sign_detection/figures#fullTextFileContent (11.06.2024.)
- URL 6. <https://percepto.co/the-evolution-of-drones-from-military-to-hobby-commercial/> (9.5.2024.)
- URL 7. [Geo Focus](#) (11.06.2024.)
- URL 8. https://hr.wikipedia.org/wiki/Kromatska_aberacija#/media/Datoteka:Chromatic_aberration_lens_diagram.svg (17.06.2024)
- URL 9. <https://maps.app.goo.gl/81FNWm723RZw4GnP9> (17.11.2024.)
- URL 10. http://os-vnazor-dugaresa.skole.hr/nastava/ivot_na_mre_nici/sakralni_objekti_uz_mre_nicu (13.06.2024.)
- URL 11. [Faro Focus 3D S350 Plus Terrestrial Laser Scanner at Rs 4000000 | Industrial 3D Scanner in Bengaluru | ID: 22567655233 \(indiamart.com\)](#) (11.06.2024.)
- URL 12. <https://www.dji.com/hr/phantom-4-pro-v2> (11.06.2024.)
- URL 13. <https://geospatial.trimble.com/en/products/hardware/trimble-r12i> (11.06.2024.)
- URL 14. https://knowledge.faro.com/Hardware/Focus/Focus/Technical_Specification_Sheet_for_the_Focus_Laser_Scanner (11.06.2024.)
- URL 15. <https://www.dji.com/hr/phantom-4-pro-v2/specs> (11.06.2024.)

PRILOZI

Popis priloga:

Prilog br. 1 Izvješće o registraciji eksterijera

Prilog br. 2 Izvješće o registraciji interijera

Prilog br. 3 Dubinski prikaz zapadnog pročelja, M=1:200

Prilog br. 4 Prikaz istočnog pročelja u boji, M=1:200

Prilog br. 5 Dubinski prikaz južnog pročelja, M=1:200

Prilog br. 6 Prikaz južnog pročelja, M=1:200

Prilog br. 7 Prikaz južnog presjeka, M=1:200

Prilog br. 8 Dubinski prikaz sjevernog pročelja, M=1:200

Prilog br. 9 Prikaz sjevernog pročelja u boji, M=1:200

Prilog br. 10 Prikaz presjeka tlocrta, M=1:200

Prilog br. 11 Prikaz tlocrta u boji, M=1:200

Prilog br. 12 Prikaz uzdužnog presjeka, M=1:200

Prilog br. 13 Prikaz zapadnog pročelja u boji, M=1:200

Prilog br. 14 Dubinski prikaz istočnog pročelja, M=1:200

Prilog br. 15 Dubinski prikaz tlocrta, M=1:200

Prilog br. 1 Izvješće o registraciji eksterijera

Registration Report (using TZF Scans)

User Name: lvr doljak**Date:** Tue Apr 4 15:21:45 2023**Project Name:** Lucija_V_diplomski**Length Measurement Units:** Meters**Coordinate System:** X, Y, Z

Overall Cloud-to-Cloud Error: 1.620 mm

Faro2_0103_DugaResa_sv.Petar_ekst000 - 8 Station(s) with Points in Common -

Confidence (%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)
100%	..._DugaResa_sv.Petar_ekst001	2.141 mm	82%
99%	..._DugaResa_sv.Petar_ekst002	3.502 mm	44%
100%	..._DugaResa_sv.Petar_ekst009	1.767 mm	80%
100%	..._crkva_sv_petra_dr_ekst000	1.303 mm	81%
100%	..._crkva_sv_petra_dr_ekst001	1.103 mm	77%
100%	..._crkva_sv_petra_dr_ekst002	1.306 mm	77%
	..._crkva_sv_petra_dr_ekst003	2.122 mm	70%

Prilog br. 2 Izvješće o registraciji interijera

Registration Report (using TZF Scans)

User Name: lvrđoljak**Date:** Wed Apr 12 14:42:44 2023**Project Name:** Lucija_V_diplomski**Length Measurement Units:** Meters**Coordinate System:** X, Y, Z

Overall Cloud-to-Cloud Error: 1.836 mm

Faro2_2303_svPetarMreznicki_000 - 4 Station(s) with Points in Common -

Confidence (%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)
100%	..._2303_svPetarMreznicki_001	2.109 mm	80%
98%	..._2303_svPetarMreznicki_002	3.889 mm	40%
99%	..._2303_svPetarMreznicki_022	1.869 mm	41%
91%	Faro3_2303_svpetarmerz_kor001	3.748 mm	25%

Faro2_2303_svPetarMreznicki_001 - 5 Station(s) with Points in



**Mjerilo:
1:200**

Napomena: Crvena boja označava bliže dijelove objekta, a plava dalje dijelove objekta.

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Vrsta projekta:	Diplomski rad
Naziv projekta:	Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine
Lokacija:	Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom
Prikaz:	Dubinski prikaz zapadnog pročelja
Izradila:	Lucija Parčina



**Mjerilo:
1:200**

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

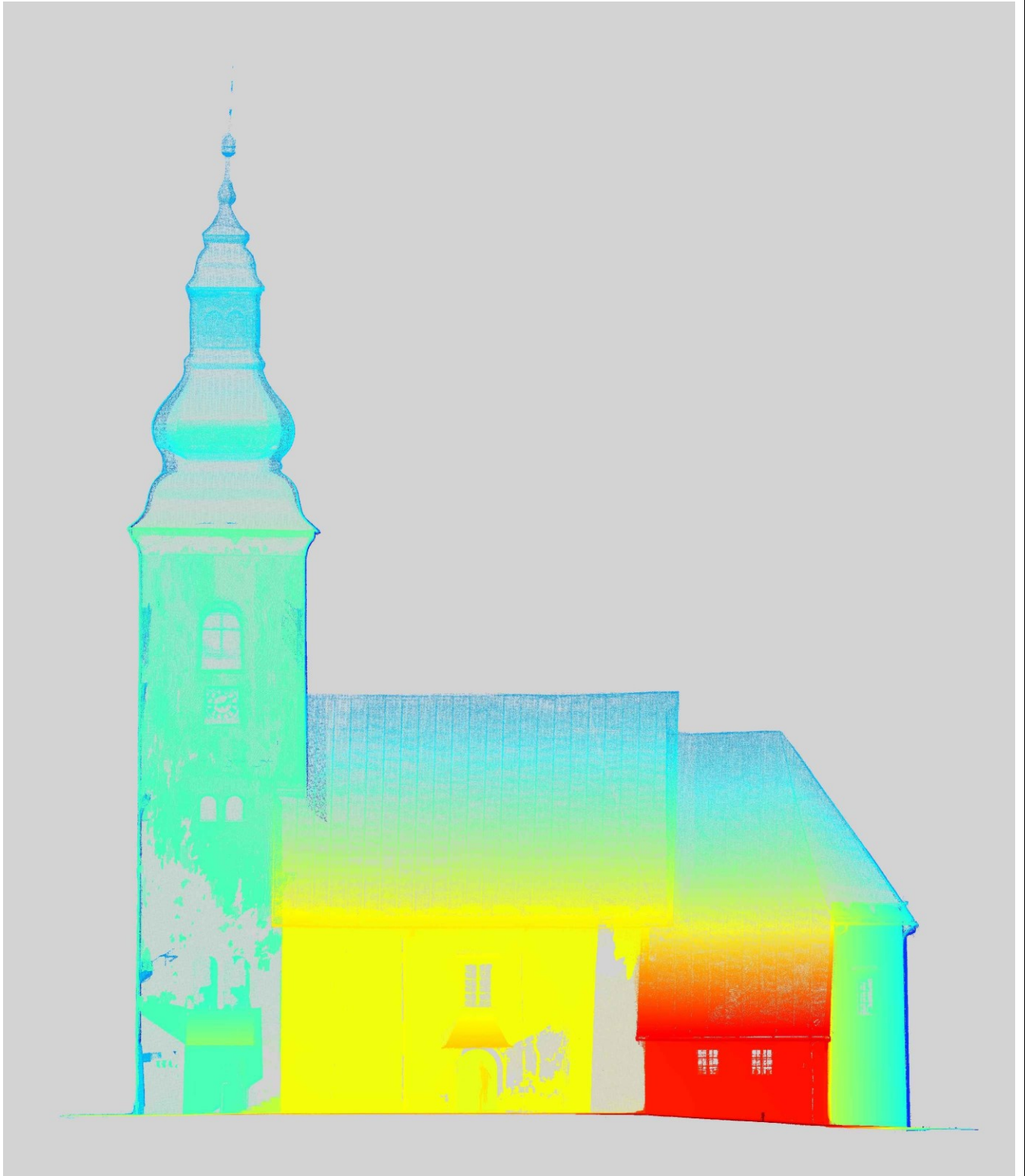
Vrsta projekta: Diplomski rad

Naziv projekta: Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine

Lokacija: Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom

Prikaz: Prikaz istočnog pročelja u boji

Izradila: Lucija Parčina



**Mjerilo:
1:200**

Napomena: Crvena boja označava bliže dijelove objekta, a plava dalje dijelove objekta.

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Vrsta projekta:	Diplomski rad
Naziv projekta:	Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine
Lokacija:	Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom
Prikaz:	Dubinski prikaz južnog pročelja
Izradila:	Lucija Parčina



Mjerilo:
1:200

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Vrsta projekta: Diplomski rad

Naziv projekta: Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine

Lokacija: Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom

Prikaz: Prikaz južnog pročelja

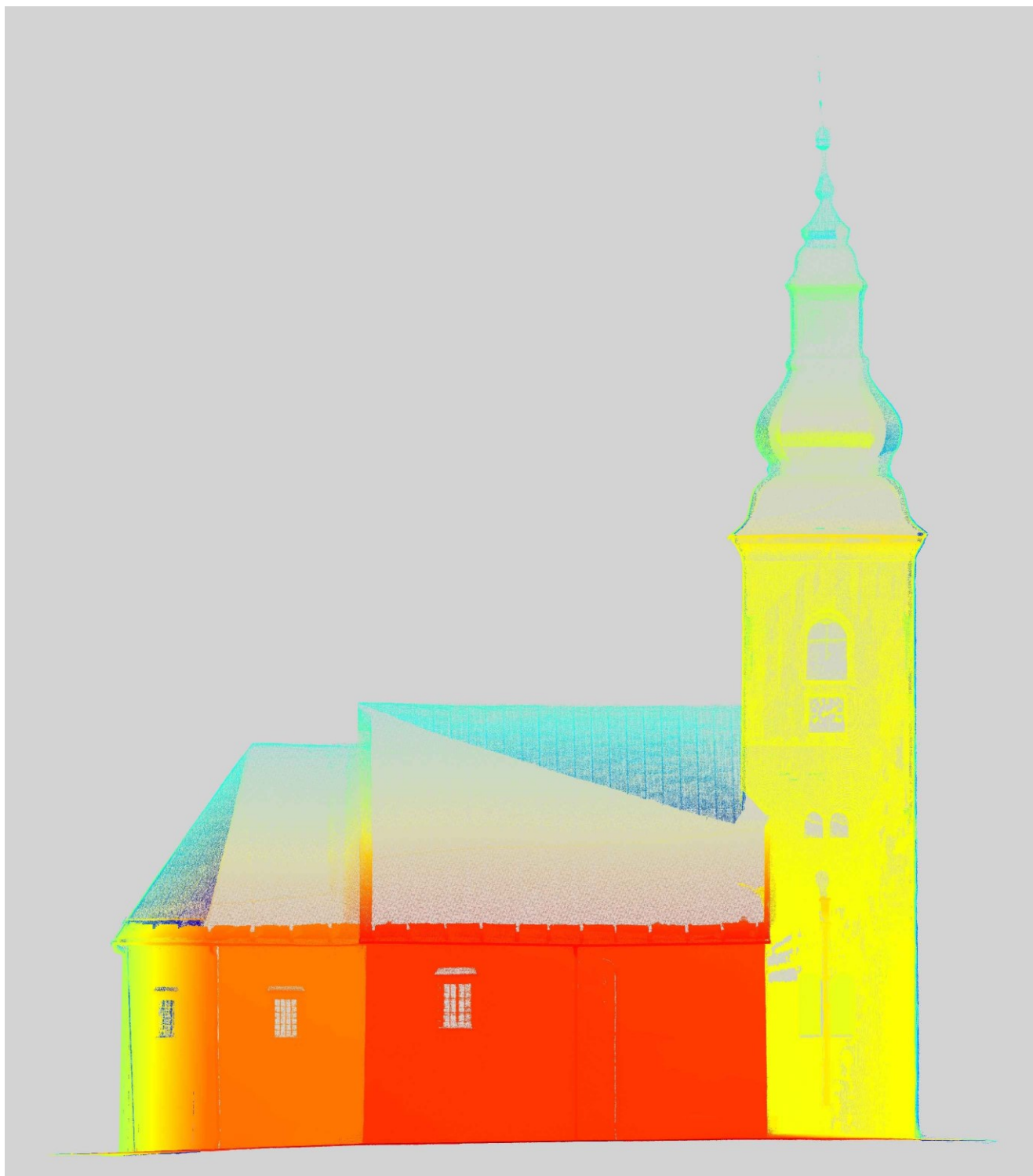
Izradila: Lucija Parčina



Mjerilo:
1:200

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Vrsta projekta:	Diplomski rad
Naziv projekta:	Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine
Lokacija:	Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom
Prikaz:	Prikaz južnog presjeka
Izradila:	Lucija Parčina



**Mjerilo:
1:200**

Napomena: Crvena boja označava bliže dijelove objekta, a plava dalje dijelove objekta.

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Vrsta projekta: Diplomski rad

Naziv projekta: Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine

Lokacija: Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom

Prikaz: Dubinski prikaz sjevernog pročelja

Izradila: Lucija Parčina



Mjerilo:
1:200

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Vrsta projekta: Diplomski rad

Naziv projekta: Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine

Lokacija: Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom

Prikaz: Prikaz sjevernog pročelja u boji

Izradila: Lucija Parčina



Mjerilo:
1:200

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

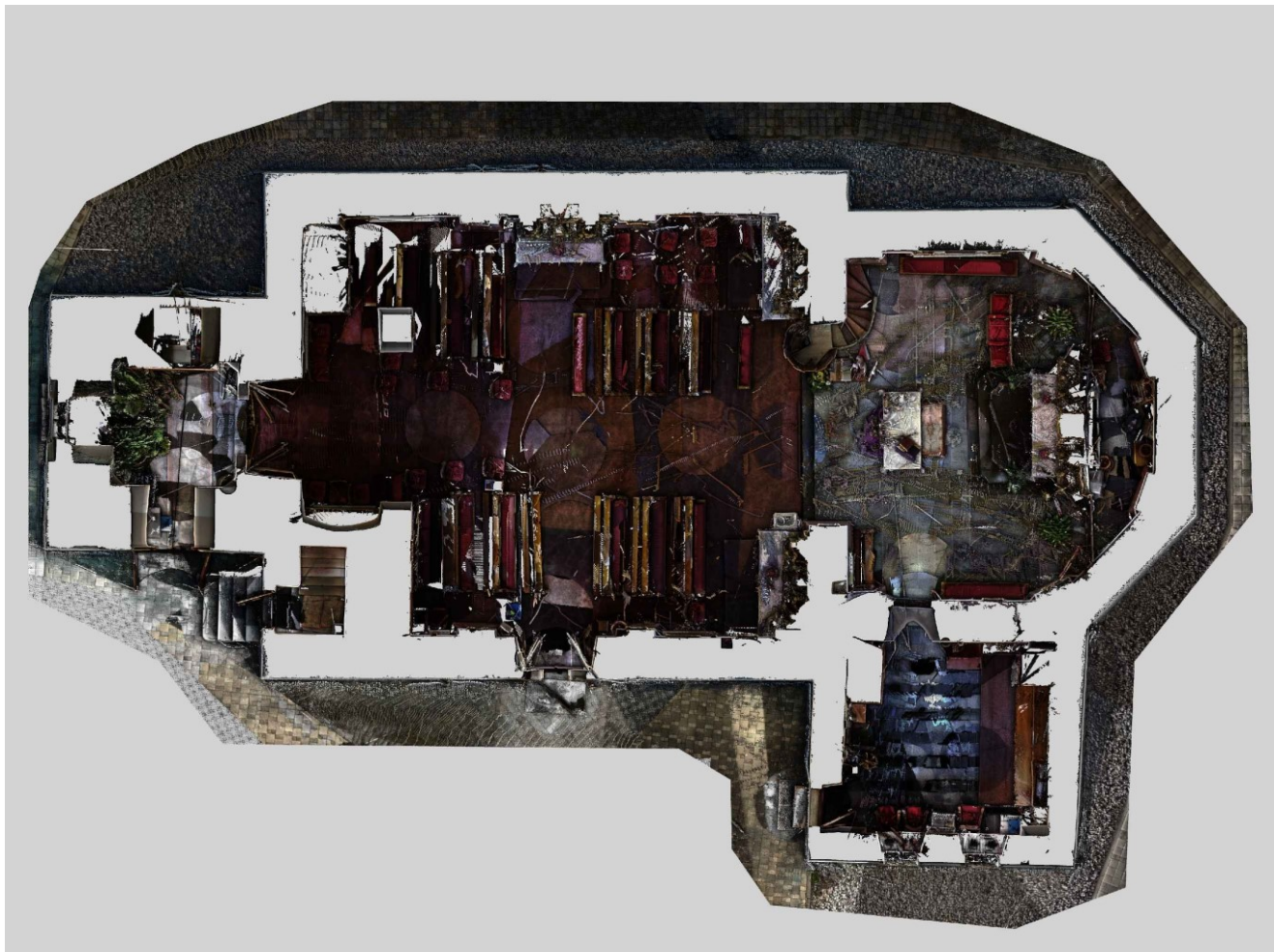
Vrsta projekta: Diplomski rad

Naziv projekta: Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine

Lokacija: Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom

Prikaz: Prikaz presjeka tlocrta

Izradila: Lucija Parčina



**Mjerilo:
1:200**

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

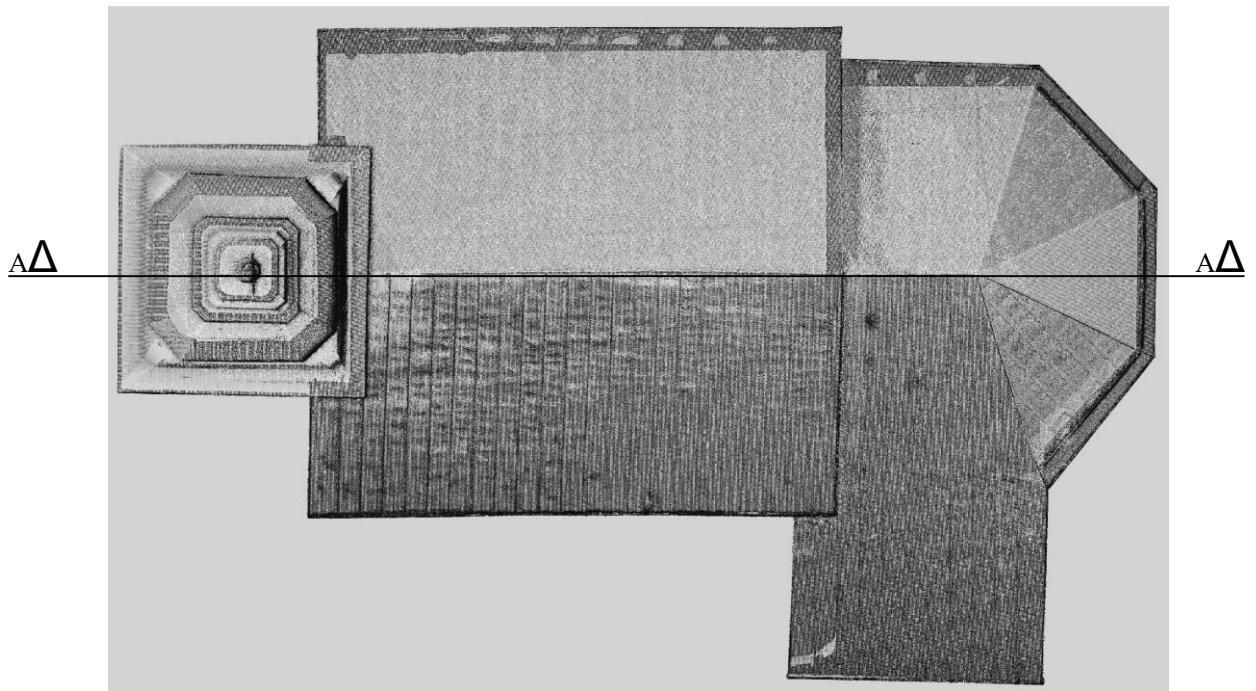
Vrsta projekta: Diplomski rad

Naziv projekta: Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine

Lokacija: Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom

Prikaz: Prikaz tlocrta u boji

Izradila: Lucija Parčina



**Mjerilo:
1:200**

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Vrsta projekta: Diplomski rad

Naziv projekta: Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine

Lokacija: Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom

Prikaz: Prikaz uzdužnog presjeka

Izradila: Lucija Parčina



Mjerilo:
1:200

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

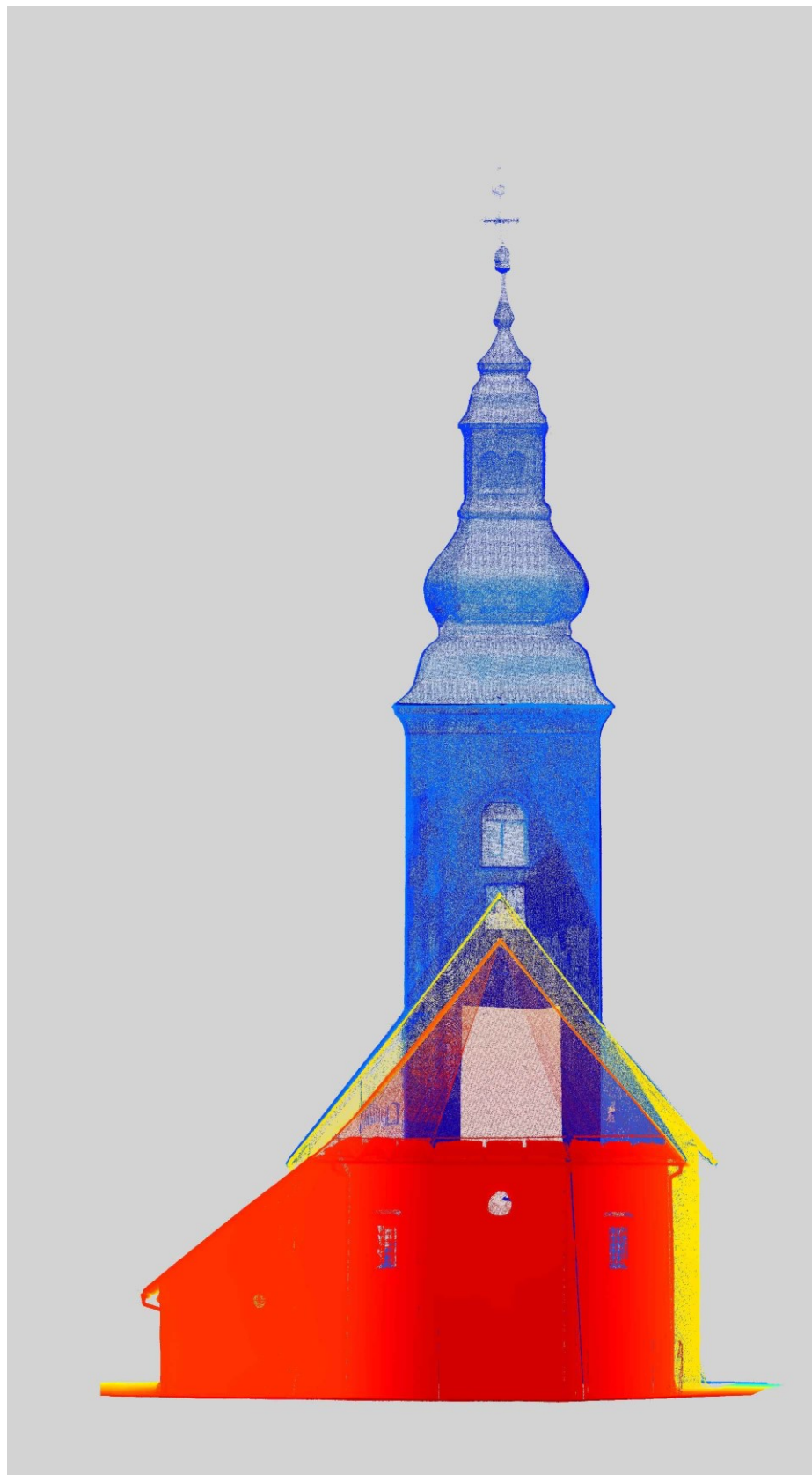
Vrsta projekta: Diplomski rad

Naziv projekta: Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine

Lokacija: Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom

Prikaz: Prikaz zapadnog pročelja u boji

Izradila: Lucija Parčina

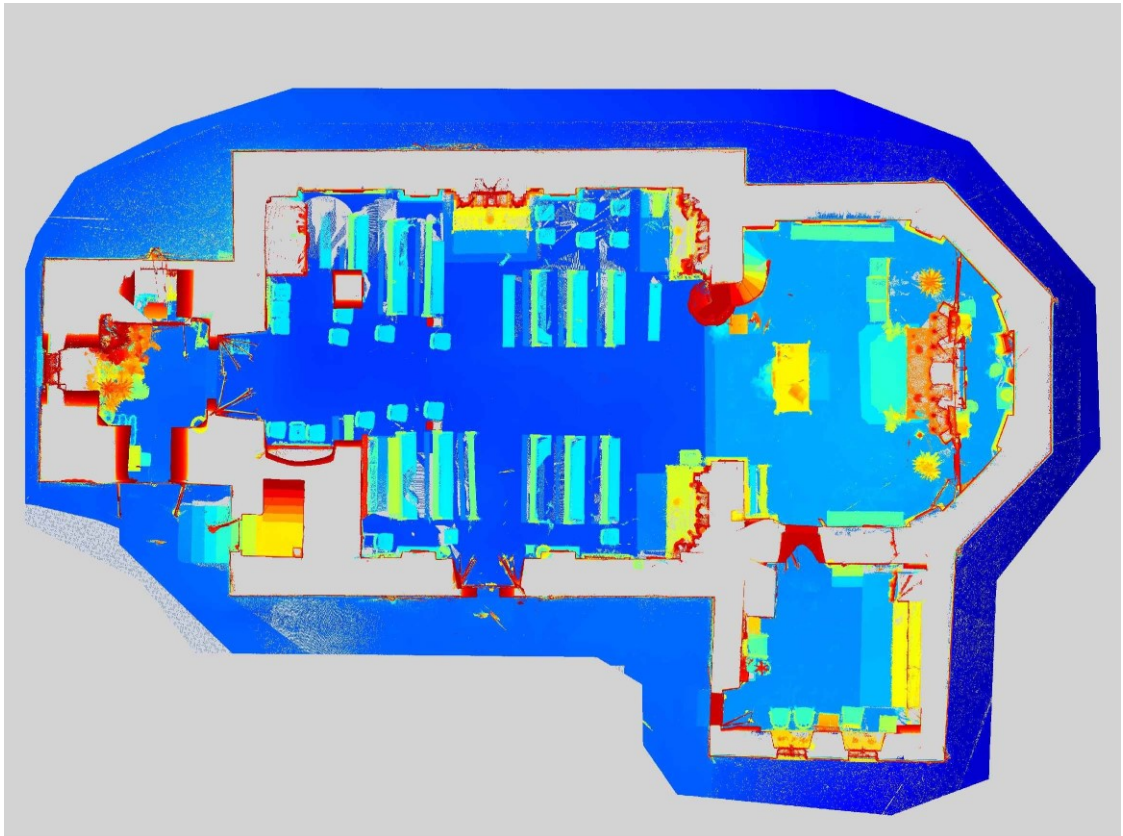


**Mjerilo:
1:200**

Napomena: Crvena boja označava bliže dijelove objekta, a plava dalje dijelove objekta.

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Vrsta projekta:	Diplomski rad
Naziv projekta:	Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine
Lokacija:	Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom
Prikaz:	Dubinski prikaz istočnog pročelja
Izradila:	Lucija Parčina



**Mjerilo:
1:200**

Napomena: Crvena boja označava bliže dijelove objekta, a plava dalje dijelove objekta.

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Vrsta projekta: Diplomski rad

Naziv projekta: Upotreba laserskog skeniranja i fotogrametrije u očuvanju kulturne baštine

Lokacija: Crkva Sv.Petra Mrežničkog u Sv.Petru Mrežničkom

Prikaz: Dubinski prikaz tlocrta

Izradila: Lucija Parčina

ŽIVOTOPIS

