

3D modeliranje i vizualizacija crkve Sv. Roka u Starom Gradu na otoku Hvaru

Stančić, Vinko

Master's thesis / Diplomski rad

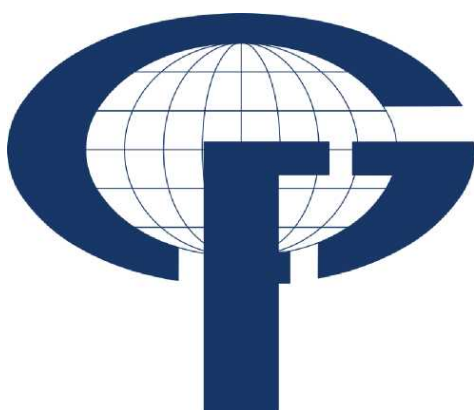
2024

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:256:711250>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-16**



Repository / Repozitorij:

repozitorij.geof.unizg.hr/en



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Vinko Stančić

**3D MODELIRANJE I VIZUALIZACIJA CRKVE SV.
ROKA U STAROM GRADU NA OTOKU HVARU**

Diplomski rad

Zagreb, lipanj 2024.

Vinko Stančić ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 2024.



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Vinko Stančić

**3D MODELIRANJE I VIZUALIZACIJA CRKVE
SV. ROKA U STAROM GRADU NA OTOKU
HVARU**

Diplomski rad

Zagreb, lipanj 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, **Vinko Stančić**, (JMBAG: 0007181747), rođen dana 13.10.1999. u Splitu, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg 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:	Vinko Stančić
Datum i mjesto rođenja:	13. listopada 1999., Split, Republika Hrvatska
II. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	3D modeliranje i vizualizacija crkve Sv. Roka u Starom Gradu na otoku Hvaru
Broj stranica:	69
Broj tablica:	12
Broj slika:	43
Broj bibliografskih podataka:	26 + 7 URL-a
Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:	Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet
Mentor:	prof. dr. sc. Miodrag Roić
Komentor:	dr. sc. Josip Križanović
Voditelj:	
III. OCJENA I OBRANA	
Datum zadavanja teme:	16.01.2023.
Datum obrane rada:	21.06.2024.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	prof. dr. sc. Miodrag Roić
	dr. sc. Josip Križanović
	izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić

Zahvala

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Miodragu Roiću i komentoru dr. sc. Josipu Križanoviću na ukazanom trudu i strpljenju pri izradi diplomskog rada i na svim savjetima i riječima ohrabrenja.

Želim se posebno zahvaliti mojoj obitelji, roditeljima i sestrama koji su me podržavali tijekom mog studiranja i pružili mi priliku da ostvarim svoje ciljeve.

Također se želim zahvaliti svim svojim prijateljima koji su mi pružili nezaboravne trenutke pune radosti i smijeha u ovom periodu života.

3D modeliranje i vizualizacija crkve Sv. Roka u Starom Gradu na otoku Hvaru

Sažetak: Laserski skeneri omogućuju brzo i sveobuhvatno prikupljanje trodimenzionalnih podataka za izmjeru različitih građevina i prirodnih terena. U ovom diplomskom radu prikazan je postupak 3D modeliranja i vizualizacije crkve sv. Roka u Starom Gradu. Na samom početku rada dan je teorijski pregled korištenih tehnologija i metoda, a u nastavku opisan cjelokupni proces prikupljanja i obrade podataka. Oblak točaka je rezultat korištenih metoda. Podaci su georeferencirani u programu CloudCompare. Uspoređeni su podaci polarne metode sa terestrički laserskim skenerom Faro Photon 120 i mobilnim laserskim skenerom iPhone 13 Pro koji sadrži LiDAR. Zaključno, navedene su prednosti i nedostaci svih metoda, zajedno s informacijom o najtočnijoj i najučinkovitijoj metodi.

Ključne riječi: 3D model, oblak točaka, mobilni laserski skener, terestrički laserski skener, LiDAR

3D modelling and visualization of church St. Roko in Stari Grad - Hvar

Abstract: Laser scanners enable fast and comprehensive collection of three-dimensional data for measuring various buildings and natural terrains. This thesis presents the process of 3D modeling and visualization of the Church of St. Roko in the Stari Grad. At the beginning of the work, a theoretical overview of the technologies and methods used is described, followed by the entire process of data collection and processing. The point cloud is the result of the methods used. The data is georeferenced in the CloudCompare software. Data from polar methods were compared with terrestrial laser scanner Faro Photon 120 and mobile laser scanner iPhone 13 Pro, which contains LiDAR. In conclusion, the advantages and disadvantages of all methods are listed along with information on the most accurate and efficient method.

Keywords: 3D model, point cloud, mobile laser scanner, terrestrial laser scanner, LiDAR

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Motivacija	2
1.2. Hipoteza.....	2
1.3. Metodologija i podaci	2
1.4. Pregled rada	3
2. CRKVA SV. ROKA.....	4
3. METODE IZMJERE	7
3.1. GNSS izmjera	7
3.2. Poligonometrija.....	8
3.3. Polarna metoda	9
3.4. LiDAR	10
3.5. Terestričko lasersko skeniranje.....	11
3.5.1. Podjela skenera po načinu skeniranja.....	12
3.5.2. Primjena terestričkog laserskog skeniranja	13
3.5.3. Prednosti terestričkog laserskog skeniranja	14
3.5.4. Nedostatci terestričkog laserskog skeniranja	14
3.6. Mobilno lasersko skeniranje	14
3.6.1. Pregled dosadašnjih istraživanja mobilnog skeniranja.....	15
3.7. Apple iPhone 13 Pro	16
4. IZMJERA CRKVE SV. ROKA	19
4.1. Geodetska osnova	19
5. OBRADA PODATAKA	23
5.1. Obrada podataka prikupljenih terestričkim laserskim skenerom.....	23
5.1.1. Računanje položaja markica i detaljnih točaka	23
5.2. FARO Scene	24
5.2.1. Povezivanje i georeferenciranje oblaka točaka terestričkog laserskog skenera	25
5.3. CloudCompare	29
5.3.1. Povezivanje i georeferenciranje oblaka točaka mobilnog laserskog skenera.....	31
6. ANALIZA REZULTATA.....	35
7. VIZUALIZACIJA PODATAKA	41
8. ZAKLJUČAK.....	47
LITERATURA.....	48
POPIS SLIKA	50
POPIS TABLICA.....	52

PRILOZI..... 53

1. UVOD

U današnjoj internetskoj eri geodetska se profesija mijenja mnogo brže nego ikad, prvenstveno zbog pojave naprednih globalnih tehnologija (pametni telefoni, internet stvari, veliki podaci itd.) i rastuće potrebe za prostornim podacima. Uz struku se sve više veže pojam geomatika jer su se vještine koje nude stručnjaci povećale u odnosu na klasični koncept geodetske izmjere. Geomatičari i dalje mogu prikupljati i upravljati geoprostornim informacijama iz mjerenja, kao što su to uvijek radili, ali sada postoji mnogo više metoda mjerenja i tehnika prikupljanja podataka. Iz tog razloga potrebno je kontinuirano prilagođavati svoje vještine u okruženju koje se brzo mijenja (Frančula, 2022).

Tradicionalni katastri, temeljeni na prikazima obilježja zemljišta na dvodimenzionalnom katastarskom planu, sve teže zadovoljavaju današnje potrebe za upisom stanja na zemljištu. Sve složeniji odnosi u prostoru više se ne mogu jednoznačno preslikati na plohu Zemljine površine. Taj koncept, star nekoliko stoljeća, nadograđuje se i uvodi mogućnost upisa obilježja zemljišta trodimenzionalno (Roić, 2012).

Geomatičari, istraživači i ostali stručnjaci svjedoci su ubrzanih promjena u načinu na koji se provode istraživanja u posljednja dva desetljeća. Jedan od rezultata tehnološkog razvoja je i oblak točaka, a koji je jedna od najodrživijih vrsta podataka. Oblak točaka predstavlja, na različitim skalama i na različitim razinama kompozitnosti svaku vrstu objekta. Općenito govoreći, izazov je izabrati senzore, tehnike obrade, računalne pristupe i resurse prema izlaznim proizvodima (npr. 3D modeli, orto-foto, kartografija, 2D crteži), ali i prema njihovoj kvaliteti (razlučivost, preciznost u odnosu na točnost) (Konecny, 2002).

Kao odgovor na navedene izazove, razvijeni su alati kako bi korisniku pružili mogućnost dobivanja točnih i geometrijski ispravnih 3D podataka. Izbor pravog alata ovisi o nekoliko komponenta: cijena, vrijeme, točnost i učinkovitost. Mobile Mapping System (MMS) pokazao se vrijednom alternativnom kombinacijom koja osigurava mnoge koristi u pojedinim situacijama. MMS posjeduje ogromni potencijal, a njegova primjena u pojedinim područjima svjedoči sve većem interesu posljednjih godina. MMS se koristi u istraživanjima, različitim inženjerskim i znanstvenim disciplinama: urbanom okolišu, kulturnoj baštini, praćenju okoliša, kartiranju i modeliranju (Di Stefano i dr., 2021).

Izrada 3D modela zgrada iz 3D podataka još uvijek iziskuje ručnu obradu podataka. U tom pogledu posebno je važna činjenica da tijekom obrade takvih modela, stručnjak mora ručno obrađivati milijune točaka, a što podrazumijeva utrošeno vrijeme i pogreške u dobivenom modelu. Building Information Models (BIM) donio je nove automatske sustave, postupke i algoritme koji su u stanju učinkovito prikupljati i obrađivati veliku količinu podataka bez pomoći ljudi. U posljednjih nekoliko godina, polja umjetne inteligencije i robotike se integriraju u automatski BIM svijet (Adan i dr., 2019).

3D modeliranje postalo je jedan od popularnijih načina analize 3D podataka, gdje korisnici mogu prikupiti više podataka s visokom točnošću u manje vremena od ostalih metoda izmjere. Tehnologije koje mogu pružiti 3D podatke kao što su terestrički laserski skeneri (TLS) često su skupe; stoga su korisnici potaknuti na traženje pristupačnih alternativa uz postizanje željene točnosti. Danas mobilni telefoni i tableti nude zamjenu za terestričke skenere 3D modeliranje, a iPhone 12/13 Pro i iPad Pro sada pružaju integrirani LiDAR senzor (Payton i dr., 2022).

Cilj ovog diplomskog rada je izraditi 3D model crkve sv. Roka u Starom Gradu na Hvaru koristeći geodetske metode izmjere. Unutrašnjost crkve je obradila i analizirala Margarita Pedišić u diplomskom radu, 2015. godine. Dok će se u ovom radu obraditi i analizirati vanjski dio crkve, te povezati sa unutrašnjim kako bi se dobio cjeloviti 3D model građevine. Također će se usporediti terestričko lasersko skeniranje sa mobilnim laserskim skeniranjem iPhone-ovim LiDAR-om. Takvi 3D modeli mogu se koristiti za dokumentiranje postojećeg stanja, za izradu projekta rekonstrukcije, znanstvenog istraživanja ili pak turističku i vjersku promidžbu.

1.1. Motivacija

Motivacija za izradu ovog diplomskog rada proizašla je iz činjenice da Hrvatska ima bogatu kulturnu baštinu, koja potiče izradu 3D modela korištenjem neke od metoda skeniranja. Razvoj tehnologija, koje omogućuju brzo prikupljanje velikih količina podataka, omogućio je značajan napredak u području modeliranja 3D objekata. Zahvaljujući modernim tehnologijama, danas je moguće kreirati vrlo uvjerljive i estetski privlačne 3D modele koji vjerno prikazuju stvarnost.

1.2. Hipoteza

Pretpostavka ovog diplomskog rada je da će se razvojem mobilne tehnologije, uključujući napredak u kvaliteti kamera i softvera za obradu velike količine podataka, omogućiti mobilnim uređajima da pruže jednako precizne rezultate kao i skeneri. Uz to mobilni uređaj je praktičniji prilikom korištenja, što pridodaje dodatnoj fleksibilnosti.

1.3. Metodologija i podaci

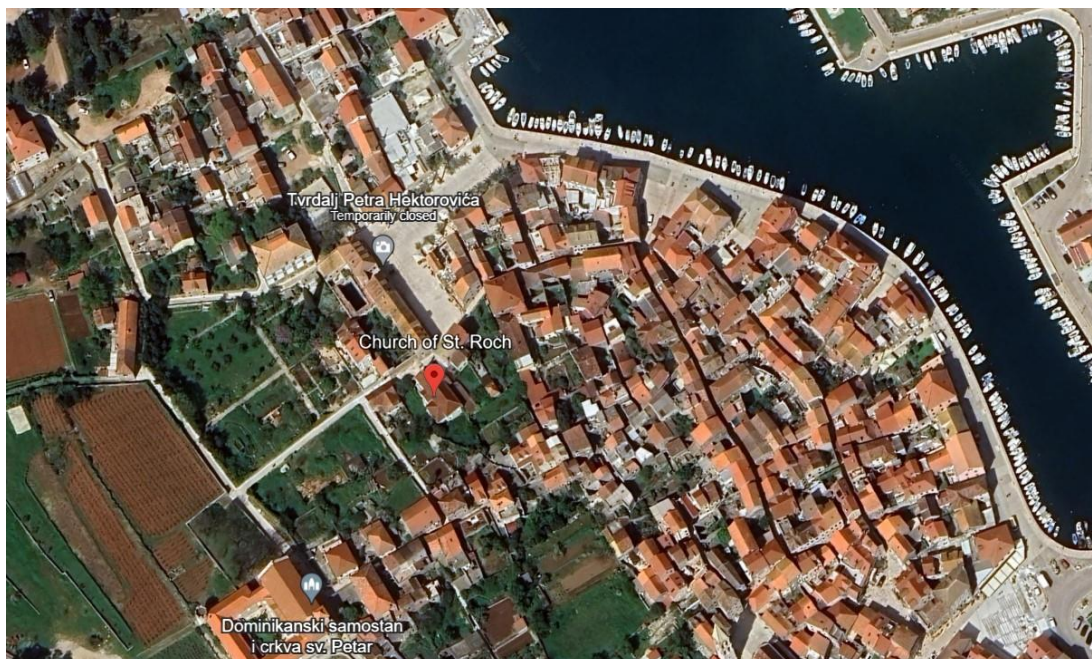
3D model crkve Sv. Roka u Starom Gradu biti će rezultat kombinacije nekoliko geodetskih mjerenja. Za izradu modela koristiti će se terestrički laserski skener Faro Photon 120 i usporediti s podacima mobilnog LiDAR skenera Iphone 13 Pro. Terenska mjerenja obavljena su u razdoblju od 9. lipnja 2014. do 13. lipnja 2014. godine koristeći terestrički laserski skener Faro Photon 120. Unutrašnjost crkve Sv. Roka je obradila i analizirala Margarita Pedišić u svom diplomskom radu 2015. godine (Pedišić, 2015). Naknadna mjerenja su obavljena 24. veljače 2023. godine koristeći Iphone 13 Pro za LiDAR analizu. Kako bi se građevina mogla smjestiti u prostoru pomoću koordinata geodetskih točaka korištene su dodatne geodetske metode: GNSS izmjera, poligonometrija, polarna metoda te mjerenje duljina laserskim daljinomjerom. Za obradu podataka terestričkog laserskog skenera korišten je računalni program Faro SCENE. Za usporedbu obrađenih podataka terestričkog laserskog skenera i mobilnog laserskog skenera koristiti će se računalni program Cloud Compare. U nastavku diplomskog rada biti će detaljnije rečeno o metodama i obradi podataka.

1.4. Pregled rada

Diplomski rad je strukturiran kroz osam poglavlja. Uvodno poglavlje opisuje postignuća u području 3D modeliranja i dosadašnja istraživanja. U drugom poglavlju opisano je područje izmjere, crkva Sv. Roka u Starom Gradu. Zatim će se u trećem poglavlju opisati korištene geodetske metode izmjere s naglaskom na terestričko lasersko skeniranje i mobilno lasersko skeniranje. U četvrtom poglavlju, opširno je opisana cjelokupna izmjera crkve Sv. Roka. Obrada podataka sa svim računalnim programima prikazana je u petom poglavlju. U šestom i sedmom poglavlju analizirani su rezultati mjerenja i obrade podataka, te su vizualizirani dobiveni modeli. U zadnjem osmom poglavlju izneseni su zaključci istraživanja u ovom diplomskom radu.

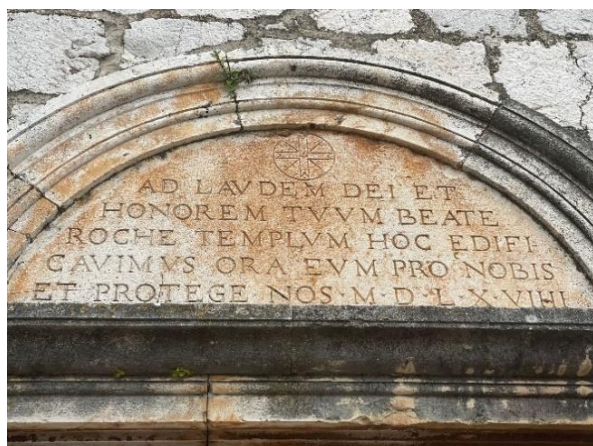
2. CRKVA SV. ROKA

Crkva sv. Roka nalazi se u Starom Gradu na otoku Hvaru (Slika 2.1). Smještena u neposrednoj blizini Hektorovićeve Tvrđalja, te je bila vremenom i idejno povezana sa renesansnim pjesnikom. Sv. Roko je zaštitnik od gube, kolere, kuge i općenito zaraznih bolesti i štuje se kao zaštitnik grada Starog Grada 16. kolovoza.



Slika 2.1. Položaj crkve sv. Roka prikazana na Google Earth-u

Trebala je biti sagrađena po zamisli pjesnika Petra Hektorovića, ali ga starješine nisu poslušale. Gradnja ove renesansno barokne crkve je započeta je u vrijeme Hektorovića. Zapisano je u luneti iznad ulaznih vrata 1569. godina kao početak gradnje (Slika 2.2). Dok je Bratovština sv. Roka početkom 17. stoljeća dovršila izgradnju crkve (Slika 2.3) (Buratović, 2019).



NA SLAVU BOGA I
U TVOJU ČAST, BLAŽENI
ROKO, PODIGLI SMO OVAJ HRAM
MOLI NJEGA ZA NAS
I ŠTITI NAS. 1569.

Slika 2.2. Luneta iznad ulaznih vrata i prijevod



Slika 2.3. Zapadno pročelje crkve

Na glavnom oltaru nalazi se kip sv. Roka iz 17. stoljeća, rad nepoznate mletačke radionice, dok je oltar djelo Andrije Bruttapellea iz 1774. godine. U crkvi se nalaze još dva oltara u dvjema bočnim kapelama: sv. Antuna Padovanskog i Gospin. Na vrhu pročelja je zvonik na preslicu podignut 1783. godine. Sadašnja zvona lijevana su 1924. godine u talijanskoj ljevaonici „De Poli“. Crkva je prvo bila longitudinalna, a oblik križa zadobila je 1898. godine gradnjom bočnih kapela. Te je godine pod stepeništem crkve pronađen mozaički pod rimskih termi, što je obilježeno latinskim natpisom na jednoj od stepenica (Slika 2.4) (Buratović, 2019).



Slika 2.4. Natpis koji ukazuje na rimske terme

Na katastarskom planu Franciskanskog katastra iz 1834. godine prikazan je položaj crkve (Slika 2.5) i izmjerena je površina od 215m². Crkva je upisana kao posjed Župske crkve svetog Stjepana, Stari Grad i prema posjedovnom listu ima površinu od 227 m².



Slika 2.5. Katastarski plan iz 1834. godine (M 1:2880)

3. METODE IZMJERE

U ovom su poglavlju dane teoretske osnove za sve metode izmjere koje su se koristile za izradu ovog diplomskog rada. Pojašnjene su osnovne tehnologije, kako funkcionira pojedina metoda i načini prikupljanja podataka.

Pod izmjerom detalja podrazumijevamo prikupljanje terenskih podataka za točke kojima je definiran detalj, u cilju izrade geodetske situacije izmjerene građevine. Ti podaci trebaju na situaciji definirati položaj detaljnih točaka odnosno detalja građevine koja je predmet izmjere. Način prikupljanja terenskih podataka naziva se metoda izmjere (Džapo, 2008).

U geodeziji postoje različite metode izmjere kao što su: ortogonalna metoda, polarna metoda, GNSS RTK metoda, fotogrametrijska metoda i lasersko skeniranje koje je podijeljeno na lasersko skeniranje sa zemlje, iz zraka i iz svemira. Za izmjeru pojedine građevine potrebno je odabrati adekvatnu metodu koja ovisi o točnosti, veličini građevine i o broju specifičnih točaka na toj građevini (Ivković i dr., 2013).

Za izmjeru crkve sv. Roka korištene su GNSS RTK metoda, polarna metoda te terestričko i mobilno lasersko skeniranje.

3.1. GNSS izmjera

GNSS sustavi, kao što su GPS (SAD), GLONASS (Rusija), BeiDou (Kina) i Galileo (Europa) koriste mrežu satelita koji emitiraju signale koje prijammici na zemlji mogu detektirati i koristiti za navigaciju i pozicioniranje. GNSS (eng. *Global Navigation Satellite System*) izmjera može pružiti visoku točnost i preciznost lokacije, ovisi o vrsti GNSS sustava, broju vidljivih satelita, kvaliteti signala itd. Koriste se različite tehnike kao što su apsolutno pozicioniranje, diferencijalni GPS, relativno pozicioniranje i precizno pozicioniranje točke (Ivković i dr., 2013).

GNSS metoda poslužila je prilikom izmjere crkve sv. Roka za određivanje koordinata poligonskih točaka koja su poslužila za daljnja mjerenja. Korišten je Trimble GPS uređaj. Prilikom opažanja točaka primijenjena je RTK metoda (eng. *Real Time Kinematic*), koja podrazumijeva relativno opažanje, kinematičko korištenje prijammika i obradu podataka u realnom vremenu. RTK je najproduktivnija tehnika GNSS metode jer može odrediti velik broj točaka u kratkom periodu. Za to je potreban prijam signala sa minimalno četiri vidljiva satelita, jer u suprotnom bila bi potrebna nova inicijalizacija. Razvojem mreže permanentnih stanica, prepoznaje se napredak u RTK sustavima. Ovi sustavi odlikuju tehnikama koje omogućuju određivanje ambiguiteta u pokretu, poznatiji kao „On The Fly“ (OTF). Ranije je postajalo ograničenje da se prijammik u pokretu ne smije udaljiti više od 20 kilometara od referentnog prijammika. Međutim, ovaj problem je svladan upotrebom mreže permanentnih stanica koje omogućuju korištenje RTK tehnika na udaljenostima između pokretnih i referentnih stanica do 70 kilometara (Ivković i dr., 2013).

Od 2013. godine uspostavljen je u Hrvatskoj sustav CROPOS (Hrvatski pozicijski sustav). Ovaj sustav čine 33 referentne GNSS stanice na međusobnoj udaljenosti od 70 kilometara raspoređenih tako da prekrivaju cijelo područje Republike Hrvatske u svrhu prikupljanja podataka satelitskih mjerenja i računanja korekcijskih parametara. Dostupni servisi su: diferencijalni servis pozicioniranja u realnom vremenu-točnost ispod 1 metra, visoko

precizni servis pozicioniranja u realnom vremenu-centimetarska točnost i geodetski precizni servis pozicioniranja-subcentimetarska točnost (Ivković i dr., 2013).

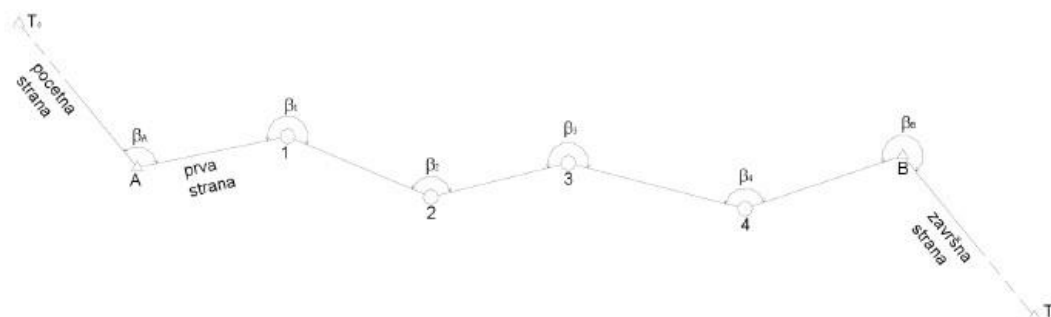
3.2. Poligonometrija

Između triangulacijskih ili GPS točaka postavlja se niz točaka na međusobnom razmaku od 100 do 300 metara koje su međusobno povezane, a također su povezane triangulacijskim točkama mjerenjem kutova i dužina (Slika 3.1).

Poligonometrija kao geodetska osnova služi za:

- detaljnu izmjeru zemljišta
- iskolčenje građevine
- izmjeru i iskolčenje podzemnih objekata.

A je početna točka vlaka, dok je B završna točka vlaka. Obje točke su poznate po koordinatama, dok su točke 1...4 poligonske točke. Vezni kutovi se mjere na poznatim točkama i povezuju poznato sa nepoznatim (Triangulacijsku stranu i prvu poligonsku stranu). Prijelomni kutovi se mjere na poligonskim točkama (Džapo, 2008).



Slika 3.1. Shema poligonskog vlaka (Džapo, 2008)

Poligonsku mrežu sadržaja više poligonskih vlakova. Do izražaja poligonska mreža u nepreglednim i gradskim terenima. Predstavlja najučinkovitiju metodu kod postavljanja geodetske osnove.

Poligonski vlak čini niz stabiliziranih točaka na terenu sa svojim označenim centrom, povezanih mjerenim kutovima i duljinama. Omogućava proširenje mreže točkama radi izmjere pojedinih detalja s ciljem nekog projekta. Za izjednačavanje poligonskih vlakova koriste se stroge i približne metode izjednačenja.


Vrste poligonskih vlakova podijeljene su na:

- umetnuti poligonski vlak (položen između dvije triangulacijske točke)
- zatvoreni poligonski vlak (počinje i završava na istoj točki)
- slijepi poligonski vlak (počinje na poznatoj, a završava na nepoznatoj točki).

Nesigurnost koordinata poligonskih točaka ovisi o točnosti mjerenih kutova i duljina-to ovisi o metodi mjerenja, instrumentu, vanjskim uvjetima itd., točnosti danih veličina (priključnih točaka), broju prekobrojnih mjerenja i geometrijskom obliku vlaka. Za detaljnu izmjeru

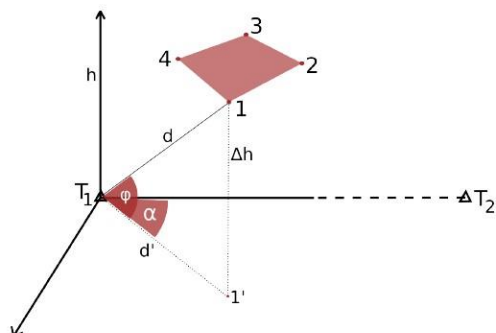
crkve Sv. Roko postavljena su tri zatvorena poligonska vlaka i korištena je totalna stanica Topcon Cygnus KS-102 čije su tehničke karakteristike dane u tablici 1 (URL 1).

Tablica 1. Tehničke karakteristike totalne stanice Topcon Cygnus KS-102 (URL 1)

Durbin	Povećanje: 30x	
	Moć razlučivanja: 3.0"	
	Minimalna udaljenost izoštravanja: 1.3 m	
	Vidno polje: 1°30'	
	Slika: uspravna	
Mjerenje udaljenosti	1 prizma: 2 km	
	Bez prizme: 200 m	
	Preciznost : 2mm + 2 ppm (prizma) 3mm + 2 ppm (bez prizme)	
	Vrijeme mjerenja: 1.1 s	
Mjerenje kuta	Preciznost: 2"	
	Područje kompezatora: ± 3'	
	Rezolucija prikaza: 1"/5"	
Težina	4.9 kg	
Baterija BT-77Q	Voltaža: 7.4 V	
	Vrijeme rada (20 °C): ≈ 23 h	

3.3. Polarna metoda

Polarna metoda izmjere je tzv. tahimetrija. Polarnom se metodom mjere relativne polarne koordinate pojedinih točaka detalja obzirom na neke točke (poligonske točke ili GPS točke) i neke početne smjerove s tih točaka (poligonske stranice). Tako će prostorne koordinate detaljne točke 1 (Slika 3.2) s obzirom na točku T_1 i smjer od nje prema točki T_2 biti horizontalni kut α , vertikalni kut φ i kosa dužina d . Dužina d mjeri se kod polarnog detalja indirektno, pomoću elektronskog daljinomjera (totalna stanica) (Džapo, 2008).



Slika 3.2. Shema polarne metode (Džapo, 2008)

Polarnom metodom mjerenjem detaljnih točaka dobiva se horizontalni i vertikalni prikaz, sve potrebne veličine (α , φ , r – visina signala) mjerimo totalnom stanicom i prizmom (signal). Preko trigonometrijskog odnosa se izračunaju sve veličine dobivene totalnom stanicom (ΔE , ΔN , ΔH), dok koristeći današnje totalne stanice one automatski dobivaju konačne koordinate detalja. Također, danas postoje robotizirane totalne stanice koje imaju automatsko prepoznavanje cilja, automatsko viziranje i praćenje.

Za izmjeru detaljnih točaka i markica (Slika 3.3) nalijepljenih oko crkve korištena je totalna stanica Topcon Cygnus KS-102 čije su karakteristike navedene u prethodnom poglavlju.



Slika 3.3. Prikaz markice M 39

3.4. LiDAR

LiDAR (eng. *Light Detection and Ranging*) potpuno je automatiziran, aktivan, optičko-mehanički postupak prikupljanja prostornih podataka dostupnih skeniranjem. Zbog

najboljeg pristupa većim površinama terena skeniranju i mogućnosti velike pokretljivosti skenera, najčešće se skeniranje vrši korištenjem aviona kao platforme koja nosi skener. Ograničena područja, osobito strmih površina terena, izrada detaljnih modela zgrada i pojedinačnih skulptura i ostalih predmeta pogodniji su za skeniranje s nepomičnih stajališta (Gajski, 2007).

Tehnologija prostornog laserskog skeniranja dijeli na:

- lasersko skeniranje iz zraka (eng. *Airborne Laser Scanning -ALS*)
- lasersko skeniranje sa zemlje (eng. *Terrestrial Laser Scanning -TLS*).

LiDAR senzor za mjerenje udaljenosti do građevine od interesa koristi laser. Laser (eng. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) je uređaj za stvaranje i pojačavanje svjetlosti stimuliranom emisijom zračenja. Da bi se naglasila primjena lasera, u početku je postojala ideja da se ova tehnologija nazove LADAR (eng. *Laser Detection and Ranging*) (Wehr i Lohr, 1999).

LiDAR senzor za prikupljanje podataka koristi blisko-infracrveni dio elektromagnetskog spektra, odnosno emitira svjetlost na valnoj duljini od 1064 nm (Miler i dr., 2007).

Tehnologija LiDAR postaje sve popularnija, koristi se u ekologiji, šumarstvu, geomorfologiji, seizmologiji, istraživanju okoliša i daljinskom istraživanju jer ima sposobnost stvaranja trodimenzionalne točke visoke prostorne razlučivosti i točnosti. LiDAR sustavi u kombinaciji s preciznim pozicioniranjem i orijentacijskim sustavom mogu dobiti precizna 3D mjerenja u obliku oblaka točaka s vrlo gustim uzorkom. LiDAR oblak točaka filtriranje i interpolacija podataka je polje istraživanja zadnjih godina, te je ovaj proces uvedeno tisuće metoda. Podaci se prikazuju u LASer (LAS) formatu, koji je format datoteke za razmjenu podataka 3D točaka (x,y,z) koje je odobrilo Američko društvo za fotogrametriju i daljinska istraživanja (Jawak i dr., 2013).

LiDAR tehnologija se sve više koristi u geodeziji. Glavni razlog za primjenu je prikupljanje velikog broja podataka u kratkom vremenskom periodu, što rezultira detaljnom izmjerom terena ili građevine i kvalitetnim spoznajama o prostoru.

3.5. Terestričko lasersko skeniranje

Terestričko lasersko skeniranje (TLS) (eng. *Terrestrial Laser Scanning*) je tehnologija koja se pojavila krajem devedesetih godina prošlog stoljeća. Napredak tehnologije mijenja i geodetsku mjernu opremu, pojavljuju se novi geodetski instrumenti, a s time i nova područja struke. U današnje vrijeme da bi se riješio veliki broj praktičnih problema u mnogim granama ljudske djelatnosti potrebno je mjerenjem te modeliranjem dobivenih podataka približiti se što više „stvarnom svijetu“. Razvoj tehnologije omogućio je 3D izmjeru građevine, velikim brojem točaka te obradu tih mjerenja.

Za izvršavanje ovakvih tipova zadataka potrebno je sakupiti veliku količinu podataka u kratkom vremenskom periodu, čiji je rezultat jako gust točkasti prikaz mjerene građevine. Uobičajene geodetske metode izmjere, totalna stanica ili GPS mjerenja nisu najpogodnije za navedeni zadatak, jer se baziraju na pojedine točke izmjere. Koristeći tehniku terestričkog laserskog skeniranja imamo direktno 3D mjerenje građevine sa visokom točnošću. Duljina odnosno udaljenost od terestričkog laserskog skenera do točke na površini građevine dobiva

se mjerenjem vremena potrebnim od odašiljanja laserskog signala do njegovog povratka od građevine mjerenja (time-of-flight metoda). Građevina je skenirana u horizontalnom i vertikalnom smjeru, sa tisućama točaka u sekundi ovisno o udaljenosti građevine i rezoluciji skeniranja.

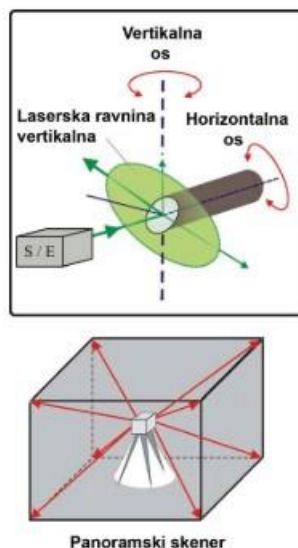
Većina skenera dostupnih danas može mjeriti udaljenosti od par stotina metara do građevine, sa točnošću pojedine točke od 1.4 - 15 mm na udaljenosti od 50 m. Potrebno je više stajališta kako bi se objedinila geometrija cijele građevine, koji je u većini slučajeva velik, kompleksan ili nepravilan. Podaci skenirani sa više stajališta moraju biti visoke točnosti kako bi se dobio oblak točaka cijele građevine prilikom povezivanja. Oblak točaka skenirane građevine kasnije može biti 3D modeliran kako bi se razvio 3D digitalni model građevine, koji se kasnije može primijeniti u razne svrhe.

Laserskim skeniranjem otvara se mogućnost prikupljanja velike količine 3D podataka o građevini. Skup točaka u 3D koordinatnom sustavu naziva se oblak točaka (eng. *point cloud*). Za neke od primjena bit će dostatno koristiti se podacima u njihovom izvornom obliku, bez ili s minimalnom naknadnom obradom. Iz izmjerenog oblaka točaka moguće je gotovo trenutačno obavljati mjerenja s pomoću računala bez fizičkog pristupa konkretnoj građevini (Matijević i Roić, 2002).

Kako ova tehnologija postaje sve pristupačnija, prednosti ovakvog načina prikupljanja podataka uvidjeli su i geodetski stručnjaci koji na 3D lasersko skeniranje počinju gledati kao alat za proširenje poslovnih mogućnosti (Miler i dr., 2007).

3.5.1. Podjela skenera po načinu skeniranja

Postoje tri osnovna tipa terestričkih laserskih skenera ovisno o prozoru skeniranja (eng. *Field of View – FOV*): skeneri kamere, hibridni i panoramski skeneri (Slika 3.4).




Slika 3.4. Prikaz rada panoramskog skenera (Miler i dr., 2007)

Kod panoramskih skenera FOV je limitiran bazom instrumenta, što znači da skenira sve oko sebe, osim područja ispod postolja na kojem se nalazi u trenutku skeniranja. Mjerenje se izvodi rotacijom jednog ogledala koje usmjerava lasersku zraku u vertikalnom kutu od

otprilike 310° i rotacijom cijelog postolja instrumenta za 360° oko vertikalne osi. Na taj se način dobiva sken od 310° x 360°. Prednost ovog tipa skenera je u njihovoj brzini prikupljanja podataka i veličini područja skeniranja. Nedostatak je kratki domet i uporaba im je u većini slučajeva ograničena na interijere objekata (Miler i dr., 2007).

Terestrički laserski skener koji je korišten u izradi diplomskog rada pripada skupini panoramskih laserskih skenera. Osnovne tehničke specifikacije terestričkog laserskog skenera Faro Photon 120 prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Tehničke karakteristike terestričkog laserskog skenera Faro Photon 120 (URL 2)

Dimenzije	410 mm x 160 mm x 280 mm	
Težina	14.5 kg	
Vertikalno vidno polje	320°	
Horizontalno vidno polje	360°	
Vertikalni pomak laserske zrake	0.009°	
Horizontalni pomak laserske zrake	0.009°	
Maksimalna brzina mjerenja	976.000 točaka u sekundi	
Valna duljina laserske zrake	785 nm	
Način mjerenja udaljenosti	fazni	
Domet – min/max	0.6 – 120 m	
Pogreška mjerenja	2 mm	
Digitalna kamera	vanjska	

3.5.2. Primjena terestričkog laserskog skeniranja

Mogućnosti primjene velike količine točnih podataka prikupljenih terestričkim laserskim skenerima već su i sada veoma velike, a stalno povećavanje procesne snage modernih računala praktički svakodnevno otvara i nove.

Mnoštvo točnih 3D prostornih podataka prikupljenih u, slobodno možemo reći, jednom trenutku postojanja nekog objekta (građevine) konkurenti su fotografiji. Razlika između njih je dakako za cijelu jednu dimenziju u korist prvih. Njihovom naknadnom obradom moguće je izvoditi uopćene modele s obzirom na konkretne potrebe, a izvorni podaci mjerenja ostaju kao bogat i brzo dostupan izvor informacija o promatranoj građevini ili cijelom sustavu (Matijević i Roić, 2002).

Primijeniti se mogu prilikom praćenja deformacija građevina. Lasersko skeniranje možemo smatrati naprednijim u odnosu na klasične geodetske metode jer one mogu pratiti deformaciju na samo određenom broju točaka, za razliku od laserskog skenera koji može pratiti deformaciju čitave površine (brane, mostovi i sl.). Prilikom evidencije i prikupljanja tehničke dokumentacije o kulturnoj baštini mogu se koristiti laserski skeneri. Metode bez dodirne izmjere najzahvalnija je prilikom restauracijskih i konzervatorskih izmjera. Prilikom izmjere laser ne može oštetiti građevinu. Koristi se u rudnicima gdje 3D oblak točaka, omogućava između ostalog geolozima točan prikaz područja, modeliranje i ispitivanje geološke strukture. Iz oblaka točaka izradi se model. Također se upotrebljava prilikom

topografskih i industrijskih izmjera, te u 3D pogonskom katastru gdje zahtjeva prikupljanje velike količine 3D podataka.

3.5.3. Prednosti terestričkog laserskog skeniranja

Medak i dr. (2007) navode kako za mjerenje pomoću laserskog skenera nije potrebna detaljna skica izmjere jer iz oblaka točaka možemo dobiti više nego dovoljno informacija za izradu plana situacije. Kao što klasični bez dodirni laserski instrument štedi vrijeme na hodanje od točke do točke, tako i laserski 3D skener ima istu korisnost samo to radi puno brže, sa mnogo više detalja (vrlo gusta mreža točaka koje su vidljive u dometu mjerenja) i puno više automatizma. Nadalje, autori navode kako je povećana i sigurnost jer je trodimenzionalno lasersko skeniranje prikladno za mjerenje situacije kada je građevina teško pristupačna za postavljanje geodetskih mjernih oznaka. Naravno, skener skenira i točke koje inače, klasičnom metodom, ne bi izmjerili, a možda baš neki od tih podataka je krucijalan za investitora, a niste to niti znali. Povećanjem količine podataka povećavate kvalitetu svog posla, a da niste niti mislili o tome prilikom mjerenja. Jedna od glavnih prednosti ovog načina mjerenja je u tome što se iz izmjerenih podataka i u uredu mogu obavljati radnje koje bi inače radili na terenu. Ovaj način izmjere se može nazvati "virtualna izmjera", jer se uz pomoć specijaliziranih softvera "hoda" kroz oblake točaka i crtaju detalji koji su interesa geodetima i projektantima. Rezultate takve virtualne izmjere moguće je prebaciti u neku poznatu radnu okolinu kao što su CAD alati i nastaviti s obradom.

3.5.4. Nedostatci terestričkog laserskog skeniranja

Pogreške kod terestričkih laserskih skenera se mogu podijeliti na: instrumentalne pogreške, pogreške vezane uz građevinu mjerenja, pogreške zbog atmosferskih uvjeta. Zbog velikog automatizma terestričkih laserskih skenera ljudske pogreške su minimalne na terenu, ali zato mogu biti velike tijekom obrađivanja podataka. Zbog velike količine podataka potrebni su serveri sa ogromnim kapacitetom kako bi se mogli sačuvati podaci. Potrebno je osigurati da računala i softveri budu adekvatni kako bi se postigla maksimalna efikasnost i brzina obrade podataka, što može rezultirati visokim troškovima.

3.6. Mobilno lasersko skeniranje

Primjena laserskog skeniranja sve je veća od početka ovog stoljeća, kada su se laserski skeneri počeli ugrađivati u mobilne sustave mapiranja (eng. *Mobile mapping system - MMS*). Moderni MMS je zemaljski sustav mapiranja s više senzora koji je integriran sa različitim navigacijskim sensorima i sensorima za prikupljanje podataka na nekoj platformi za daljinsko određivanje lokacije, dimenzija i drugih karakterističnih informacija građevine.

Ključne prednosti MMS-a su:

- skraćeno vrijeme i troškovi terenskih istraživanja
- prostorne informacije
- podaci se mogu arhivirati i ponovno pregledati što omogućuje dodatno prikupljanje podataka bez dodatnih terenskih izmjera

Općenito govoreći, mobilni sustav mapiranja može se opisati kao kinematički sustav izmjere koji se koristi za praćenje pokreta i prikupljanje podataka u realnom vremenu, bez obzira

koju platformu koristi. Navigacijski sustav uključuje GNSS prijarnike s odgovarajućim antenama za pozicioniranje, inercijalna mjerna jedinica - IMU za određivanje položaja platforme i senzora te visokofrekventno pozicioniranje.

Mobilno lasersko skeniranje je potkategorija MMS-a, brza i efikasna metoda za prikupljanje trodimenzionalnih podataka. Mobilno lasersko skeniranje sustav temelji na LiDAR sensorima koji skeniranjem proizvode trodimenzionalne oblake točaka iz okolnih građevina (Kukko, 2013).

Mobilni skener temelji se na mogućnosti identifikaciji lokacije i orijentacije mobilnog uređaja. Ova faza je ključna jer inače ne bi postojao način da se slike kamere integriraju u zajednički koordinatni sustav. Gustoća skeniranja ovisi o kameri i brzini kojom korisnik pomiče uređaj (Slossberg i dr., 2015).

Mobilni sustavi skeniranja sve se češće koriste u industriji, građevinarstvu i umjetnim inteligentnim aplikacijama. Točnije, autonomno skeniranje ima bitnu ulogu u području automatskog stvaranja 3D modela (Adan i dr., 2019).

3.6.1. Pregled dosadašnjih istraživanja mobilnog skeniranja

Hämmerle i dr. (2014) usporedili su Microsoft Kinect i terestrički skener nad špiljom. Rezultati eksperimenta pokazali su kako Kinect pogodan za ravne zidove, ali postoje razlike s mjerenjima skenera na zakrivljenim površinama. Lachat i dr. (2015) identificirali su 5 glavnih faktora koji utječu na točnost skeniranja: dubina, pregrijanost senzora, boja mete, utjecaj sunčeve svjetlosti i udaljenost između senzora i mete.

Tijekom posljednjih nekoliko godina došlo je do povećanja mobilnih aplikacija za mobilno mapiranje koje uključuju i Apple-ov LiDAR senzor za prikupljanje 3D podataka. 2020. godine Apple izdao je prvi telefon s inovativnim ugrađenim LiDAR sensorima dubine i sučeljem za programiranje aplikacija poboljšane proširene stvarnosti. LiDAR vrši mjerenja laserskih impulsa vremenom leta ili faznog pomaka kako bi odredio udaljenosti do građevine. Kao rezultat toga, LiDAR senzori mogu se koristiti za generiranje dubinske slike građevine (Heinrichs i dr., 2021).

To je uvelo relativno jeftinog konkurenta, trenutnim hardverskim rješenjima za rad na zalihama koji zahtijevaju samo umjerenu točnost. Apple nije imao varijantu skeniranje u smislu TLS uređaja, ali da je u mogućnosti stvoriti obojeni oblak točaka. Uređaj kombinira podatke o položaju s vremenom i odnos na udaljenost površine građevine kako bi se mogao izgraditi 3D model. Sve ove prednosti dovele su do toga da su iPad Pros i iPhone s ugrađenim LiDAR-om testirani na popisivanju različitih vrsta objekata, uključujući prirodne šume (Gollob i dr., 2021, Mokroš i dr., 2021), litice (Luetzenburg i dr., 2021) i stjenovite padine (Riquelme i dr., 2021).

Appleovi uređaji s podrškom za LiDAR pronašli su aplikacije u mnogim znanstvenim radovima gdje je potrebna točnost dobivenog točkastog oblaka od 10 cm i gdje su troškovi i jednostavnost nabave 3D modela građevine primarni argumenti u odabiru mjernog uređaja. Istraživači su nastavili s još dubljim testiranjem. Usporedbom funkcija LiDAR i TrueDepth na iPadu Pro s industrijskim rješenjem za skeniranje Artec Space Spider 3D na malim građevinama, koje zahtijevaju visoku preciznost mjerenja, učinak boje, oblika i položaja (Vogt i dr., 2021).

Iako su autori zaključili da bi općenito industrijski skener i dalje trebao biti preferirano rješenje za mjerenje malih objekata, naglasili su da iPad Pro ima prednost što je široko dostupan. Autori su također naglasili da, iako su skenirane građevine dobivene iPadom Pro imale veća standardna odstupanja od onih koje je skenirao Artec Space Spider, iPad Pro ponudio je mogućnost skeniranja s upotrebljivom točnošću po znatno nižoj cijeni.

Zaczek-Peplinska J. i Kowalska M. (2022) provele su istraživanja i raspravu o dobivenim rezultatima ukazuju na veliki potencijal Apple iPhonea 13 Pro s ugrađenom funkcijom LiDAR za upisivanje zgrada. Međutim, potrebno je naglasiti važnost korištenja odgovarajuće metodologije mjerenja (prikupljanje prostornih podataka) i o tehnološkim ograničenjima. Autori žele naglasiti da skeniranje koje se obavlja pametnim telefonom neće zamijeniti precizna rješenja temeljena na terestričkom laserskom skeniranju ili klasičnom mjerenju. To je uglavnom zbog činjenice da je točnost postignuta s iPhoneom 13 Pro pouzdana do jednog centimetra, pa se ova vrsta uređaja može koristiti za rad ograničene točnosti, kao što su koncepti vizualizacije ili rekonstrukcije građevine, a ne precizni radovi. Cijena skeniranja iPhone-om dovoljno je niska da zasigurno pozitivno utječe na popularnost korištenja točkastih oblaka i njihovih derivativnih proizvoda u građevinarstvu i drugim poljima.

3.7. Apple iPhone 13 Pro

U 2020. godini Apple Inc. izdao je prvi mobilni uređaj s inovativnim ugrađenim LiDAR sensorima dubine i poboljšanim sučeljem za programiranje aplikacija za proširenu stvarnost. LiDAR mjeri vrijeme leta ili fazni pomak laserskih impulsa za određivanje udaljenosti do građevine (Zaczek-Peplinska J. i Kowalska M., 2022).

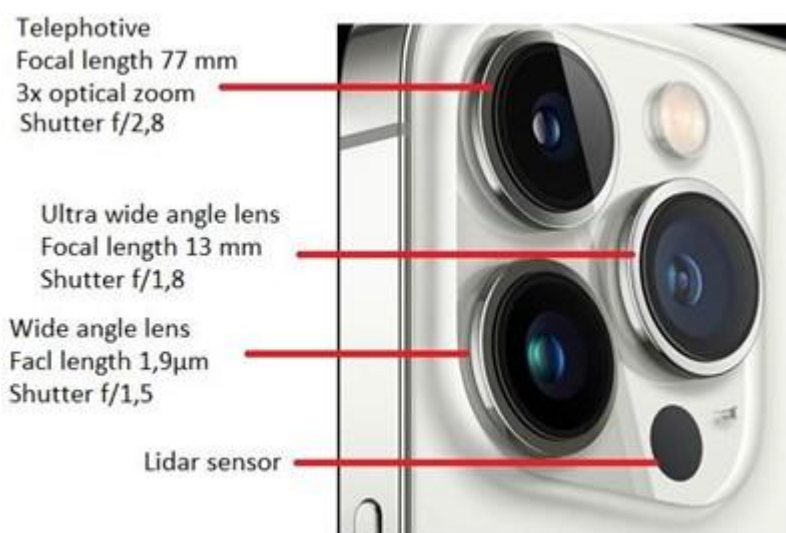
Laserski skeneri, kao što je Apple iPad LiDAR, stekli su sve veću popularnost među potrošačima. Ovi mobilni ili ručni uređaji obično integriraju više senzora kako bi poboljšali svoje mogućnosti 3D skeniranja. Iako laserski skeneri potrošačke klase možda ne odgovaraju točnosti profesionalnih skenera anketnog stupnja, oni nude prednost izravnog i učinkovitog mjerenja 3D geometrijskih informacija (Haenel i dr., 2022).

Neke od važnijih specifikacija prikazane su u tablici 3 (URL 3) i na slici 3.5 prikazan je izgled stražnje kamere sa svojim vrijednostima.

Tablica 3. Osnovne specifikacije iPhone 13 Pro

Zaslon	6.1“, OLED, 2532 x 1170px, Super Retina XDR s tehnologijom ProMotion
Kapacitet[GB]	128/256/512/1024
Kamera	12 Mpx, telefoto, širokokutna i ultraširokokutna
Model procesora	A15 Bionic
Broj jezgri	Šestojezgreni
Operacijski sustav	iOS
Verzija sustava	iOS 15

Funkcije kamere	Portretni mod s naprednim bokehom i kontrolom dubine, geografsko označavanje fotografije, HDR videozapis u Dolby Vision do 4K, optička stabilizacija slike, panorama (do 63 mpx), napredna korekcija crvenih očiju, LiDAR, noćni mod, portretni mod, videosnimanje s kontinuiranim autofokusom
Veličina i težina	
Širina [mm]	71.5
Visina [mm]	146.7
Debljina [mm]	7.65
Težina [g]	203



Slika 3.5. Prikaz i specifikacije stražnje kamere iPhone 13 (Zaczek-Peplinska J. i Kowalska M., 2022)

Whitney L. (2024) u svom članku iznosi neke zanimljivosti oko korištenja LiDAR-a na iPhone. Naglašava kako skeniranje iPhone-ovim uređajem može biti izazovno, posebno u situacijama slabog osvjetljenja. U tim uvjetima LiDAR otkriva udaljenost vašeg subjekta, što omogućava kameri brže uključivanje automatskog fokusiranja. Ukoliko nemate mjernu traku ili ravnalo. Od sada možete koristiti virtualnu mjeru. Da bi ste izmjerili udaljenost dviju točaka, postavite telefon tako da na zaslonu vidite početnu točku. Stisnete ikonu plus i pomičete telefon po području kojeg želite izmjeriti, te zatim ponovno stisnete ikonu plus. Udaljenost se pojavi na zaslonu. Moguće je skenirati cijelu prostoriju i čak virtualno smjestiti naprimjer neki dio namještaja, kako bi vidjeli paše li Vam to u prostoru. Kreiran je Seeing AI dizajniran za slijepe ili slabovidne osobe, koristi kameru kako bi mogao opisivati i analizirati obližnje ljude i građevine (URL 4). Ono najbitnije za ovaj diplomski rad je mogućnost skeniranja 3D modela.

Lasersko skeniranje pomoću iPhone 13 Pro može se implementirati koristeći različite aplikacije: 3D Scanner App, Polycam, SiteScape, LiDAR Scanner 3D, Heges, LiDAR Camera, 3Dim Capture, Forge.

Aplikacija 3D Scanner App koristila se prilikom izmjere crkve u ovom diplomskom radu. 3D Scanner App može obrađivati fotografije i videozapise u stvarnom vremenu kako bi stvorila 3D modele, uključujući visoku rezoluciju i teksturu. Podržava različite formate za izvoz podataka: XYZ color, PLY, PTS, LAS, LAS Geo-Referenced, E57, PCD. Brzina skeniranja utječe na kvalitetu krajnjeg proizvoda. Što se sporije skenira dobije se bolji i kvalitetniji prikaz. Kada je skeniranje dovršeno, tekstura se kreira sama kod malih objekata, što nije moguće kod većih objekata. U aplikaciji postoje dvije mogućnosti postavljanja razlučivosti: način niske i način visoke razlučivosti. Način niske razlučivosti najjednostavniji je način skeniranja i ima manje mogućnosti i preporuča se za mjerenje velikih površina kao što je kuća. Način visoke razlučivosti prikladniji je za manje predmete (Zaczek-Peplinska J. i Kowalska M. 2022).

Opcije visoke rezolucije:

- Pouzdanost – senzor može odabrati podatke najbolje kvalitete, ali na takav način smanjuje količinu dostupnih podataka;
- Maksimalni domet – odbacuje LiDAR podatke koji su izvan određene udaljenosti. Zbog ograničavajućeg raspona smanjuje se veličina skeniranja i povećava točnost;
- Razlučivost – 5 milimetara do 20 milimetara. Niže vrijednosti (5 mm) znače veću razlučivost, ali i ograničenu veličinu skeniranja. Preporuka je od 10-15 mm;
- Maskiranje – nitko, građevina ili osoba, na temelju prikaza građevine, ova značajka maskira LiDAR podatke.

4. IZMJERA CRKVE SV. ROKA

Glavni zadatak ovog diplomskog rada je izrada trodimenzionalnog modela crkve sv. Roka. Terenska mjerenja obavljena su u razdoblju od 9. lipnja 2014. do 13. lipnja 2014. godine. Ekipu za terenska mjerenja činili su dr. sc. Baldo Stančić, dr. sc. Hrvoje Tomić, dipl. ing. Goran Jurakić, dipl. ing. Saša Vranić, Vinko Ružević i Margarita Pedišić. Terenska mjerenja su uključivala rekognosciranje terena, uspostavu točaka lokalne geodetske osnove u blizini i oko crkve, stabilizaciju točaka te detaljnu izmjeru vanjskog i unutarnjeg dijela crkve. Korištena su dva GPS uređaja za uspostavu geodetske osnove, te totalna stanica Topcon Cygnus KS-102 i terestrički laserski skener Faro Photon 120 za detaljnu izmjeru crkve. Naknadna mjerenja obavljena su 24. veljače 2023. godine radi LiDAR analize. Terenska mjerenja obavili su prof. dr. sc. Miodrag Roić i Vinko Stančić. Mjerenja su obavljena u dva navrata u 10 i 15 sati zbog usporedbe podataka koristeći iPhone 13 Pro koji sadrži LiDAR. Korišten je selfie štap kako bi se obuhvatili što viši dijelovi crkve. Oboje iz tima su mjerili po jednom u svakom navratu i to istočni, južni i zapadni dio crkve. Sjeverni dio nije skeniran jer nije moguć pristup do njega.

4.1. Geodetska osnova

Geodetsku osnovu predstavljaju sve trajno stabilizirane geodetske točke s poznatim koordinatama ili drugim veličinama, na određenom dijelu Zemljine površine, koje su potrebne za obavljanje određenog zadatka (Ivković i dr., 2013).

Izbor geodetske osnove, njena točnost, metoda mjerenja, organizacija radova itd. ovise o tome za koju se svrhu postavlja geodetska osnova, da li za potrebe izmjere terena zbog izrade geodetske podloge ili za iskolčenje projektirane građevine. U prvom slučaju geodetska osnova mora se prilagoditi građevini izmjere, tj. postojećem stanju na razmatranom prostoru. U drugom slučaju treba geodetsku osnovu prilagoditi projektiranoj građevini, pri čemu je neophodno raspolagati barem s idejnim projektom građevine ili regulacije da bi se moglo voditi računa o osnovnim elementima projekta – smještaju, orijentaciji i veličini. Koja će se vrsta geodetske osnove odabrati ovisit će o:

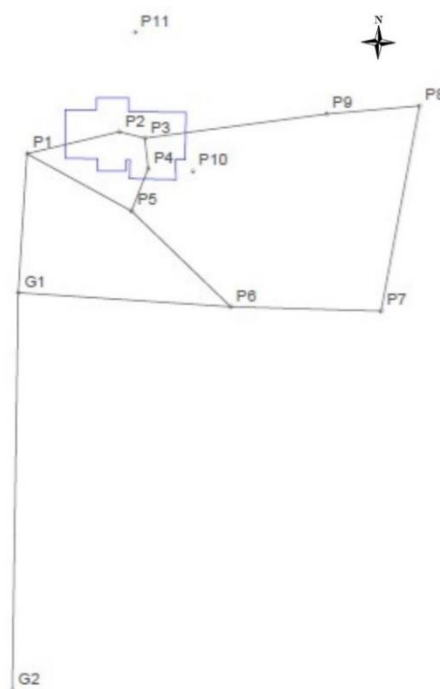
- građevini koju treba iskolčiti, njezin oblik i veličina
- terenskim prilikama i prostoru na kojem će se graditi, te organizaciji gradilišta
- točnosti koju treba postići pri smještaju građevine i ostvarenju njezinih dimenzija
- raspoloživom priboru, instrumentima i osoblju.

Geodetska osnova treba omogućiti organsku povezanost terena s projektiranom građevinom. Ona može biti samostalna ili priključena na nivelmansku mrežu. Samostalne mreže se postavljaju jer one mogu svojim oblikom i točnošću s kojom se mjere garantirati traženu visoku točnost (Kapović, 2006).

Rekognosciranjem terena određuju se mjesta na kojima će biti stabilizirane točke geodetske osnove. Odabrano je ukupno 11 točaka koje će činiti geodetsku osnovu koje će poslužiti kao stajališne i orijentacijske točke. Koordinate točaka geodetske osnove G1 i G2 određene su CROPOS visoko preciznim servisom pozicioniranja u realnom vremenu, kao sredina iz tri mjerenja. S obzirom na promjenu geometriju satelita mjerenja su obavljena u odgovarajućim vremenskim razmacima.

Na terenu su uspostavljena tri zatvorena poligonska vlaka (Slika 4.1):

- G1,P1,P2,P3,P4,P5,P6,G1;
- G1,P1,P2,P9,P8,P7,P6,G1;
- G1,P1,P5,P6,G1.



Slika 4.1. Poligonska mreža oko crkve

Tijekom postavljanja orijentacijskih točaka potrebno je pripaziti da su oznake uočljive, čak je uobičajeno obaviti odmjeranja od nekih stalnih objekata zbog kasnijeg lakšeg pronalaženja. Točka G2 je poslužila kao orijentacija za poligonske vlakove. G1 (Slika 4.2) i G2 se nalaze udaljenije od crkve zbog nemogućnosti dobitka kvalitetnog signala u blizini crkve, pošto se crkva nalazi u uskoj ulici okružena visokim kućama.



Slika 4.2. Stabilizacija točke G1

Koordinate točaka geodetske osnove koje su poslužile prilikom izmjere crkve sv. Roka prikazane su u tablici 4.

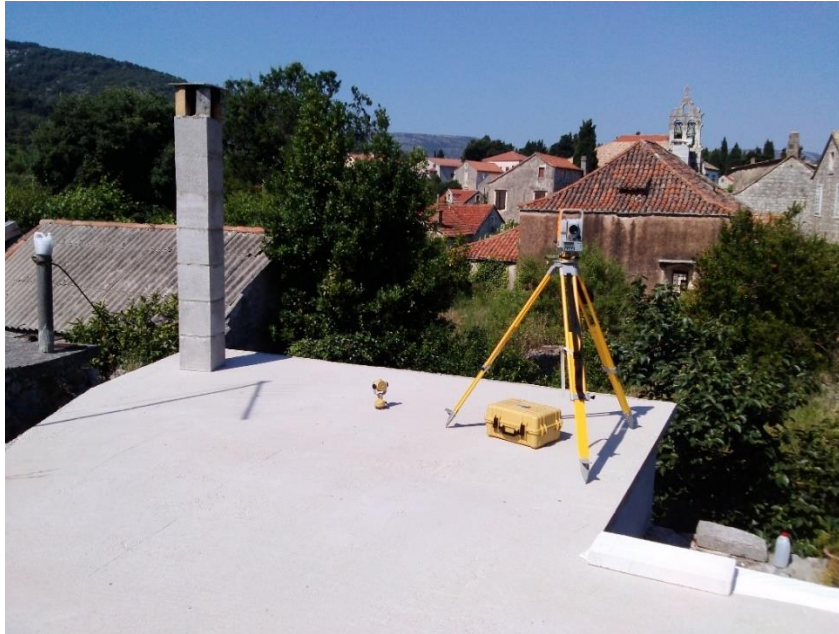
Tablica 4. Koordinate točaka korištene geodetske osnovu

Ime točke	N [m]	E [m]	H [m]
G1	507816.74	4782541.42	1.61
G2	507815.71	4782473.02	7.30
P1	507818.22	4782565.29	0.77
P2	507834.06	4782569.04	1.80
P4	507839.00	4782562.74	2.13
P5	507836.15	4782555.43	2.79
P9	507869.60	4782572.12	6.66
P10	507846.66	4782562.25	3.93
P11	507836.77	4782586.14	2.17

Mjerenja su obavljena u jednom girusu. Na terenu su obrađeni podaci mjerenja poligonskih točaka. Pomoću programa Microsoft Excel određene su sredine očitavanja polugirusa, dok su koordinate i visine poligonskih točaka dobivene geodetskim programom GeoMIR. Uz tri poligonska vlaka, sa stajališta P9 te orijentacijom na točku P2 girusnom metodom su određene koordinate stajališta P10 i P11 koje su poslužile za detaljniju izmjeru sjeverne i istočne strane crkve. Uspostavom geodetske osnove koja će poslužiti za daljnja mjerenja metodom tahimetrije, pristupilo se izmjeri orijentacijskih točaka (markera) postavljenih na fasadi i svih vidljivih detaljnih točaka crkve sv. Roka. Zbog povećane točnosti markice su opažane u oba položaja durbina. Detaljne točke crkve su opažane u jednom položaju durbina.

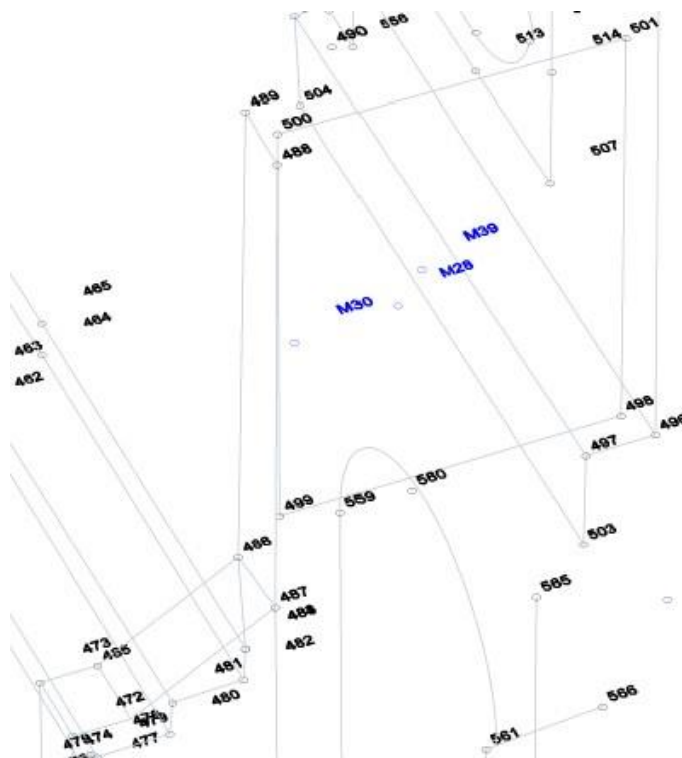
Pomoću ručnog daljinomjera Leica DISTOTMX310 izmjerene su dimenzije okvira prozora, vrata, stepenica, te su odmjerene pojedine dužine radi kasnije kontrole koja može poslužiti kao nadopuna polarnoj metodi.

Sa stajališta P1 opažani su markeri M 27, M 28, M 29, M 30, M 31, M 33, M 38 i detaljne točke od 400 do 572 čime je obuhvaćena izmjera pročelja crkve tj. zapadna strana. Južna strana crkve odnosno markeri M 36, M 39, M 40, M 44, M 45, M 46 i točke od 700 do 761 opažane sa stajališta P5. Krov crkve je opažan sa stajališta P9 i markeri na istočnoj strani M 47, M 48, M 49, M 50, M 51, M 52 (Slika 4.3). Sa dodatnog stajališta P10 su mjerene detaljne točke na istočnoj strani su numerirane od 762 do 808. Sjeverna strana je mjerena sa stajališta P11, ali se točke sa te strane nisu koristile u daljnjoj analizi zbog nemogućnosti usporedbe svih triju modela crkve.



Slika 4.3. Stajalište P9

Na slikama 4.4 i 4.5 je prikazano unutar AutoCAD-a dio markera i detaljnih točaka opažanih sa tog stajališta, te stajalište P1.



Slika 4.4. Dio točaka opažanih sa stajališta P1 prikazanih u AutoCAD-u



Slika 4.5. Stajalište P1

5. OBRADA PODATAKA

Kako je zadatak ovog diplomskog rada bila izrada modela crkve sv. Roka i usporedba triju metoda, potrebno je bilo koristiti više korisničkih programa kako bi se realizirao ovaj rad. Sastavni dio sačinjavali su programi za izradu trodimenzionalnog modela, također su spomenuti i neki drugi programi koji su pomogli u izradi rada. Koordinate markica i detaljnih točaka mjerenja dobivene su koristeći Microsoft Excel. Za obradu skenova terestričkog laserskog skenera Faro Photon 120 korišten je program FARO Scene, dok se za obradu podataka od mobilnog laserskog skenera koristio CloudCompare.

5.1. Obrada podataka prikupljenih terestričkim laserskim skenerom

Za obradu podataka korišteni su programi Microsoft Excel, FARO Scene i CloudCompare. Kao rezultat obrade, te za provedbu detaljne analize dobiven je georeferencirani oblak točaka vanjskog dijela crkve.

5.1.1. Računanje položaja markica i detaljnih točaka

Koristeći Microsoft Excel izračunate su koordinate markica i detaljnih točaka. Za početak su se izračunate aritmetičke sredine opažanih markica, iz kojih su dobivene razlike koordinata Δx , Δy , Δh korištenjem formula:

$$\Delta x = d' * \cos v,$$

$$\Delta y = d' * \sin v,$$

$$\Delta h = d * \cos V + i - l,$$

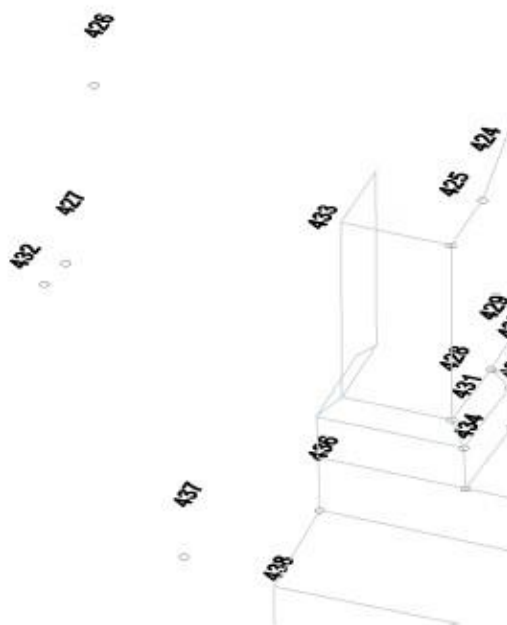
d' - horizontalna udaljenost, d - kosa udaljenost, v – smjerni kut, V – mjereni vertikalni kut, i – visina instrumenta i l – visina prizme.

Korišten je laser umjesto prizme prilikom viziranja markica i detaljnih točaka, zbog toga su sva mjerenja $l = 0$.

Položaj markica i detaljnih točaka crkve dobiveni su dodavanjem razlike koordinata (Δx , Δy i Δh) na poznate koordinate stajališta.

Položajne koordinate dobivene su u HTRS96/TM, dok su visine u HVRS71.

Laserom su opažane sve detaljne točke i markeri. Prilikom korištenja totalne stanice za ovu namjenu nekolicina točaka pogrešno je opažana što je dovelo do većeg odstupanja njihovih koordinata (Slika 5.1). Takve točke su se izuzele iz analize modela. To se događa prilikom viziranja rubnih dijelova građevine, gdje se zraka ne odbije od željenog dijela, nego prodre dalje. Uz to je moguće da uslijed nepažnje i neiskustva točka nije opažana nego neka druga točka. To je moguće i kod virtualne izmjere na oblaku točaka da se pogrešna točka opaža, ali za ispravljanje pogreške ne treba izlaziti ponovno na teren.



Slika 5.1. Prikaz dijela točaka korištenih u modelu i dijela krivo opažanih točaka

Detaljne točke 426, 427, 432, 437 izuzele su se iz daljnje analize modela. Za analizu nisu korišteni podaci sjeverne strane crkve zbog loše skice i nemogućnosti pristupanja na tom dijelu terena prilikom naknadnog terenskog mjerenja.

5.2. FARO Scene

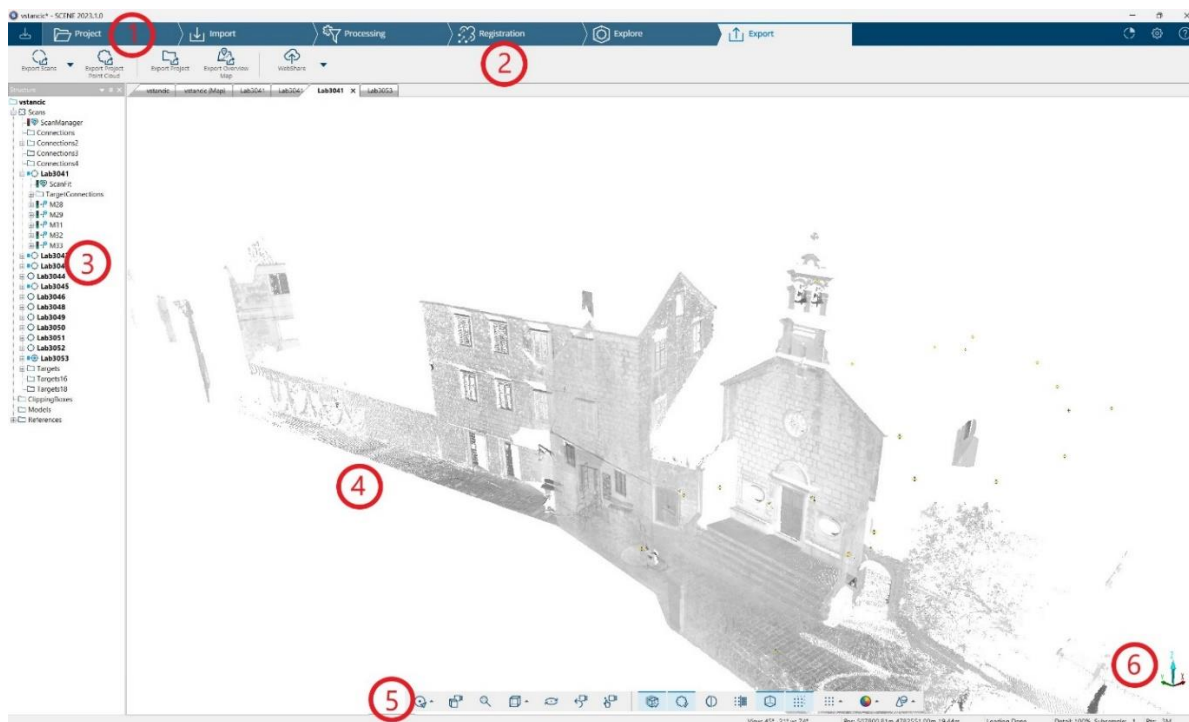
FARO Scene je softver za jednostavnu i učinkovitu obradu i upravljanjem podacima skeniranja. S jedne strane, oni mogu potjecati od FARO laserskog skenera Focus ili ručnog skenera FARO Freestyle. S druge strane, mogu se uvesti oblaci točaka, kao i geodetska mjerenja u drugim formatima. Softver Scene omogućuje registraciju podataka skeniranja, automatsko prepoznavanje objekata (npr. referentne sfere, mete) kao i automatsku ili ručnu registraciju skeniranja i pozicioniranje skenova.

Nakon uspješne registracije skeniranja, FARO Scene nudi i brojne funkcije za mjerenje podataka skeniranja kao što su 3D vizualizacija, meshing i razne mogućnosti izvoza za različite oblake točaka i CAD formate u kojima se može naknadno dodatno analizirati i obraditi podatke (URL 5).

Sastavni dio sučelja za korisnike čine (Slika 5.2):

1. Traka tijekom rada – niz alata za obradu skeniranih podataka
2. Alatna traka – služi za jednostavan i brz način pristupa značajkama
3. Strukturirani prozor – prikazuje kako je strukturiran prostor, uključuje sve mape i objekte u prikazu. Desnim klikom na pojedini sken otvara se dodatni izbornik koji ima svoje funkcije kao što su import/export, lociranje, postavke, 3D pogled, registracija

4. Preglednik - omogućuje vizualni prikaz podataka skeniranja i drugih objekata u različitim modovima, kao što su brzi pregled, detaljni planirani prikaz ili 3D prikaz
5. Alatna traka za 3D prikaz – pruža brz i jednostavan način za niz navigacije po pregledniku
6. Koordinatne osi – prikazuju smjer promatranja pomoću x, y i z koordinatnih osi.



Slika 5.2. Korisničko sučelje FARO Scene

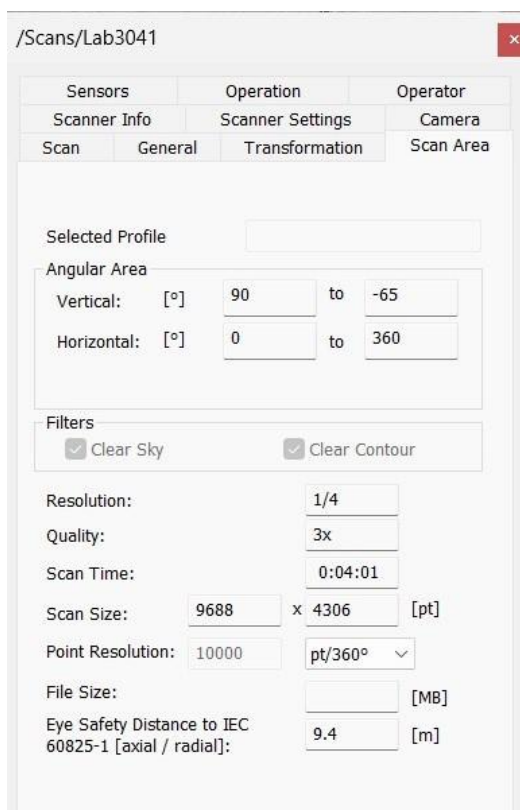
Korisničko sučelje programa FARO Scene je dobro organizirano. Omogućuje korisnicima pregledno i lako snalaženje korištenjem programa. Od uvoza podataka, procesiranja i registracije do izvoza podataka.

5.2.1. Povezivanje i georeferenciranje oblaka točaka terestričkog laserskog skenera

Programom FARO Scene napravljeno je povezivanje i georeferenciranje oblaka točaka modela. Polarnom metodom određen je položaj markica koje su korištene za georeferenciranje. Proces povezivanja skenova uključuje smještanje svakog skena u odnosu na ostale, što rezultira transformacijom svih skenova u zajednički koordinatni sustav. Povezivanje skenova je moguće identifikacijom podudaranih točaka i drugih oblika koji su vidljivi na barem dva skena.

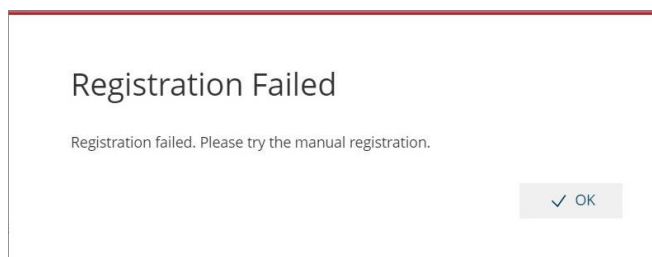
Prije početka same obrade, kreira se novi projekt u koji se učitavaju podaci prikupljeni na terenu. Učitani podaci se zatim moraju procesirati i filtrirati podatke kako bi se očistili od grubih pogrešaka skeniranja. Filtri analiziraju svaku pojedinačnu točku skeniranja u odnosu na okolne skenirane točke te filtriraju točke koje ne ispunjavaju zadane parametre.

Na svim skenovima kutno područje izmjere se kreće u vertikalnom smislu od 90° do -65° i u horizontalnom od 0° do 360° (Slika 5.3). Također su uz to navedene još neke informacije kao što su trajanje skeniranja, veličina skeniranja, kvaliteta i rezolucija.



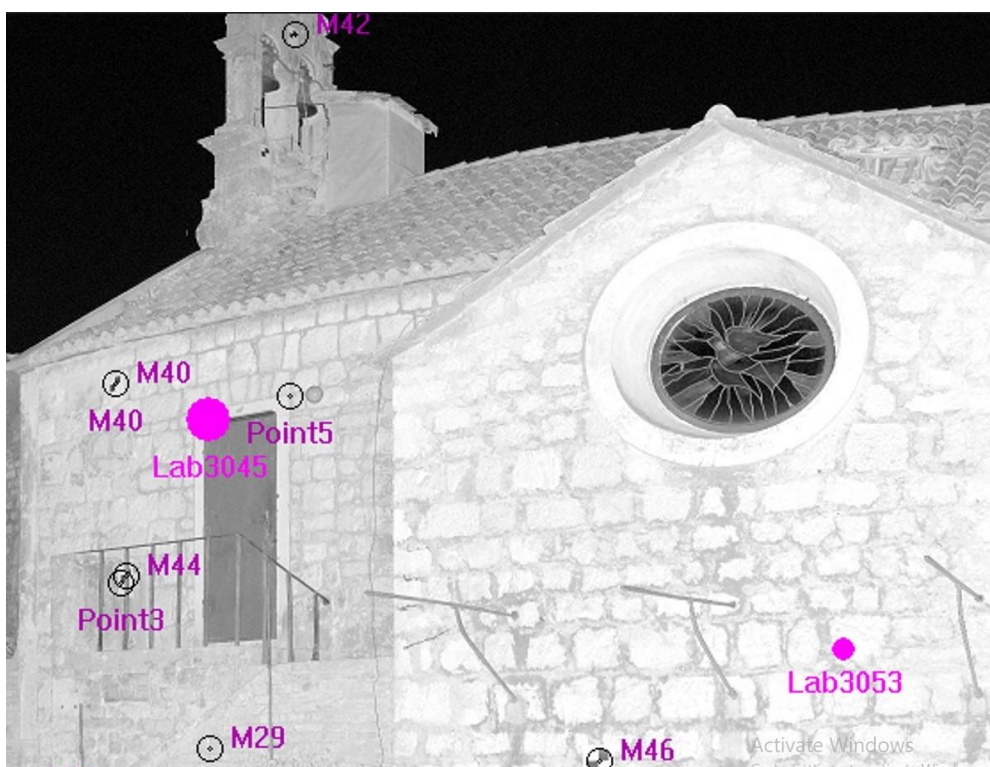
Slika 5.3. Parametri skenova

Nakon uspješnog procesiranja podataka, idući korak je bilo je razvrstati skenove po stranama crkve radi lakše orijentacije i snalaženja. Skenovi pod brojevima 3041, 3042 i 3043 pripadaju cluster_zapadni, pod cluster_južni 3044, 3045 i 3046, za 3048, 3049, 3050 i 3051 određen je cluster_istok i za cluster_sjever određeni su 3052 i 3053. Registracija podataka se provodi kako bi se skenovi spojili u jedan zajednički oblak točaka. U programu moguće je pomoću tri načina povezati skenove: povezivanje pomoću meta (eng. *target based*), povezivanje temeljno na pogledu odozgo (eng. *top view based*) i oblak u odnosu na oblak (eng. *cloud to cloud*). Metoda povezivanja temeljena na povezivanju temeljno na pogledu odozgo nije zadovoljila tražene uvjete te je eliminirana iz daljnje analize. Zato se pristupilo metodi povezivanja pomoću meta. Automatskim povezivanjem uključeni su i podaci inklinometra i kompasa, te opcija pronalaska poznatog markera. Za zapadnu i istočnu stranu uspješno je provedeno automatsko povezivanje, dok je za južnu i sjevernu stranu bilo potrebno ručno povezivanje (Slika 5.4).



Slika 5.4. Pogrešno automatsko povezivanje

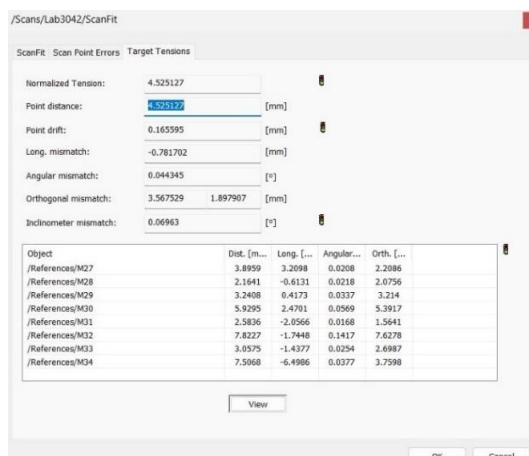
Većina markica je automatski pronađena, što nije bio slučaj za južnu i sjevernu stranu gdje je bilo potrebno ručno označiti pojedine markice. Uz to na pojedinim dijelovima bilo je potrebe za dodavanjem dodatnih detaljnih točaka koje su vidljive na minimalno dva skena radi boljeg preklopa (Slika 5.5). Rezultati smještanja skenova nisu iz prve bili zadovoljavajući, zato se postupak ponavljao u više navrata sve dok se nisu povezali.



Slika 5.5. Prikaz označenih markica i detaljnih točaka

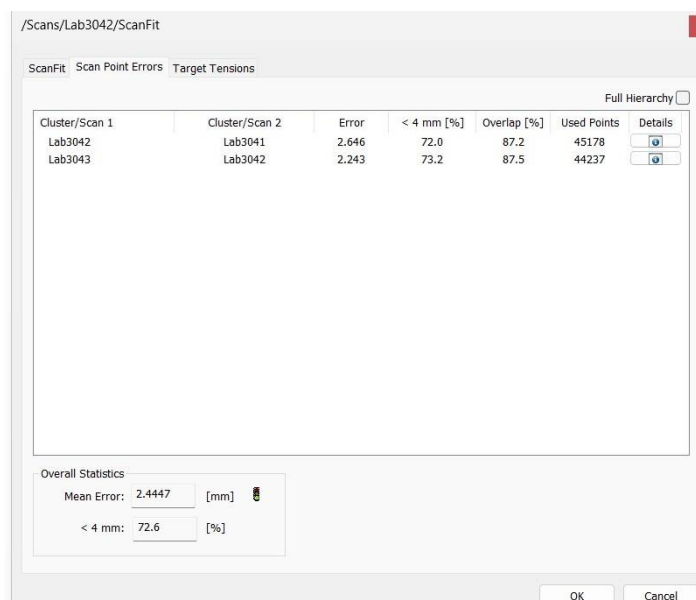
Na slici 5.5 prikazane su označene markice i pojedine detaljne točke. M 29, M 40 itd. predstavljaju markere koji su korišteni prilikom georeferenciranja skenova terestričkog laserskog skenera i točke 3 i 5 detaljne točke zbog potrebe za boljim preklopom.

Rasteg (eng. *tension*) je veličina koja opisuje odstupanje u zajedničkom koordinatnom sustavu između pozicije i orijentacije dviju korespondentnih orijentacijskih točaka (Slika 5.6).



Slika 5.6. Traženi rasteg

Nakon provedenog povezivanja vidljiva je cjelokupna statistika za svaki pojedinačni sken. Kod ručnog povezivanja vidljiv je traženi rasteg, dok se kod automatskog povezivanja može vidjeti statistika pogreške skenirane točke (Slika 5.7).



Slika 5.7. Pogreške skenirane točke

Na slici 5.7 prikazana je statistika pogreške skenirane točke za cluster_zapadni. Iz sveukupne statistike srednja pogreška iznosi 2.4 mm, dok pogrešku manju od 4 mm ima 72.6% skeniranih točaka.

Na prozoru pogreške skenirane točke vidljiva je pogreška oblaka točaka u odnosu na druge, pogreške manje od 4 mm, preklap i broj korištenih točaka. U tablici 5 prikazana je srednja pogreška u mm i koliko je u postotku pogreška ispod 4 mm kod automatskog povezivanja.

Tablica 5. Statistika automatskog povezivanja

Naziv skena	Srednja pogreška [mm]	< 4 mm [%]
Lab3041	2.98	66.3
Lab3042	2.44	72.6
Lab3043	2.78	66.9
Lab3048	3.46	54.4
Lab3049	3.04	57.7
Lab3050	3.81	52.5

Stajališta skenova koji su mjerili zapadnu stranu crkve u odnosu na istočnu imali su manju pogrešku i viši postotak točnosti točaka ispod 4 mm, to je zbog većeg broja markica na toj strani crkve.

U tablici 6 je prikazana usporedba skenova u pojedinom clusteru. Dana je statistika u obliku srednjeg odstupanja, točnosti ispod 4 mm i preklopa. Ova statistika je u ovom slučaju dostupna za automatsko povezivanje.

Tablica 6. Usporedba skena sa ostalim u clusteru

Referentni sken	Usporedni sken	Srednja pogreška [mm]	< 4 mm [%]	Preklop [%]
Lab3041	Lab3042	2.6	72	87.2
	Lab3043	3.3	60.6	76.7
Lab3042	Lab3043	2.4	73.2	87.5
Lab3048	Lab3049	2.7	59.6	54
	Lab3050	4.2	49.2	54
Lab3049	Lab3050	3.4	55.7	74.8

U tablici 6 vidljivi su uspoređeni podaci pojedinog skena s ostalim u clusteru. Kao i u prethodnoj tablici, uspoređeni podaci zapadne strane u odnosu na istočnu stranu crkve su manje pogreške, viši postotak točaka ispod 4 mm i veći preklop među skenovima.

Prilikom izvoza podataka oblak točaka je spremljen pod .e57 format. U programu CloudCompare je oblak točaka je filtriran, pročišćen i georeferenciran, te sadrži ukupno 9 779 395 točaka.

5.3. CloudCompare

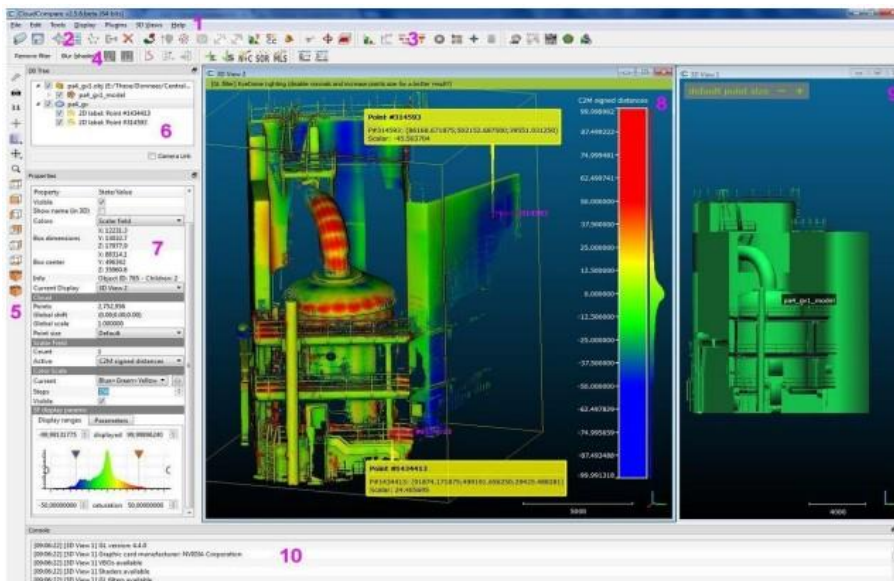
CloudCompare je softver za uređivanje i obradu 3D oblaka točaka. Dizajniran je za izravnu usporedbu između više gustih 3D oblaka točaka. 2005. godine je mogao raditi sa ogromnim oblacima točaka, obično više od 10 milijuna točaka. Ubrzo nakon toga, podržana je

usporedba između oblaka točaka i trokuta mreža. Na račun toga uslijedili su mnogi algoritmi za obradu podataka kao što su registracija, ponovno uzrokovanje, upravljanje bojama, normalni vektori, skalarna polja, izračun statistike, upravljanje senzorima, interaktivno ili automatsko povezivanje itd. Također, su unaprijeđeni i alati za poboljšanje prikaza: prilagođene palete boja, rukovanje vektorima, rukovanje kalibriranim slikama, OpenGL shaders, dodaci.

Program CloudCompare je između ostalog namijenjen za otkrivanje promjena, kao naprimjer praćenje slijeganja i budući da je mreža trokuta vrlo uobičajen način predstavljanja nekog referentnog oblika vrlo je koristan i nije ga se moglo zanemariti. Unatoč tome on ipak ostaje „drugoj ulozi“ jer CloudCompare može izravno usporediti dva oblaka točaka, bez potrebe za generiranjem posredničkih mreža.

Na internetskoj stranici programa (URL 6) može se preuzeti program pošto je potpuno besplatan. Uz to su na internetskoj stranici dane su sažete upute o korištenju programa. Na slici 5.8 prikazano je glavno korisničko sučelje softvera:

1. Izbornici
 - Datoteka (otvori, spremi, izadi, itd.)
 - Uredi (za uređivanje odabranih entiteta i njihove značajke – boje, normale, skalarna polja, itd.)
 - Alati (segmentacija, registracija, projekcija, itd.)
 - Zaslona (opcije koje se odnose na zaslon)
 - Dodaci (učitani dodaci)
 - 3D prikazi (upravljanje 3D prikazima)
 - Pomoć (o programu, pomoć, itd.)
2. Glavna alatna traka (brzi pristup glavnim alatima za uređivanje i obradu: otvaranje/spremanje, odabir točke, kloniranje itd.)
3. Alatna traka skalarnih polja (brzi pristup alatima povezanim sa skalarnim poljima)
4. Alatna traka dodataka (brzi pristup trenutno učitanim dodacima)
5. Prikaz alatne trake (brzi pristup alatima koji se odnose na prikaz)
6. Baza podataka (za odabir i aktivaciju entiteta njihovih značajki)
7. Prikaz svojstva (informacije o odabranom entitetu)
8. Zadani 3D prikaz
9. Još jedan 3D prikaz (stvoren s 3D pogledi > Novo)
10. Konzola.

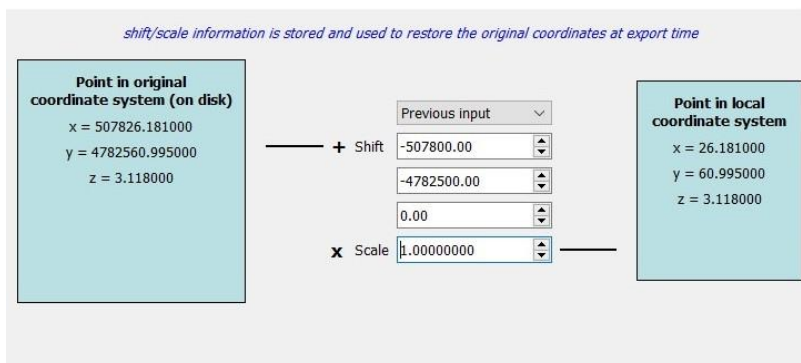


Slika 5.8. Korisničko sučelje CloudCompare (URL 6)

Korisničko sučelje programa CloudCompare je dobro organizirano. Omogućuje korisnicima pregledavanje, usporedbu, unos, uređivanje i brisanje podataka.

5.3.1. Povezivanje i georeferenciranje oblaka točaka mobilnog laserskog skenera

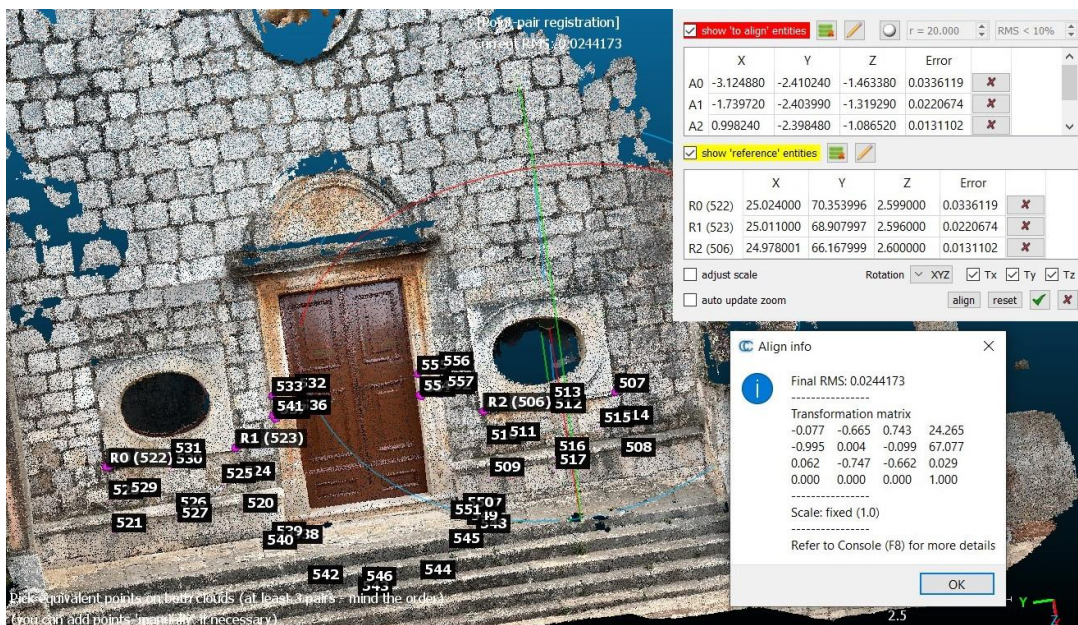
U programu CloudCompare učitani su oblaci točaka formata .e57 koji se koristi za pohranu i razmjenu trodimenzionalnih podataka kao što su oblaci točaka, slike i metapodaci. Uz to su učitane koordinate detaljnih točaka dobivene polarnom metodom. Prilikom učitavanja točaka kreiran je lokalni koordinatni sustav (Slika 5.9), no prilikom izvoza podataka moguće je izvesti podatke u HTRS96/TM.



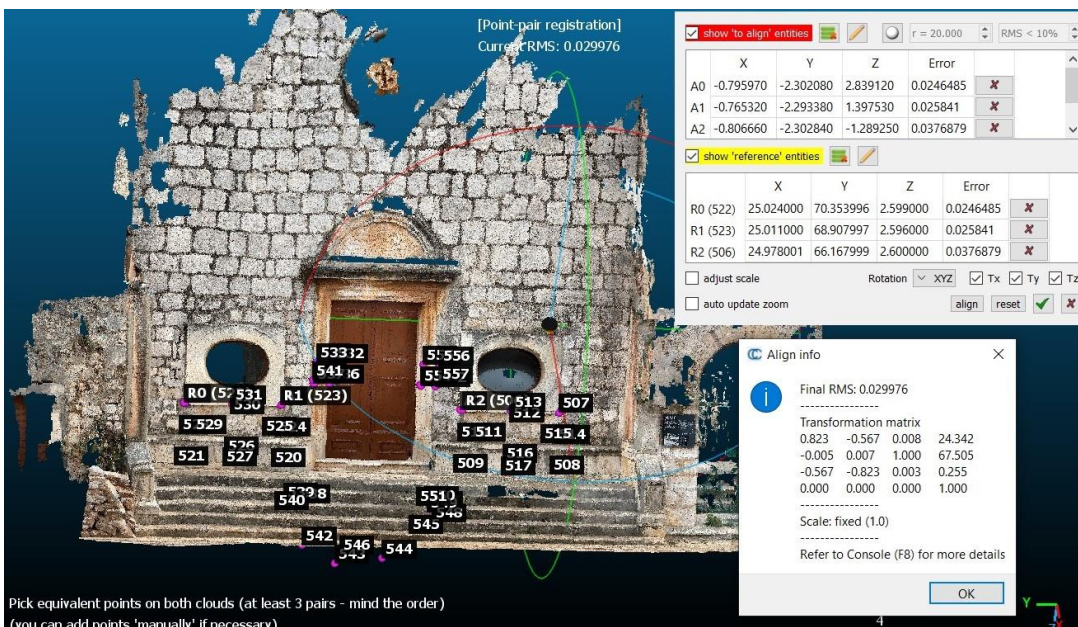
Slika 5.9. Prikaz transformacije iz globalnog u lokalni koordinatni sustav

Mjerenja su obavljena za svaku stranu crkve zasebno. Zato su prilikom učitavanja detaljnih točaka izabrale one koje se nalaze na toj strani. Za georeferenciranje koristile su se po tri identične točke za svaku stranu crkve. Korištena je funkcija Aligns two clouds by picking (at least 4) equivalent point pairs, te je za referentni entitet odabran oblak detaljnih točaka. Na slikama 5.10 i 5.11 vidljivo je da su se koristile po 3 identične točke za georeferenciranje zapadne strane.

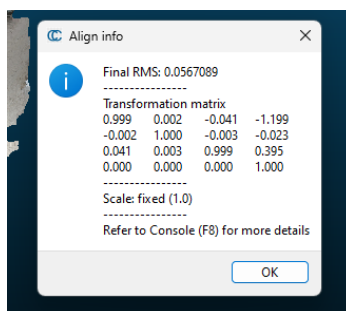
Nakon što su izabrane točke, funkcija izbaci odstupanje točaka i matricu transformacije. U CloudCompare-u koristi se "Apply transformation" (Slika 5.12). Ovaj alat omogućuje korisniku transformaciju odabranih entiteta. Korisnik mora odabrati jedan ili više entiteta prije pokretanja alata. Entiteti mogu biti u bilo kojoj 3D geometriji (oblak točaka, mreže, polilinije itd.). Zatim se moglo pristupiti povezivanju skenova u jedan naredbom Merge multiple clouds. Isti se postupak ponovi za južnu i istočnu stranu, pošto se sjevernoj strani nije moglo pristupiti.



Slika 5.10. Prikaz georeferenciranja zapadnog dijela na detaljne točke (1)



Slika 5.11. Prikaz georeferenciranja zapadnog dijela na detaljne točke (2)



Slika 5.12. Prikaz matrice transformacije

U tablici 7 prikazano je odstupanje dobivenih georeferenciranih oblaka točaka po stranama. Naziv datoteka zapisan je na način da je prvo zapisana godina snimanja i datum, zatim inicijali mjeritelja, početno slovo strane mjerenja crkve te u koliko je sati mjerenje obavljeno.

Tablica 7. Odstupanje pojedinih skenova od detaljnih točaka

Naziv skena	Detaljna točka	Odstupanje [cm]
20230224_mr_z_10h	506	1.3
	522	3.3
	523	2.2
20230224_vs_z_10h	506	3.7
	522	2.4
	523	2.5
20230224_mr_j_10h	718	3.6
	744	5.1
	748	2.1
20230224_vs_j_10h	718	3.2
	744	2.5
	749	2.8
20230224_mr_i_15h	777	2.6
	780	1.9
	785	0.9
20230224_vs_i_10h	762	1.9
	780	1.3
	785	1.1

Mjerenje 20230224_mr_i_10h imalo je odstupanje od 11 centimetara, te 20230224_vs_i_15h od 17.7 centimetara na točki 785 i zbog toga su isključene iz daljnje obrade podataka.

Nakon što su georeferencirane sve strane crkve, korištenjem gore navedene funkcije Merge multiple clouds spojeni su skenovi u jedan oblak točaka i na taj način je dobiven apsolutni georeferencirani model koristeći iPhone 13 Pro. Korištenjem naredbi Segment i Cross Section obavljene su operacije čišćenja i filtriranja podataka, te je dobiven cjeloviti prikaz crkve kao oblak točaka. Taj oblak točaka sadrži ukupno 21 069 828 točaka i biti će prikazan u 7. poglavlju ovog diplomskog rada.

Za kasniju analizu podataka za određivanje koordinata detaljnih točaka kod modela FARO i iPhone koristila naredba Point picking list u programu CloudCompare kako bi se usporedile sa točkama totalne stanice (Slika 5.13). Korišten je vizualni način traženja točaka odnosno provedena je virtualna izmjera nad oblakom točaka. Virtualna izmjera podrazumijeva interpretaciju oblaka točaka u obliku stvaranja novih CAD objekata kao što su točke, linije itd. iz oblaka točaka. Moguće je bez ponovljenog izlaska na teren prikazati izmjerenu građevinu na temelju novih virtualnih izmjera na oblaku.



Slika 5.13. Naredba Point picking list

6. ANALIZA REZULTATA

Trodimenzionalna izmjera vanjskog dijela crkve sv. Roka obavljena je trima metodama: polarnom metodom, terestričkim laserskim skeniranjem i mobilnim laserskim skeniranjem. Pošto se metode skeniranja nadovezuju na polarnu metodu ona je određena kao najtočnija metoda.

Za obradu skenova terestričkog laserskog skenera Faro Photon 120 korišten je program FARO Scene, dok se za obradu podataka mobilnog laserskog skenera iPhone 13 Pro koristio računalni program CloudCompare. Koristeći Microsoft Excel izračunate su koordinate markica i detaljnih točaka. Korištene su prilikom spajanja modela kod polarne metode i kod georeferenciranja modela terestričkog i mobilnog laserskog skenera.

Prilikom obrade podataka terestričkog laserskog skenera za zapadnu i istočnu stranu uspješno je provedeno automatsko povezivanje, dok je za južnu i sjevernu stranu bilo potrebno ručno povezivanje. Većina markica je automatski pronađena, što nije bio slučaj za južnu i sjevernu stranu gdje je bilo potrebno ručno označiti pojedine markice. Uz to na pojedinim dijelovima bilo je potrebe za dodavanjem dodatnih detaljnih točaka koje su vidljive na minimalno dva skena radi boljeg preklopa. Rezultati smještanja skenova nisu iz prve zadovoljili, zbog čega se postupak ponavljao u više navrata sve dok se nisu povezali. Nakon uspješnog povezivanja vidljiva je cjelokupna statistika za svaki sken. Prilikom izvoza podataka oblak točaka je spremljen pod .e57 format. I nakon toga učitani u program CloudCompare unutar kojeg je obavljena analiza i usporedba podataka. Oblak točaka terestričkog laserskog skenera sadrži ukupno 9 779 395 točaka.

U programu CloudCompare učitani su oblaci točaka formata .e57. Također su učitane i koordinate detaljnih točaka dobivene polarnom metodom. Oblaci točaka su zasebni za svaku stranu crkve. Zato su prilikom učitavanja detaljnih točaka izabrale one koje se nalaze na toj strani. Za georeferenciranje koristile su se po minimalno tri identične točke za svaku stranu crkve. Nakon što se izaberu identične točke, funkcija izbaci odstupanje točaka i matricu transformacije. U CloudCompare-u koristi se "Apply transformation". Nakon georeferenciranja zasebno strana crkve, korištenjem funkcije Merge multiple clouds spojeni su svi skenovi u jedan oblak točaka i na taj način je dobiven apsolutni georeferencirani model koristeći iPhone 13 Pro. Taj oblak točaka sadrži sveukupno 21 069 828 točaka.

Za analizu podataka određivanje koordinata detaljnih točaka kod modela FARO i iPhone korištena je naredba Point picking list u programu CloudCompare kako bi se usporedile sa točkama totalne stanice.

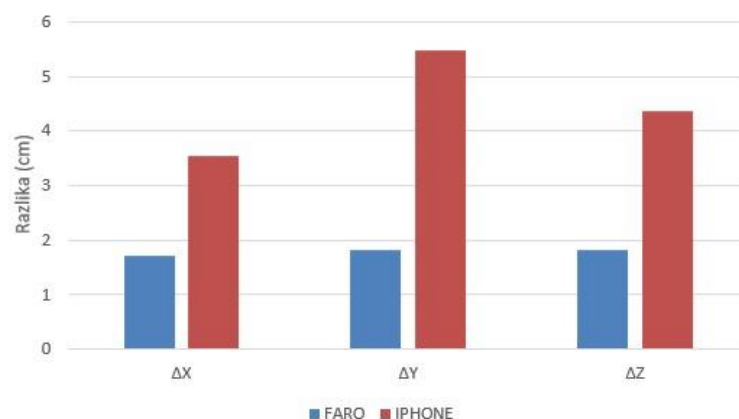
Oduzimanjem koordinata dobivenih laserskim i mobilnim skeniranjem od koordinata dobivenih polarnom metodom dobiveni su rezultati odstupanja. Koristeći tablice koordinatnih razlika identičnih točaka provedena je usporedba navedenih triju metoda. Dio analiziranih razlika koordinata točaka su prikazani u tablici 8, dok se cjelokupni popis analiziranih podataka može pronaći u prilogu pod nazivom tablica 11 koordinatne razlike detaljnih točaka. Identične točke su karakteristične točke čiji je položaj određen svim trima metodama izmjere crkve. Pomoću skice mjerenja moguće je prepoznati položaj točaka za sve metode. Za detekciju identičnih točaka primijenjena je vizualna metoda, te je pronađena 151 karakteristična točka u oba oblaka točaka. Za računanje i interpretaciju tablicu odstupanja od idealnog modela korišten je Microsoft Excel. Zapadna strana odnosno

pročelje crkve opažana je točkama pod brojevima od 400 do 572, južna strana crkve obuhvaća točke od 700 do 761, dok su detaljne točke na istočnoj strani su numerirane od 762 do 808.

Tablica 8. Dio analiziranih podataka

Br. točke	Koordinatne razlike FARO			Koordinatne razlike iPhone		
	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$
479	0.12	0.69	3.16	0.72	-4.36	-0.05
480	0.41	0.40	-1.08	5.25	-4.85	-7.92
481	0.88	0.30	-2.27	6.67	-3.37	8.62
482	-0.25	0.09	-1.44	11.19	-4.30	-6.20
484	2.02	-0.11	-1.85	2.70	-6.43	0.59
485	1.03	0.31	-1.72	-1.22	-2.29	-1.19
486	0.34	-0.30	-0.67	0.75	-2.38	-0.47
487	1.43	-2.00	-1.37	8.14	-2.34	-2.42
496	0.71	2.41	0.19	6.67	-8.98	-5.71
497	2.31	2.91	-1.85	0.65	-6.58	0.17
498	0.31	2.21	0.78	1.90	-4.26	2.42
499	1.91	-1.09	-2.05	-2.91	-3.52	-1.50

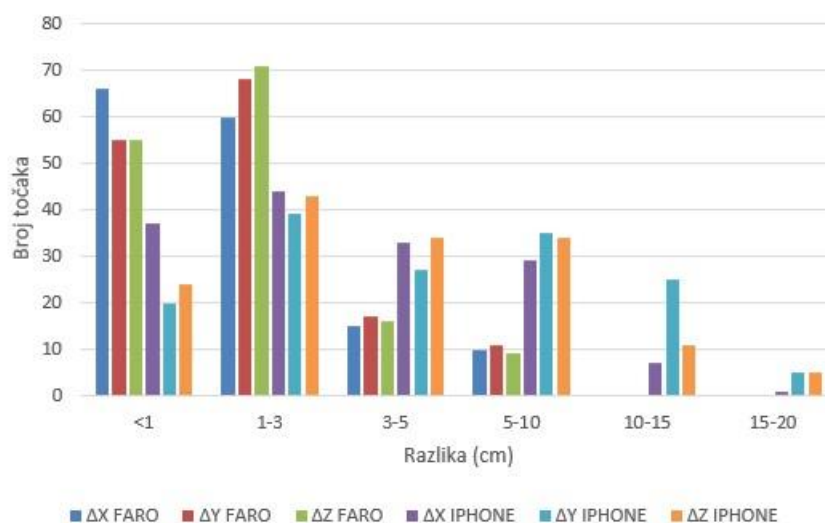
Najveća razlika od polarne metode je kod iPhone-a, po x osi 17.78 cm, po y osi 17.42 cm i po z osi 17.73 cm. Dok su najmanja odstupanja vidljiva kod Faro Photon 120 i to po x osi 0.01 cm, po y osi 0.04 cm i po z osi 0.04 cm. Dobivene su prosječne razlike po osima za skener Faro Photon 120 $\Delta x = 1.73$ cm, $\Delta y = 1.83$ cm, $\Delta z = 1.82$ cm, dok su za iPhone 13 Pro prosječne razlike bile $\Delta x = 3.55$ cm, $\Delta y = 5.49$ cm, $\Delta z = 4.37$ cm (Slika 6.1). Preciznost totalne stanice Topcon Cygnus KS-102 iznosi 3 mm + 2 ppm, što znači da se još točnije mogu odrediti koordinate markica, pa tako i koordinate detaljnih točaka korištenjem neke druge preciznije totalne stanice.



Slika 6.1. Prosječne razlike po osima

Iz slike 6.1 može se zaključiti da FARO po svim osima u prosjeku ima rezultate unutar 2 cm, dok se kod iPhone skenera mogu očekivati različita odstupanja ovisno o osi.

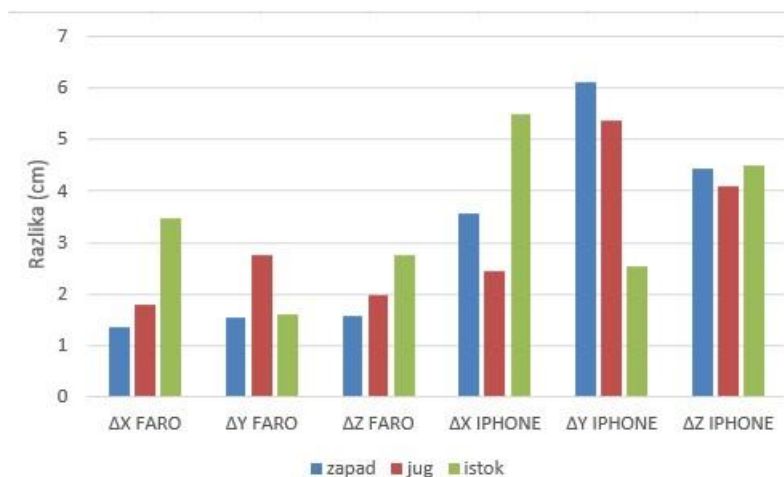
Prilikom analize razlike podataka terestričkog i mobilnog laserskog skenera od polarne metode razlike su razvrstane u 6 kategorija: Δx FARO, Δy FARO, Δz FARO, Δx IPHONE, Δy IPHONE, Δz IPHONE. Na slici 6.2 prikazana je analiza koliko je odstupanje točaka od polarne metode po određenima osima. Zbog većeg broja točaka kojima je razlika od polarne metode manja od 5 cm odabrano je sljedeće rangiranje: manje od 1 cm, od 1 do 3 cm, od 3 do 5 cm, te su zatim podjednaki intervali po 5 cm.



Slika 6.2. Odstupanje točaka od polarne metode

Na slici 6.2 vidljivo je da je većina točaka grupirana u rasponu do 3 cm koordinatnih razlika. Međutim, broj točaka s razlikama iznad 5 cm daleko je veći u točkama izvedenim iz oblaka točaka iPhone-a. Značajno je da u rasponu iznad 10 cm razlike nema FARO točaka.

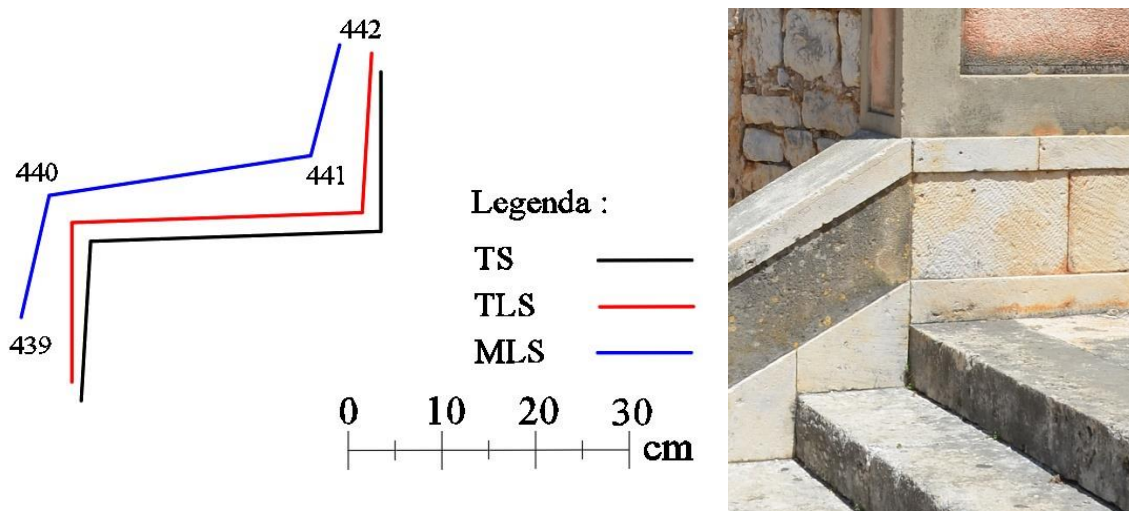
Na sljedećoj analizi prikazano je prosječno odstupanje točaka po stranama crkve zapadnoj, južnoj i istočnoj koje su uspoređene na slici 6.3.



Slika 6.3. Odstupanja po stranama crkve

Iz grafikona je vidljivo kako je prosječno odstupanje po svim stranama manje kod terestričkog laserskog skenera. Također, vidljivo je kako su na zapadnoj strani kod FARO skenera najmanje razlike, dok kod iPhone razlike variraju ovisno o strani.

Na slikama 6.4 i 6.5 vizualizacijski su prikazane razlike u koordinatama pojedinih identičnih točaka kod svih triju metoda. Točke i linije crnom bojom su dobivene totalnom stanicom (TS), crvenom bojom označavaju terestrički laserski skener (TLS) Faro Photon 120, a plavom bojom prikazuju mobilni laserski skener (MLS) iPhone 13 Pro. Na slici 6.4 lijevo vidljiva je razlika između uspoređenih triju metoda, dok se na slici desno prikazuje stvarno stanje.



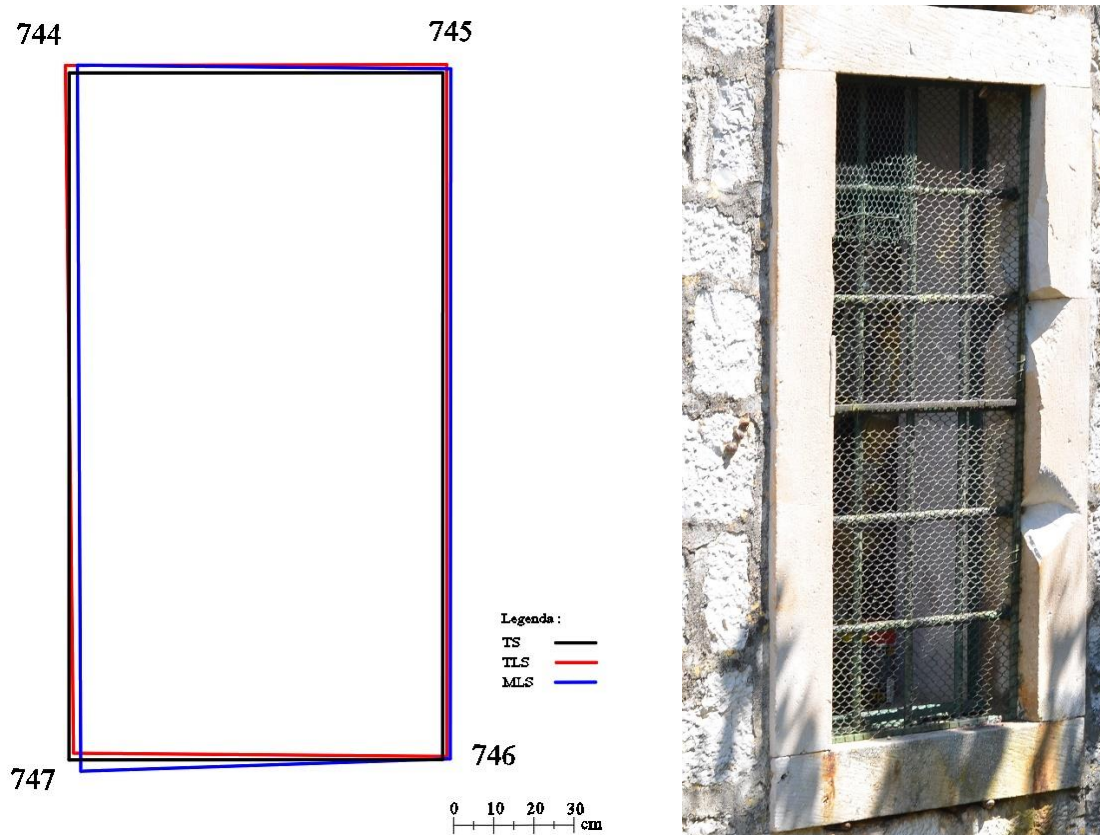
Slika 6.4. Odstupanje identičnih točaka stepenica

Na slici 6.4 prikazan je vrh stepenica sa sjeverozapadne strane crkve na kojem je vidljiva poprilično velika razlika po y osi kod skeniranja s mobilnim skenerom iPhone. Također, su vidljive razlike i kod x i z osi, no za razliku od y su dvostruko manje. Za terestrički laserski skener FARO Photon 120 najveće odstupanje od polarne metode je kod z osi i iznosi 2.31 centimetra. U tablici 9 su prikazane analizirane koordinatne razlike kod ulaznih stepenica u crkvu.

Tablica 9. Koordinatne razlike kod stepenica

Br. točke	Koordinatne razlike FARO			Koordinatne razlike iPhone		
	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$
439	1.80	-0.63	-1.71	6.19	13.84	-7.93
440	1.46	-0.03	-2.31	3.86	13.85	-4.02
441	1.84	-0.23	-2.28	6.97	16.82	-6.85
442	1.01	-0.12	-2.08	3.70	14.06	-3.00

Na slici 6.5 lijevo prikazane su razlike identičnih točaka između metoda, dok je na desnoj slici prikazan uspoređeni prozor koji se nalazi na jugoistočnoj strani crkve.



Slika 6.5. Odstupanje identičnih točaka prozora

Kod prozora, nema većih razlika od 3.53 cm za iPhone. Uočljiva su odstupanja na točkama 746 i 747 na y osi kod oba modela (Tablica 10). Manja je razlika između uspoređenih modela u odnosu na stepenice.

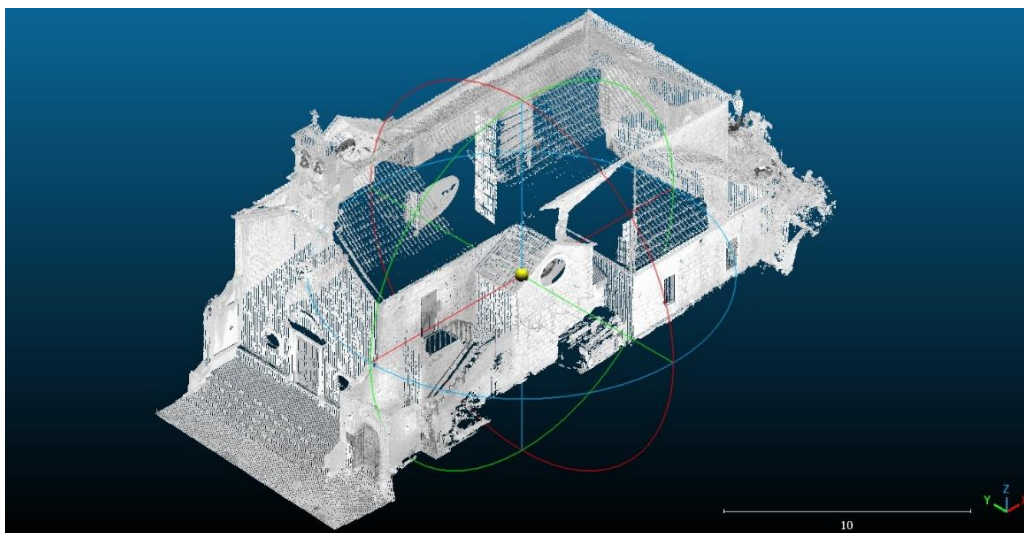
Tablica 10. Koordinatne razlike kod prozora

Br. točke	Koordinatne razlike FARO			Koordinatne razlike iPhone		
	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$
744	0.97	-1.21	-1.97	-1.99	-0.30	-1.87
745	-1.23	1.00	-2.72	-2.41	-0.40	-1.12
746	-0.97	-3.23	-1.22	-1.64	2.10	-0.08
747	-1.27	-5.02	-1.78	-3.53	1.98	3.29

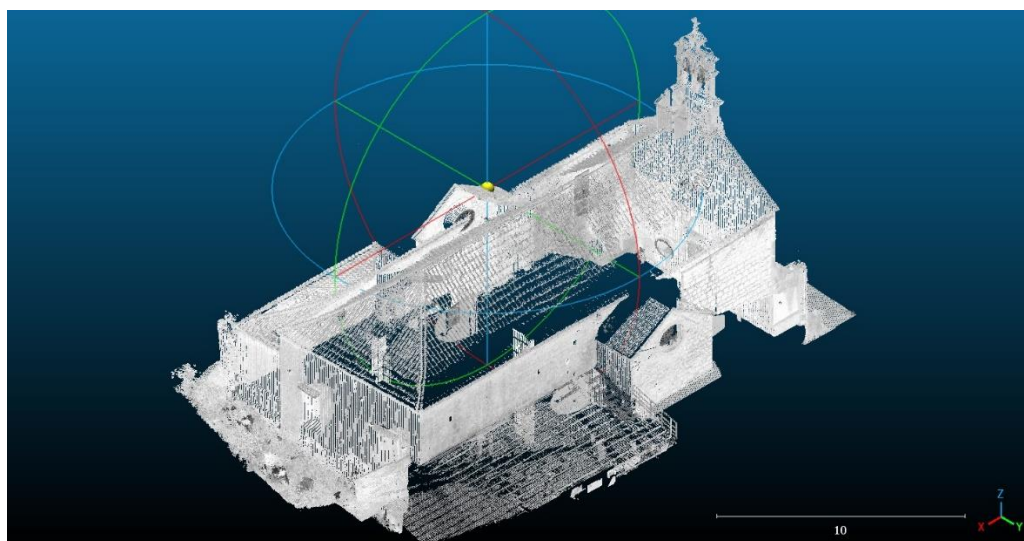
Uspoređujući tablicu 9 i 10, kod FARO skenera podaci su slični, uz veća odstupanja na točkama 746 i 747 na y osi. Za razliku od iPhone skenera gdje je uočljiva velika razlika između osi na gore prikazanim tablicama.

7. VIZUALIZACIJA PODATAKA

S ciljem uvida u postignute rezultate, u ovom su poglavlju prikazani georeferencirani oblaci točaka crkve Sv. Roka. Na slikama 7.1 i 7.2 prikazani su georeferencirani oblaci točaka dobiveni terestričkim laserskim skenerom. Slike su prikazane pogledom s jugozapadne i sjeveroistočne strane.

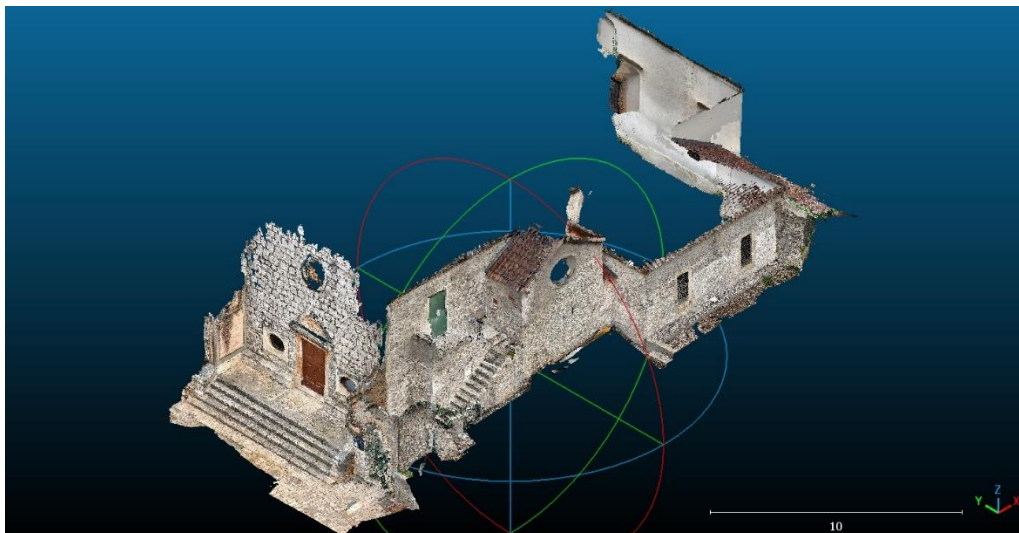


Slika 7.1. Oblak točaka dobiven s terestričkim laserskim skenerom, pogledom s jugozapadne strane

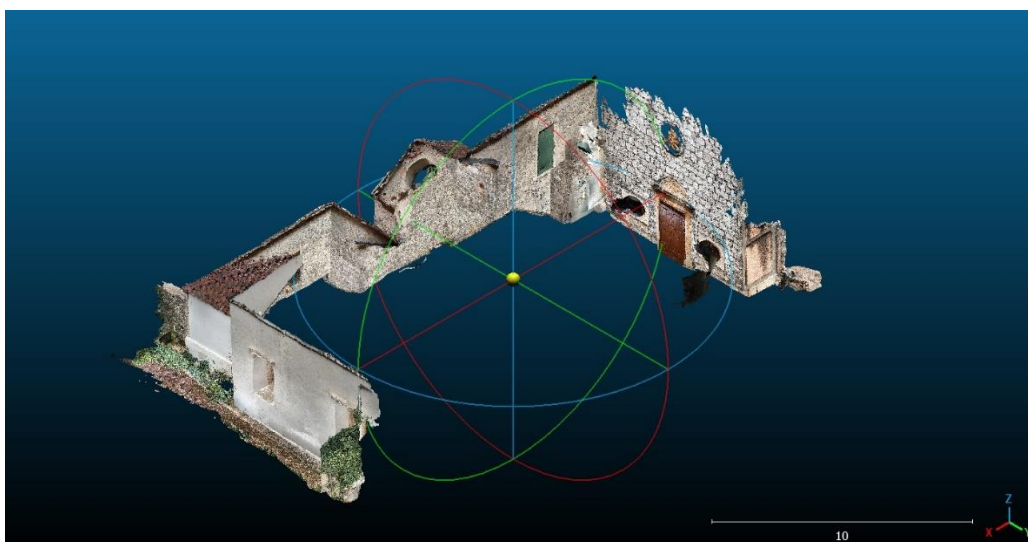


Slika 7.2. Oblak točaka dobiven s terestričkim laserskim skenerom, pogledom s sjeveroistočne strane

Na slikama 7.3 i 7.4 su također prikazani georeferencirani oblaci točaka dobiveni mobilnim laserskim skenerom.



Slika 7.3. Oblak točaka dobiven s mobilnim laserskim skenerom, pogledom s jugozapadne strane



Slika 7.4. Oblak točaka dobiven s mobilnim laserskim skenerom, pogledom s sjeveroistočne strane

Na slikama 7.5 i 7.6 prikazana je crkva pogledom s južne strane, dobivena terestričkim i mobilnim laserskim skenerom. Pogled s južne strane odabran je zbog detaljnosti, jer je jedina strana crkve na kojoj su vidljivi svi rubni dijelovi i većina detalja, što nije slučaj kod ostalih strana. Najveći razlog tome je ograničenost dometa mobilnog laserskog skenera od maksimalno 5 metara.



Slika 7.5. Oblak točaka dobiven s terestričkim laserskim skenerom, pogledom s južne strane



Slika 7.6. Oblak točaka dobiven s mobilnim laserskim skenerom, pogledom s južne strane

Uspoređujući slike 7.5 i 7.6 vidljiva je ograničenost dometa kod mobilnog laserskog skenera. Uz to vidljivo je kako mobilni laserski skener nije uspio dovoljno dobro skenirati ogradu uz stepenice koje vode do kora. Također, vidljiva je mrlja usred vrata za kor kod mobilnog laserskog skenera, što dovodi do pogrešnog skeniranja jer to nije slučaj u stvarnosti.

Vizualna usporedba provedena je preklapanjem oba oblaka točaka jednog s drugim kao što je prikazano na slici 7.7.

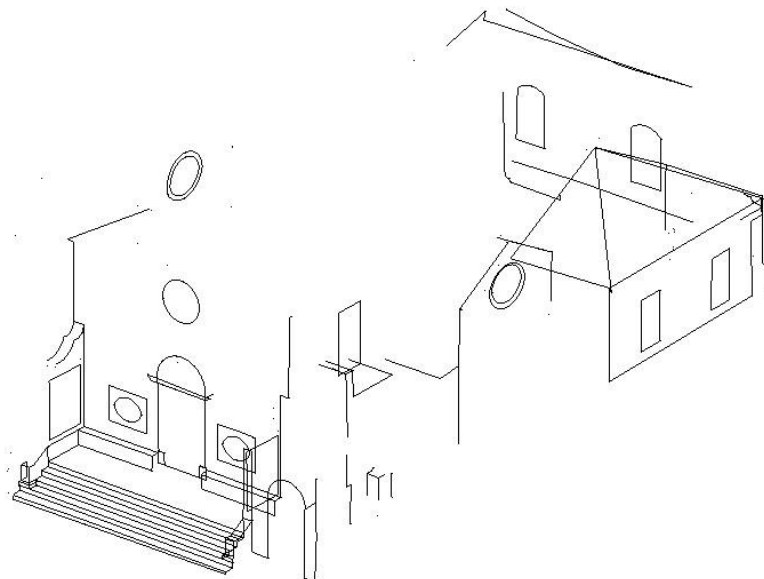


Slika 7.7. Preklap oblaka točaka

Vizualno se može utvrditi da se skenirani oblaci točaka veoma dobro uklapaju, iako treba napomenuti da su skeniranja iPhone-a u boji, a skenovi Faro Photon crno-bijeli i nisu dostupni u boji.

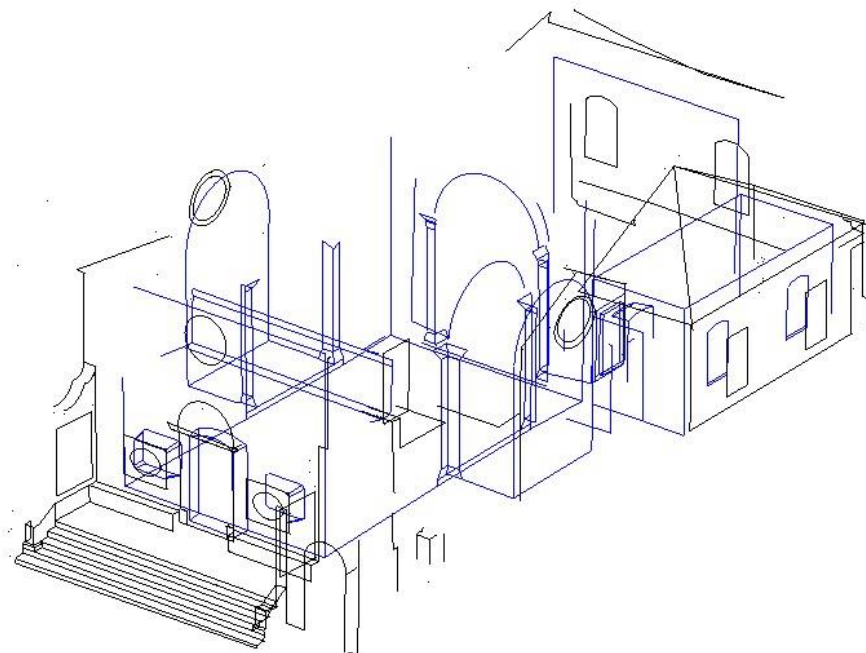
Istodobno je kreirana animacija oba oblaka točaka koja je izvršena u programu CloudCompare. Taj alat je izabran zbog vrlo jednostavnog, ali opet učinkovitog načina izrade audio video prikaza skenirane građevine. U navedenom programu odabran je modul “qAnimation Plugin” koji omogućava brojne opcije izrade animacija poput postavljanja željenog shadera, intenziteta kolorizacije mesha, vizualizaciju normala i dr.

Izračunate koordinate markica i detaljnih točaka vanjskog dijela crkve učitane su unutar AutoCAD-a. Žičani model (Slika 7.8) iz podataka polarne izmjere je dobiven spajanjem detaljnih točaka linijama i lukovima prema skicama. Pošto nisu opažane sve karakteristične točke ne dobiva se potpuna predodžba vanjskog dijela crkve.

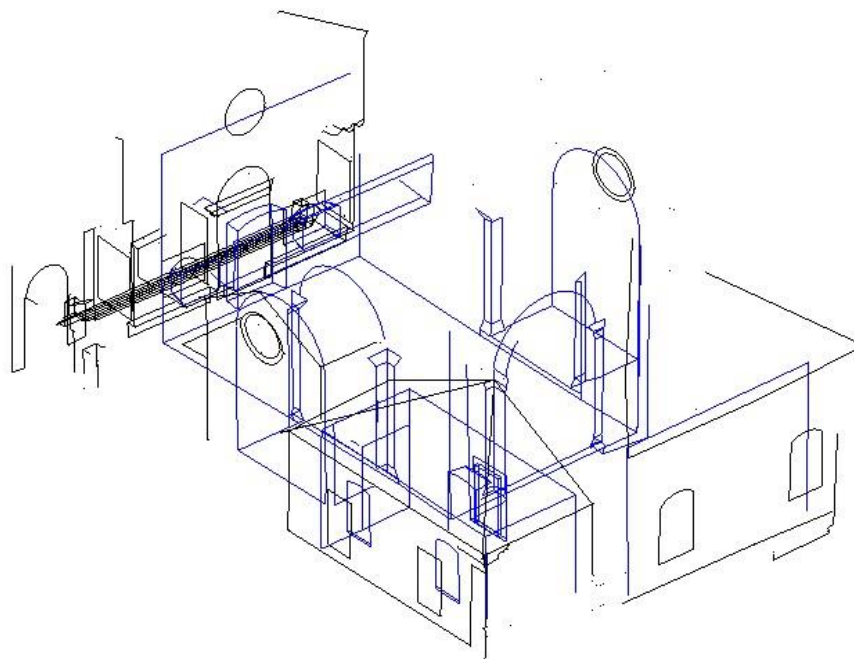


Slika 7.8. Žičani model dobiven iz podataka polarnom metodom, pogledom s jugozapadne strane

Na slikama 7.9 i 7.10 prikazan je povezani žičani model vanjskog i unutarnjeg dijela kojeg je obradila Margarita Pedišić u svom diplomskom radu (2015). Plave linije i lukovi označuju bridove unutrašnjeg dijela crkve, dok je crna boja predstavlja vanjski dio crkve.



Slika 7.9. Povezani žičani model unutarnjeg i vanjskog dijela crkve, pogledom s jugozapadne strane



Slika 7.10. Povezani žičani model unutarnjeg i vanjskog dijela crkve, pogledom s jugoistočne strane

Svaki od tri modela može imati različitu svrhu uporabe. Primjerice iPhone prikazuje foto realistične skenove, ali do određene visine, zbog svoje ograničenosti s dometom od 5 m. Za razliku od iPhone-a FARO skener daje dosta detaljne prikaze s kojima je moguće izraditi kompletni model cijele crkve. Dok se žičani model može koristiti radi svoje jednostavnosti i točnosti primjerice kod izračuna duljina pojedinih segmenata za potrebe obnove i sl.

8. ZAKLJUČAK

Mobilno lasersko skeniranje pojavilo se kao najsuvremenija tehnologija za modeliranje stvarnosti. Za razliku od statičkog skeniranja, omogućuje prikupljanje oblaka 3D točaka okoline u pokretu, bilo to pješice, zrakom ili vozilom. Tajna njegovog uspjeha leži u izravnom georeferenciranju, što omogućuje stjecanje 3D oblaka točaka u željenom koordinatnom sustavu. To se postiže integriranjem podataka senzora iz različitih izvora kao što su GNSS, inercijske mjerne jedinice, brojači kilometara, kamere i skeneri. Kvaliteta tih pojedinačnih komponenti i algoritmi koji se koriste za spajanje podataka igraju ključnu ulogu u kvaliteti krajnjeg proizvoda odnosno oblaka točaka (URL 7).

U ovom diplomskom radu uspoređeni su rezultati polarne metode izmjere s rezultatima terestričkog laserskog skeniranja i mobilnog laserskog skeniranja. Tablicom i grafikonima prikazane su koordinatne razlike identičnih točaka. Dobivene su također i prosječne razlike po osima za skener Faro Photon 120 iznose $\Delta x = 1.73$ cm, $\Delta y = 1.83$ cm, $\Delta z = 1.82$ cm, dok su za iPhone prosječne razlike bile $\Delta x = 3.55$ cm, $\Delta y = 5.49$ cm, $\Delta z = 4.37$ cm. Vidljivo je iz prosječnih odstupanja po koordinatnim osima da su minimalno dvostruko točnije koordinata kod terestričkog laserskog skenera Faro Photon 120. Najveća razlika od polarne metode je kod iPhone-a, po x osi 17.78 cm, po y osi 17.42 cm i po z osi 17.73 cm. Dok su najmanja odstupanja vidljiva kod Faro Photon 120 i to po x osi 0.01 cm, po y osi 0.04 cm i po z osi 0.04 cm.

Polarna metoda je najtočnija metoda od korištenih u ovom diplomskom radu, no ima jedno ograničenje, a to je da prikuplja konačni broj podataka koji je prilagođen određenoj namjeni. Kada se promjeni namjena ili nedostaje dio podataka potrebno je ponovno izaći na teren. Za razliku od polarne metode laserskim skenerima omogućava efikasnije prikupljanje prostornih podataka. To pruža prikupljanje velikog broja podataka u kratkom vremenskom roku što olakšava terenski dio posla i pridonosi vizualizaciji i prezentaciji krajnjeg produkta. Kako je rezultat laserskog skeniranja oblak točaka, po potrebi je moguće izvršiti virtualne izmjere na oblaku točaka, što nije moguće kod polarne metode.

Iz provedene analize zaključuje se da skeneri u mobilnim telefonima postižu dobru kvalitetu. No, još uvijek nije dovoljno dobra za tehničke potrebe projektiranja. Može se reći da zadovoljavaju potrebe vizualizacije, prezentacije ili rekonstrukcije neke krajnje građevine, a ne za precizne zadatke. S time nije potvrđena hipoteza ovog diplomskog rada. Cijena skeniranja iPhone-om dovoljno je niska što sigurno utječe na popularnost korištenja točkastih oblaka.

Smatram da veliku perspektivu imaju laserski skeneri prilikom izrade 3D modela pri poticanju razvoja 3D katastra. U Hrvatskoj je opis 3D nekretnina pomalo zanemaren, dok je u nekoliko razvijenijih država skroz uspostavljen 3D katastar. Zbog guste izgrađenosti neupitna je budućnost 3D katastra jer sadašnji dvodimenzionalni katastar ne može pružiti odgovarajuće informacije. U vremenu smo u kojem geodeti moraju promicati snagu razmišljanja i u trećoj dimenziji.

LITERATURA

- Adán, A., Quintana, B., & Prieto, S. A. (2019): Autonomous mobile scanning systems for the digitization of buildings: A review. *Remote Sensing*, 11(3), 306
- Buratović, M. (2019): Zvona moga škoja, Muzej hvarske baštine, Hvar
- Di Stefano, F., Chiappini, S., Gorreja, A., Balestra, M., & Pierdicca, R. (2021): Mobile 3D scan LiDAR: A literature review. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 2387-2429
- Džapo, M. (2008): Izmjera zemljišta, skripta, Geodetski fakultet, Zagreb
- Frančula, N. (2022): Školovanje geoprostornih stručnjaka. *Geodetski list*, 76(1), 114
- Gajski, D. (2007): Osnove laserskog skeniranja iz zraka. *Ekscentar*, (10), 16-22
- Gollob, C., Ritter, T., Kraßnitzer, R., Tockner, A., & Nothdurft, A. (2021): Measurement of forest inventory parameters with Apple iPad pro and integrated LiDAR technology. *Remote Sensing*, 13(16), 3129
- Haenel, R., Semler, Q., Semin, E., Grussenmeyer, P., & Tabbone, S. (2022): Evaluation of low-cost depth sensors for outdoor applications. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 101-108
- Hämmerle, M., Höfle, B., Fuchs, J., Schröder-Ritzrau, A., Vollweiler, N., & Frank, N. (2014): Comparison of kinect and terrestrial lidar capturing natural karst cave 3-d objects. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(11), 1896-1900
- Ivković, M., Cetl, V., Redovniković, L., (2013): Izmjera zemljišta, skripta, Geodetski fakultet, Zagreb
- Jawak, S. D., Panditrao, S. N., & Luis, A. J. (2013): Validation of high-density airborne LiDAR-based feature extraction using very high resolution optical remote sensing data. *Advances in Remote Sensing*, 2013
- Kapović, Z. (2006): Inženjerska geodezija II (rukopis s predavanja), Geodetski fakultet, Zagreb
- Konecny, G. (2002): Recent global changes in geomatics education. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(6), 9-14
- Kukko, A. (2013): Mobile Laser Scanning–System development, performance and applications. Finnish Geodetic Institute
- Lachat, E., Macher, H., Mittet, M. A., Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2015): First experiences with Kinect v2 sensor for close range 3D modelling. In *ICIAP 2015 Workshops: BioFor, CTMR, RHEUMA, ISCA, MADiMa, SBMI, and QoEM (2015-09-07 to 2015-09-08: Genoa, Italy)* (Vol. 40)
- Luetzenburg, G., Kroon, A., & Bjørk, A. A. (2021): Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an application in geosciences. *Scientific reports*, 11(1), 1-9
- Matijević, H. & Roić, M. (2002): Terestrički laserski skaneri, *Geod. list* 2002, 171-187
- Miler, M., Đapo, A., Kordić, B., & Medved, I. (2007): Terestrički laserski skaneri. *Ekscentar*, (10), 35-38

- Mokroš, M., Mikita, T., Singh, A., Tomašćik, J., Chudá, J., Wężyk, P., ... & Liang, X. (2021): Novel low-cost mobile mapping systems for forest inventories as terrestrial laser scanning alternatives. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104, 102512
- Pedišić, M. (2015): Trodimenzionalna izmjera i vizualizacija unutrašnjosti crkve sv. Roka u Starom Gradu na otoku Hvaru, diplomski rad, Geodetski fakultet, Zagreb
- Riquelme, A., Tomás, R., Cano, M., Pastor, J. L., & Jordá-Bordehore, L. (2021): Extraction of discontinuity sets of rocky slopes using iPhone-12 derived 3DPC and comparison to TLS and SfM datasets. In *ISRM EUROCK* (pp. ISRM-EUROCK). ISRM
- Roić, M. (2012): Upravljanje zemljišnim informacijama-Katastar, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- Slossberg, R., Wetzler, A., Kimmel, R., Xie, X., Jones, M. W., & Tam, G. K. L. (2015): Freehand Laser Scanning Using Mobile Phone. In *BMVC* (pp. 88-1)
- Vogt, M., Rips, A., & Emmelmann, C. (2021): Comparison of iPad Pro®'s LiDAR and TrueDepth capabilities with an industrial 3D scanning solution. *Technologies*, 9(2), 25
- Wehr, A., & Lohr, U. (1999): Airborne laser scanning - an introduction and overview. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 54(2-3), 68-82
- Zaczek-Peplinska, J., & Kowalska, M. (2022): Evaluation of the LiDAR in the Apple iPhone 13 Pro for use in Inventory Works. Department of Engineering Geodesy and Control Surveying Systems, Tech. Rep.

POPIS URL-ova

- URL 1. Specifikacije Topcon Cygnus KS - 102, https://us.sokkia.com/sites/default/files/product/downloads/cygnus_20130128.pdf (27.5.2023.)
- URL 2. Specifikacije Faro Photon 120, <https://www.laserscanning-europe.com/en/system/files/04REF201-366-EN- FARO Photon 120 Tech Sheet.pdf> (27.5.2023.)
- URL 3. Specifikacije iPhone 13 Pro https://support.apple.com/kb/SP852?locale=hr_HR (14.3.2024.)
- URL 4. 8 cool ways to use LiDAR on your iPhone and iPad, https://www.zdnet.com/article/how-to-use-lidar-on-the-iphone-and-ipad/#google_vignette (14.3.2024.)
- URL 5. FARO Scene, https://shop.laserscanning-europe.com/FARO-Scene_2 (11.3.2024.)
- URL 6. CloudCompare, <https://www.danielgm.net/cc/> (7.4.2024.)
- URL 7. Otključavanje punog potencijala mobilnog laserskog skeniranja za nadzor infrastrukture, <https://www.gim-international.com> (13.5.2024.)

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Položaj crkve sv. Roko prikazana na Google Earth-u.....	4
Slika 2.2. Luneta iznad ulaznih vrata i prijevod.....	4
Slika 2.3. Zapadno pročelje crkve.....	5
Slika 2.4. Natpis koji ukazuje na rimske terme.....	5
Slika 2.5. Katastarski plan iz 1834. godine (M 1:2880).....	6
Slika 3.1. Shema poligonskog vlaka (Džapo, 2008).....	8
Slika 3.2. Shema polarne metode (Džapo, 2008).....	10
Slika 3.3. Prikaz markice M 39.....	10
Slika 3.4. Prikaz rada panoramskog skenera (Miler i dr., 2007).....	12
Slika 3.5. Prikaz i specifikacije stražnje kamere iPhone 13 (Zaczek-Peplinska J. i Kowalska M., 2022).....	17
Slika 4.1. Poligonska mreža oko crkve.....	20
Slika 4.2. Stabilizacija točke G1.....	20
Slika 4.3. Stajalište P9.....	22
Slika 4.4. Dio točaka opažanih sa stajališta P1 prikazanih u AutoCAD-u.....	22
Slika 4.5. Stajalište P1.....	22
Slika 5.1. Prikaz dijela točaka korištenih u modelu i dijela krivo opažanih točaka.....	24
Slika 5.2. Korisničko sučelje FARO Scene.....	25
Slika 5.3. Parametri skenova.....	26
Slika 5.4. Pogrešno automatsko povezivanje.....	27
Slika 5.5. Prikaz označenih markica i detaljnih točaka.....	27
Slika 5.6. Traženi rasteg.....	28
Slika 5.7. Pogreške skenirane točke.....	28
Slika 5.8. Korisničko sučelje CloudCompare (URL 6).....	31
Slika 5.9. Prikaz transformacije iz globalnog u lokalni koordinatni sustav.....	31
Slika 5.10. Prikaz georeferenciranja zapadnog dijela na detaljne točke (1).....	32
Slika 5.11. Prikaz georeferenciranja zapadnog dijela na detaljne točke (2).....	32
Slika 5.12. Prikaz matrice transformacije.....	33
Slika 5.13. Naredba Point picking list.....	34
Slika 6.1. Prosječne razlike po osima.....	37
Slika 6.2. Odstupanje točaka od polarne metode.....	37

Slika 6.3. Odstupanja po stranama crkve	38
Slika 6.4. Odstupanje identičnih točaka stepenica	38
Slika 6.5. Odstupanje identičnih točaka prozora	39
Slika 7.1. Oblak točaka dobiven s terestričkim laserskim skenerom, pogledom s jugozapadne strane.....	41
Slika 7.2. Oblak točaka dobiven s terestričkim laserskim skenerom, pogledom s sjeveroistočne strane.....	41
Slika 7.3. Oblak točaka dobiven s mobilnim laserskim skenerom, pogledom s jugozapadne strane.....	42
Slika 7.4. Oblak točaka dobiven s mobilnim laserskim skenerom, pogledom s sjeveroistočne strane.....	42
Slika 7.5. Oblak točaka dobiven s terestričkim laserskim skenerom, pogledom s južne strane	43
Slika 7.6. Oblak točaka dobiven s mobilnim laserskim skenerom, pogledom s južne strane	43
Slika 7.7. Preklop oblaka točaka	44
Slika 7.8. Žičani model dobiven iz podataka polarnom metodom, pogledom s jugozapadne strane.....	44
Slika 7.9. Povezani žičani model unutarnjeg i vanjskog dijela crkve, pogledom s jugozapadne strane	45
Slika 7.10. Povezani žičani model unutarnjeg i vanjskog dijela crkve, pogledom s jugoistočne strane	45

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tehničke karakteristike totalne stanice Topcon Cygnus KS-102 (URL 1)	9
Tablica 2. Tehničke karakteristike terestričkog laserskog skenera Faro Photon 120(URL 2)	13
Tablica 3. Osnovne specifikacije iPhone 13 Pro	16
Tablica 4. Koordinate točaka korištene geodetske osnovu.....	21
Tablica 5. Statistika automatskog povezivanja.....	29
Tablica 6. Usporedba skena sa ostalim u clusteru	29
Tablica 7. Odstupanje pojedinih skenova od detaljnih točaka	33
Tablica 8. Dio analiziranih podataka	36
Tablica 9. Koordinatne razlike kod stepenica	39
Tablica 10. Koordinatne razlike kod prozora	40
Tablica 11. Koordinatne razlike detaljnih točaka	53
Tablica 12. Sadržaj priloženog medija	58

PRILOZI

Prilog 1 – koordinatne razlike detaljnih točaka polarne metode uspoređenih na modelima oblaka točaka dobivenih terestričkim i mobilnim laserskim skenerom.

Tablica 11. Koordinatne razlike detaljnih točaka

Broj točke	Koordinatne razlike FARO			Koordinatne razlike iPhone		
	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$
404	-2.05	-0.32	2.84	-16.32	-0.51	-14.89
405	-2.40	0.85	4.07	1.44	0.47	-13.41
406	-2.54	-0.20	-5.23	1.69	4.40	-18.94
407	-5.89	4.47	-2.24	-11.61	2.13	1.52
411	-0.48	-5.33	3.24	11.25	1.13	10.13
412	1.49	-5.61	-2.72	6.26	5.02	12.60
415	2.59	-5.80	-1.03	6.76	7.61	-1.94
418	-3.36	-6.90	0.71	9.49	4.54	-4.29
419	0.52	-7.29	0.20	8.21	7.85	1.10
420	7.86	-3.32	7.44	7.28	9.90	-5.30
421	-0.60	-1.41	-0.73	6.96	12.98	-5.83
422	1.84	0.09	-0.27	4.72	12.97	-1.09
423	2.53	0.89	-1.59	4.99	15.06	-3.58
424	2.52	1.38	-0.87	3.56	13.56	-4.16
425	1.82	1.18	-1.15	1.54	13.20	-3.71
434	2.14	-0.24	-1.01	1.69	3.12	-6.15
435	2.13	-1.23	-1.57	4.91	12.46	-18.37
439	1.80	-0.63	-1.71	6.19	13.84	-7.93
440	1.46	-0.03	-2.31	3.86	13.85	-4.02
441	1.84	-0.23	-2.28	6.97	16.82	-6.85
442	1.01	-0.12	-2.08	3.70	14.06	-3.00
443	-0.29	-2.72	-0.26	3.87	12.52	-12.60
444	3.44	1.14	1.19	4.88	-4.92	3.06
445	1.61	3.18	-0.80	5.51	-0.50	-4.68
478	1.34	1.59	-3.72	5.61	-4.84	-0.12

Broj točke	Koordinatne razlike FARO			Koordinatne razlike iPhone		
	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$
479	0.12	0.69	3.16	0.72	-4.36	-0.05
480	0.41	0.40	-1.08	5.25	-4.85	-7.92
481	0.88	0.30	-2.27	6.67	-3.37	8.62
482	-0.25	0.09	-1.44	11.19	-4.30	-6.20
484	2.02	-0.11	-1.85	2.70	-6.43	0.59
485	1.03	0.31	-1.72	-1.22	-2.29	-1.19
486	0.34	-0.30	-0.67	0.75	-2.38	-0.47
487	1.43	-2.00	-1.37	8.14	-2.34	-2.42
496	0.71	2.41	0.19	6.67	-8.98	-5.71
497	2.31	2.91	-1.85	0.65	-6.58	0.17
498	0.31	2.21	0.78	1.90	-4.26	2.42
499	1.91	-1.09	-2.05	-2.91	-3.52	-1.50
500	0.78	0.45	-0.97	-6.09	-2.30	-0.05
501	-1.22	2.16	-0.04	-2.34	-2.99	5.08
502	-2.45	2.06	0.25	-3.11	-3.05	3.44
503	1.20	-2.11	-0.73	4.11	-8.77	-5.26
504	1.61	-2.12	-0.37	3.37	1.02	-5.64
505	0.55	-1.93	0.22	-1.92	-0.66	1.71
506	0.61	1.28	-0.16	-0.80	-3.96	1.98
507	0.60	0.40	-0.34	0.22	0.54	0.49
508	-0.59	0.64	1.34	-0.19	-0.93	5.44
509	-0.79	1.51	1.32	-0.64	-3.89	-0.20
510	-0.14	1.70	0.45	0.47	-3.67	-4.21
511	0.35	0.00	-1.15	3.76	-1.47	-4.71
512	0.77	-2.09	1.55	3.38	1.79	0.14
513	0.80	-2.19	-1.75	0.06	3.10	1.56
514	0.35	0.22	-1.13	-0.66	0.92	-7.06
515	0.36	1.62	-0.14	3.12	-2.04	-5.62

Broj točke	Koordinatne razlike FARO			Koordinatne razlike iPhone		
	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$
516	0.16	-2.17	0.73	2.17	1.55	-0.65
517	-0.80	-2.07	0.35	2.64	1.47	-1.84
520	-0.89	0.28	1.28	-0.13	4.71	-0.75
521	-0.19	1.36	1.05	-0.78	4.23	1.69
522	0.50	1.13	-0.73	-1.13	3.89	1.88
523	0.00	0.36	-1.40	3.16	3.87	-1.37
524	-0.35	0.27	-1.40	4.02	4.20	-6.38
525	-0.25	0.95	-0.70	0.67	1.92	-2.53
526	0.16	-2.24	-0.24	-0.33	7.72	-1.42
527	-0.19	-2.34	1.16	0.71	6.15	-0.61
528	0.06	1.15	0.08	0.99	3.89	-4.46
529	-0.15	0.24	-0.52	2.63	6.97	-6.14
530	0.67	-1.76	1.19	2.78	5.18	0.28
531	0.91	-2.07	0.08	2.43	5.99	-1.44
532	1.08	-0.41	0.90	1.78	0.36	0.31
533	-1.11	-0.21	1.22	5.09	-0.03	-2.41
534	0.35	-0.25	-0.18	7.27	1.58	6.92
535	0.96	0.04	1.31	2.51	-1.97	6.45
536	0.83	0.65	-1.39	2.65	-1.54	1.89
537	-1.76	-1.95	0.24	3.34	-0.72	1.60
538	0.38	-2.10	-0.43	7.32	7.42	1.89
539	-0.56	1.70	1.06	-6.34	1.21	3.33
540	3.82	-0.39	3.89	1.21	2.60	6.32
542	0.00	-1.48	0.53	2.71	10.47	-1.23
543	-2.71	1.43	7.26	5.56	11.46	3.99
544	-0.84	0.58	3.16	5.52	-8.21	-1.99
545	-1.46	-2.76	-3.62	3.60	-7.73	-15.82
546	-1.10	-3.18	0.68	5.71	14.24	1.36

Broj točke	Koordinatne razlike FARO			Koordinatne razlike iPhone		
	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$
547	-0.97	-0.77	0.72	3.27	13.39	-0.29
548	-0.40	-2.17	0.64	0.29	11.24	-3.56
549	3.07	1.03	-6.79	6.40	12.39	3.75
550	4.58	2.43	-8.44	-13.20	15.36	6.61
551	0.78	-1.27	-1.01	6.03	-1.08	4.26
552	0.63	-2.33	-1.76	0.59	0.55	-5.50
553	0.74	0.17	-0.87	0.68	1.10	-7.90
554	-4.31	1.57	5.06	-0.75	1.70	-7.32
555	-0.12	1.59	0.53	5.00	0.85	3.64
556	-2.01	2.48	1.75	3.04	1.69	1.28
557	0.80	0.17	-0.04	5.58	-1.29	1.10
558	5.79	0.39	-0.45	4.69	3.85	-1.08
559	0.82	0.44	-3.96	2.46	-3.47	-7.37
560	-0.45	-0.42	0.56	-2.81	-4.82	-2.26
561	-0.28	2.97	1.86	-5.19	-6.99	-2.58
562	1.82	1.91	-2.04	5.35	-1.95	-13.95
563	3.11	-2.49	0.44	4.00	-5.87	-6.60
700	-1.40	-5.32	2.05	-0.64	1.40	0.07
703	-1.82	-5.21	8.16	-0.74	5.59	-1.12
704	2.36	-6.03	1.45	-0.93	7.65	-2.41
711	0.06	0.01	-0.40	-2.75	2.75	1.17
712	1.10	-7.93	1.54	-0.01	2.55	1.60
715	-0.78	-1.00	-0.96	-5.38	4.05	-1.33
717	1.37	-4.38	-2.37	1.51	1.37	-0.96
718	1.34	-2.44	0.94	-1.92	4.08	-3.25
720	3.46	-3.20	1.48	-0.32	-0.43	-9.55
721	1.96	-5.09	-2.08	0.99	10.28	-4.37
723	1.21	-2.36	-0.75	1.48	-0.82	-1.34

Broj točke	Koordinatne razlike FARO			Koordinatne razlike iPhone		
	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$
725	2.26	2.19	-1.00	-2.14	-1.18	-11.29
726	0.23	-0.68	-1.78	-4.82	-3.54	4.56
728	-1.11	2.73	-0.24	-13.05	4.18	4.96
729	1.51	-1.86	2.09	1.94	-2.62	-2.05
730	8.05	0.49	-4.10	7.96	-0.74	-10.66
731	0.47	1.92	0.86	-0.98	-1.26	-8.15
735	0.41	-1.61	-1.93	0.84	-7.31	-5.42
736	2.41	3.37	-1.09	2.01	1.58	-0.52
738	0.96	-4.88	0.41	-4.01	8.66	-7.70
739	-3.58	2.10	-4.94	5.05	-6.16	-14.13
741	2.39	-1.37	0.78	-0.52	-6.31	9.31
742	2.61	-0.18	-1.97	1.73	-11.12	-5.69
743	0.86	-0.60	1.38	3.23	9.34	5.16
744	0.97	-1.21	-1.97	-1.99	-0.30	-1.87
745	-1.23	1.00	-2.72	-2.41	-0.40	-1.12
746	-0.97	-3.23	-1.22	-1.64	2.10	-0.08
747	-1.27	-5.02	-1.78	-3.53	1.98	3.29
748	-1.51	1.11	-3.66	-2.49	-0.42	-1.60
749	0.69	4.90	-3.50	-2.84	1.05	-0.50
750	-3.76	0.28	-2.12	-3.58	2.35	-2.71
751	-2.55	-1.61	-3.07	-4.37	3.08	-0.55
752	-3.39	4.06	-0.34	-3.21	8.19	-4.29
753	-1.23	4.44	-2.24	-4.94	2.36	1.55
762	-4.49	3.21	-0.95	-3.96	-1.91	-3.12
763	3.08	-3.59	1.03	-1.24	-3.05	12.07
770	3.00	-2.24	2.51	5.12	-3.17	-7.10
771	1.58	-1.05	2.04	6.07	-0.81	-7.82
772	2.36	0.85	1.81	7.18	-2.01	-3.70

Broj točke	Koordinatne razlike FARO			Koordinatne razlike iPhone		
	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$	$\Delta X[\text{cm}]$	$\Delta Y[\text{cm}]$	$\Delta Z[\text{cm}]$
774	1.74	3.60	-3.23	-9.27	-1.14	-0.70
776	-1.80	0.28	-2.87	-0.03	-0.77	0.24
777	5.04	-1.19	2.34	-6.36	-2.50	-4.25
778	-0.90	0.44	2.81	-7.22	-6.99	-0.46
779	-2.88	-0.40	-2.05	-7.84	-1.90	-0.06
780	-2.57	-0.56	-1.54	0.03	-1.99	-1.47
781	-5.16	0.42	-1.86	-1.09	-0.62	0.82
782	-0.73	0.07	-0.13	-8.68	0.25	0.58
783	1.24	2.70	-7.56	-8.09	-0.27	-0.55
784	-5.81	-1.42	-2.71	-7.25	4.12	-7.85
785	-5.98	-0.17	-0.75	-0.40	2.01	1.01
787	-4.92	4.36	-6.63	1.23	9.08	-11.28
788	-5.46	-0.52	-4.70	0.43	1.36	-10.29
797	-7.47	3.68	-4.76	2.32	0.87	-7.09

Prilog 2 - na priloženom mediju (DVD) pohranjeni su podaci korišteni pri izradi diplomskog rada i svi postignuti rezultati. Logički su organizirani prema smislu unutar tablice 12.

Tablica 12. Sadržaj priloženog medija

Redni broj	Mapa / Datoteka	Sadržaj
1.	VStancic_Diplomski_rad.docx	Tekst diplomskog rada, word datoteka
2.	Racunanje_koor_polarna.xlsx	Koordinate detaljnih točaka i markica dobivenih polarnom metodom, Microsoft Excel
3.	model_faro_georeferenciran.e57	Oblak točaka izrađen na temelju podataka terestričkog laserskog skeniranja, e57
4.	model_iphone.e57	Oblak točaka izrađen na temelju podataka mobilnog laserskog skeniranja, e57
5.	Model_polarna_metoda.dwg	Žičani model izrađen na temelju podataka polarne izmjere, dwg.file

6.	animation_faro.file	Video prikaz oblaka točaka terestričkog laserskog skeniranja, mp4
7.	animation_iphone.file	Video prikaz oblaka točaka mobilnog laserskog skeniranja, mp4

OSOBNE INFORMACIJE

Vinko Stančić



 Vagonj 22, Stari Grad, 21460, Hrvatska

 021765508  +385917877869

 vstancic@geof.hr

Spol M | Datum rođenja 13/10/1999 | Državljanstvo Hrvat

RADNO ISKUSTVO

studeni 2022.-

Jadranski naftovod d.d.
ArcGIS, Pix4d, aerofotogrametrija

svibanj 2021.-studeni 2022.

Angulus-ING d.o.o.
Inženjerska geodezija, katastarska geodezija

travanj 2020.

Triangulacija d.o.o.
Stručna praksa

OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

rujan 2021.-

Diplomski studij – Geodetski fakultet, usmjerenje Geoinformatika
Fakultetski predmeti: Baze prostornih podataka, Analiza prostornih podataka, Podrška upravljanju prostorom, Geoinformacijski sustavi, Digitalna kartografija, Geovizualizacija, Napredna daljinska istraživanja itd.
Stečene vještine: analiza prostornih podataka, obrada snimki, prilagodljivost različitim zadacima, konceptualno modeliranje

rujan 2018 -srpanj 2021

Preddiplomski studij – Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu
Fakultetski predmeti: Katastar, Programiranje, Modeliranje geoinformacijama, Fotogrametrija, Izmjera zemljišta, Analiza i obrada geodetskih mjerenja, Satelitsko pozicioniranje, Državna izmjera itd.
Stečene vještine: upotrebljavanje informatičke tehnologije u rješavanju geodetskih i geoinformatičkih zadataka, baza prostornih podataka,

rujan 2014 – lipanj 2018

Srednja stručna sprema
Opća gimnazija, srednja škola Hvar

OSOBNE VJEŠTINE

Materinski jezik Hrvatski

Ostali jezici

	RAZUMIJEVANJE		GOVOR		PISANJE
	Slušanje	Čitanje	Govorna interakcija	Govorna produkcija	
Engleski	B2	B2	B2	B2	B2
Njemački	A1	A1	A1	A1	A1

Komunikacijske vještine

Dobre komunikacijske vještine stečene tijekom sezonskog rada na renti i u cocktail baru
Pristupačan, pristojan i otvoren za komunikaciju

Organizacijske / rukovoditeljske vještine

Organizacija u timu na fakultetu ili na poslu tijekom izrade projekta, zadataka i tijekom rada na terenu

Poslovne vještine

Dobro funkcioniram u timu, poštujem hijerarhijsku strukturu nadležnosti, marljiv, izvršavam zadatke na vrijeme

Računalne vještine

Upoznat sam sa radom u različitim CAD programima, GIS programima, Pix4d

Digitalne vještine

SAMOPROCJENA				
Obrada informacija	Komunikacija	Stvaranje sadržaja	Sigurnost	Rješavanje problema
Samostalni korisnik	Samostalni korisnik	Samostalni korisnik	Samostalni korisnik	Samostalni korisnik

Stupnjevi: Temeljni korisnik - Samostalni korisnik - Iskusni korisnik

[Digitalne vještine - tablica za samoprocjenu](#)

Ostale vještine

Rad kao iznajmljivač
Konobarenje
Projekt „City Island“

Vozačka dozvola

B kategorija
Voditelj brodice B kategorija
Osposobljenost udaljenog pilota A2 otvorena potkategorija