

**Sveučilište u Zagrebu
Geodetski fakultet**

DIPLOMSKI RAD

Izmjera i vizualizacija crkve Sv. Mihovila u Dolu na Hvaru

Izradio:

Stipe Sanseović

0083209293

sanseovics@geof.hr

Mentor: prof. dr. sc. Miodrag Roić

Voditelj: mag. ing. geod. et geoinf. Doris Pivac



Zagreb, studeni 2017.

I. Autor

Ime i prezime: Stipe Sanseović

Datum i mjesto rođenja: 24. 05. 1993., Split, Republika Hrvatska

II. Diplomski rad

Naslov: Izmjera i vizualizacija crkve Sv. Mihovila u Dolu na Hvaru

Mentor: prof. dr. sc. Miodrag Roić

Komentor/voditelj: mag. ing. geod. et geoinf. Doris Pivac

III. Ocjena i obrana

Datum zadavanja zadatka: 19.01.2017

Datum obrane: 24.11.2017.

Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:

1. prof. dr. sc. Miodrag Roić
2. prof. dr. sc. Siniša Mastelić-Ivić
3. dr. sc. Hrvoje Tomić

Izmjera i vizualizacija crkve Sv. Mihovila u Dolu na Hvaru

Stipe Sanseović

Sažetak: U ovom diplomskom radu prikazan je postupak 3D izmjere i vizualizacije crkve Svetog Mihovila u Dolu na otoku Hvaru. Detaljno su objašnjene sve metode i postupci koje su korišteni prilikom izrade 3D modela. Poseban naglasak je stavljen na metodu fotogrametrije koja predstavlja okosnicu za generiranje oblaka točaka. Naime oblak točaka predstavlja osnovni produkt iz kojega je moguće izvesti sve ostale fotogrametrijske proizvode kao što su teksturirani 3D model, ortofoto plan, digitalni model reljefa i dr. Zatim je rezimirana teorijska osnova postupaka koji su korišteni prilikom obrade podataka. Posebno su razmotreni automatizirani postupci kojima se koriste programi za obradu fotogrametrijskih podataka, konkretno u ovom slučaju Pix4Dmapper. Izvršena je i analiza kvalitete dobivenih proizvoda, na temelju koje je zaključeno da bi takvi modeli u skoroj budućnosti mogli predstavljati temelj za uspostavu i održavanje registara prostornih podataka kao što je npr. BIM.

Ključne riječi: fotogrametrija, 3D model, oblak točaka, orijentacijska točka, Pix4D.

Abstract: This master thesis presents a 3D measurement and visualization of St. Michael's church in Dol on the island of Hvar. It gives a detailed explanation for all the methods and procedures used in 3D modeling. Particular emphasis is placed around the photogrammetry, which represents the backbone for generating point cloud. Namely, the point cloud is the basic product from which all other photogrammetry products, such as a textured 3D model, orthophoto map, digital terrain model etc., can be exported. In addition, the theoretical basis of the procedures used for data processing was summarized. Automated procedures used by photogrammetric data processing softwares were particularly considered, specifically in this case, Pix4Dmapper. The analysis of the quality was also obtained, based on which it was concluded that such models, in the near future, could represent the basis for establishment and maintenance of spatial data registers such as BIM.

Key words: photogrammetry, 3D model, point cloud, ground control point, Pix4D.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	5
1.1. Motivacija.....	6
1.2. Hipoteza	6
1.3. Metodologija	6
2. Crkva Sv. Mihovila.....	7
3. Plan mjerenja	11
3.1. Geodetska osnova.....	11
3.2. Izmjera objekta	13
4. Metode izmjere	14
4.1. GNSS izmjera.....	14
4.2. Poligonometrija.....	17
4.3. Tahimetrija.....	18
4.4. Fotogrametrija	19
4.4.1. Aerofotogrametrija – snimanje bespilotnom letjelicom	19
4.4.2. Terestrička fotogrametrija.....	21
5. Obrada podataka.....	23
5.1. Izjednačenje poligonske mreže	23
5.2. Obrada podataka prikupljenih polarnom metodom	25
5.3. Obrada fotogrametrijskih podataka.....	26
5.3.1. Uparivanje fotografija	26
5.3.2. Georeferenciranje	29
5.3.3. Prostorna rezolucija	30
5.3.4. Postupak obrade podataka	31
6. Terenska mjerenja.....	34
7. Postignuti rezultati	39
7.1. Teksturirani 3D model crkve i okolnog područja	39
7.2. Teksturirani 3D model unutrašnjosti crkve.....	43
7.3. Ortofoto plan.....	45
8. Analiza rezultata.....	49
8.1. Položajna točnost	49
8.2. Geometrijska točnost.....	52
8.3. Estetska komponenta	59
8.4. Preciznost mjerenja	60
9. Mogućnosti 3D modela.....	63
10. Zaključak	66
Popis literature.....	67
Popis URL-ova	68
Popis slika	69
Popis tablica	71
Prilozi.....	72
Životopis	84

1. Uvod

Interes za ažurnim prostornim podacima svakog dana je sve veći, i njihova uloga postaje iznimno važna u donošenju odluka pri izgradnji, upotrebi i upravljanju s urbanom infrastrukturom (Cetl, 2013). Svijet oko nas je nedvojbeno trodimenzionalan i većinu ljudi više ne zadovoljavaju 2D prikazi bilo u poslovne ili njihove osobne svrhe, stoga je prirodno takve prikaze nadograditi sa trodimenzionalnim upisom objekata (Roić, 2012). Može se reći da se moderno društvo suočava s važnom promjenom paradigme prostornih podataka iz 2D u 3D. U Republici Hrvatskoj je tradicionalno solidno razvijen sustav upisa 2D katastarskih čestica u katastar i zemljišne knjige ali postoji očiti problem u opisu obilježja zemljišta u 3D smislu, iz razloga što je takva dokumentacija vrlo siromašna, gotovo neznatna. Zato je potrebno razviti upis prava 3D objekata zajedno s njihovim prostornim opisom, što bi uvelike olakšalo gospodarenje prostorom.

U svrhu učinkovitog upravljanja prostornim i ostalim informacijama, prijeko je potrebna uspostava ažurnih GIS sustava za manipuliranje i vizualizaciju prostornih podataka (Stančić i drugi, 2014.) Uloga takvih sustava je podrška u donošenju odluka pri izgradnji, upotrebi i upravljanju prostorom pogotovo urbanom infrastrukturom. Kao podrška potrebama za učinkovitijim upravljanjem prostornim podacima, postupno se usavršava novi unaprijeđeni koncept 3D modeliranja i vizualizacije pod nazivom BIM (engl. *Building information modeling*). Proces uspostave BIM-a obuhvaća sve, od projektiranja objekta do njegove eksploatacije i održavanja, te objedinjuje sve struke u građevinarstvu i arhitekturi. Stoga možemo reći da BIM zapravo predstavlja način upravljanja cjelokupnim procesom životnog ciklusa građevine od njene ideje do uporabe (Bečirević i drugi, 2014).

Kvalitetno 3D modeliranje stvarnih objekata predstavlja veliki izazov, i tu treba istaknuti veliki potencijal geodezije kod prikupljanja, te modeliranja 3D podataka ali naposljetku i kod izrade virtualne stvarnosti (Gašparović i Gajski, 2013). Cilj ovog diplomskog rada je primjenom konvencionalnih geodetskih metoda izraditi 3D model područja od interesa. Nakon izrade i vizualizacije objekta izvršit će se analiza kvalitete generiranog modela, temeljem koje će biti razmotrene mogućnosti njegove primjene.

Predmet izmjere je sakralni objekt odnosno crkva Sv. Mihovila u Dolu na otoku Hvaru. Oko crkve će biti postavljena geodetska osnova koja će predstavljati temelj za smještaj 3D modela unutar globalnog koordinatnog sustava. Položaj točaka geodetske osnove će biti određen GNSS RTK metodom iako treba napomenuti da će dio točaka koje se nalaze u neposrednoj blizini crkve biti određen metodom poligonometrije koja je znatno preciznija od RTK metode. Točke geodetske osnove će poslužiti kao orijentacija za fotogrametrijsko snimanje koje predstavlja temelj za izradu 3D modela. Fotografiranje unutrašnjosti i fasade crkve će biti obavljeno terestrički bez korištenja stativa, a fotografiranje gornjih dijelova crkve i šireg područja će biti obavljeno iz zraka, bespilotnom letjelicom. 3D model i ortofoto plan područja od interesa će biti izrađeni pomoću računalnog programa Pix4D.

Ocjena točnosti će biti provedena za geodetsku osnovu i za generirane fotogrametrijske proizvode. Geodetska osnova će biti strogo izjednačena metodom najmanjih kvadrata uz naravno provedenu analizu kvalitete, dok će kvaliteta 3D modela biti analizirana neovisno.

1.1. Motivacija

Modeliranje 3D objekata nije novi pojam, ali tek zadnjih nekoliko godina zahvaljujući ubrzanom razvoju novih tehnologija i računalnih programa koje su uvelike olakšale njihovu izradu, 3D modeliranje se našlo u centru pažnje geodetske struke. Nadalje osim što su to vrlo vjerodostojni prikazi stvarnosti, takvi modeli su vrlo atraktivni i vizualno zanimljivi. Ali naravno nije estetika glavni motiv autora da napiše ovaj diplomski rad. Naime u posljednjih nekoliko godina, potrebe za izradom 3D modela rastu velikom brzinom, i gotovo nema dileme da će u budućnosti takvi modeli imati široku primjenu.

1.2. Hipoteza

Činjenica je da su mogućnosti i primjene 3D modela sve veće, ali glavno pitanje je koliko se možemo pouzdati u takve prikaze s obzirom da bi oni trebali predstavljati vjerodostojnu i mjerljivu simulaciju realnog svijeta. 3D modeli se izrađuju iz prostornih podataka dobivenih različitim geodetskim metodama: terestričkom izmjerom, aerofotogrametrijom, laserskim skeniranjem (terestrički i iz zraka), GNSS izmjerom, batimetrijom, te iz postojećih kartografskih podataka. Kvaliteta takvih modela izravno ovisi o kvaliteti podataka iz kojih se izrađuje. Stoga, cilj ovog diplomskog rada je vizualizacija sakralnog objekta na temelju podataka nekoliko geodetskih metoda, ali i analiza kvalitete takvog modela s obzirom na provedena mjerenja. Kvaliteta dobivenog modela bit će ispitana pomoću kontrolnih mjerenja koja će biti u potpunosti neovisna. Usporedbom rezultata očekuje se prosječna pogreška u iznosu od 1 centimetar.

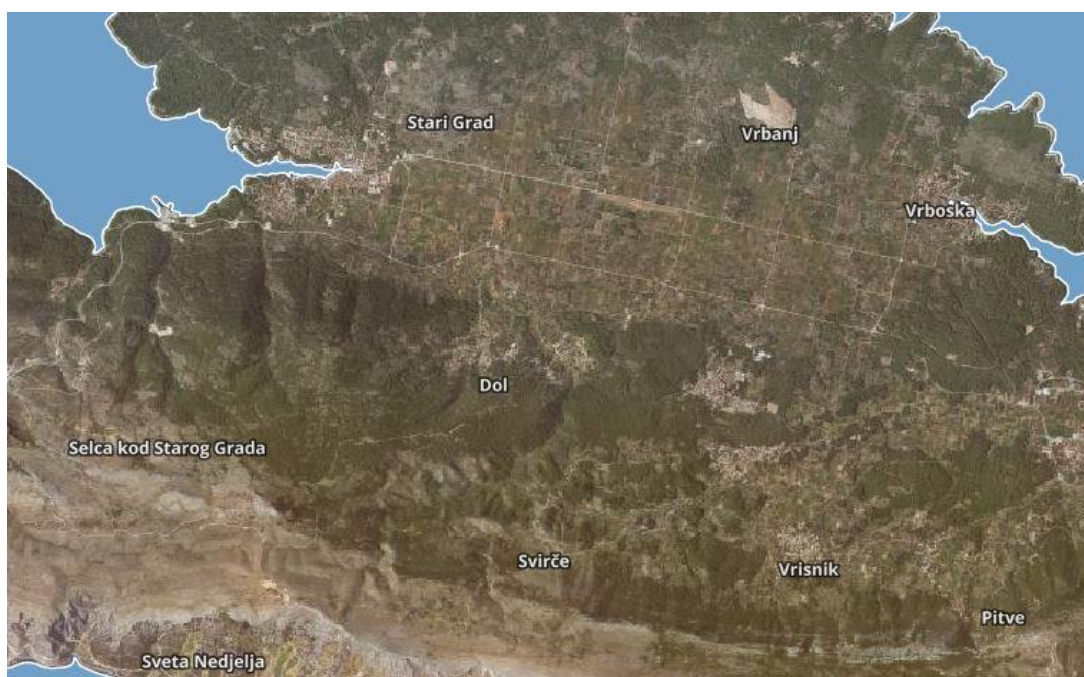
1.3. Metodologija

Model crkve Sv. Mihovila će biti produkt kombinacije nekoliko geodetskih metoda. S obzirom da se radi o 3D fotogrametriji lako je zaključiti da su aerofotogrametrija te terestrička fotogrametrija glavne stavke za izradu samog modela. Osim fotogrametrije, u sklopu izrade diplomskog rada korištena su GNSS mjerenja, poligonometrija, tahimetrija te mjerenje duljina laserskim daljinomjerom. Za obradu podataka koristit ću računalne programe Microsoft Excel te Columbus, a za izradu samog modela, Pix4Dmapper. Više o metodama izmjere i obradi podataka u nastavku diplomskog rada.

2. Crkva Sv. Mihovila


U ovom poglavlju će u kratkim crtama biti iznesene neke bitne činjenice vezane za sami predmet izmjere. Naime crkva Svetog Mihovila se nalazi u Dolu na otoku Hvaru. Kao i svako mjesto na Hvaru, Dol obiluje sakralnim i monumentalnim objektima koji su dio bogate povijesne ostavštine otoka Hvara. Otok Hvar poznat je od antike po svom važnom strateškom položaju, bogatstvu slojevitosti povijesnih razdoblja te kulturnim i prirodnim spomenicima. Naime otok Hvar je naseljen još od prapovijesti. Prema nalazima u Grapčevoj i Markovoj špilji, arheolozi tvrde da su pronašli tragove života na otoku Hvaru koji sežu od 3500. godine prije Krista. U pisanoj povijesti, otok Hvar ulazi 385./384. prije Krista, kada na njemu Grci s otoka Parosa u Egejskom moru osnivaju koloniju na mjestu današnjeg Staroga Grada (grč. *Pharos*). Od toga razdoblja pa sve do danas otok Hvar je bio pod vladavinom mnogih naroda (Iliri, Rimljani, Mleci, Ugari...) koji su ostavili trag u toj bogatoj povijesti. Ostavština tih stranih kultura je samo dijelom sačuvana ali uvelike doprinosi boljem razumjevanju povijesti i života na otoku Hvaru.

Dol je naselje smješteno uz južni rub najvećeg polja (*Starogradsko polje* ili *ager*) na otoku Hvaru, koje je zbog svoje specifičnosti te povijesne važnosti našlo svoje mjesto čak i na UNESCO-vom popisu svjetske baštine. Osim toga, naselje je smješteno u samoj unutrašnjosti otoka (Slika 2.1) te je skriveno od mora brdima, ali zbog brojnih izvora pitke vode idealno je bilo za naseljavanje još u opasnim prapovijesnim vremenima. Prema predaji, Dol je jedno od najstarijih naselja na otoku što potvrđuju i arheološki nalazi u njegovoj okolici koji ukazuju na naseljenost područja od prapovijesti nadalje. Najznačajniji nalazi su ilirska gradina Purkin kuk, rimska villa rustica (lat. *gospodarsko imanje*) Kupinovik, srednjovjekovna crkvice sv. Dujma iz 11. st. itd. Valja spomenuti da je naselje smješteno u dvije odvojene udoline između kojih se nalazi uzvišenje sa crkvom Sv. Mihovila Arhanđela (Moškateo, 2007). U istočnoj dolini se nalazi Dol sv. Ane (nekad sv. Barbare), a u zapadnoj Dol sv. Marije (nekad sv. Petra).



Slika 2.1: Smještaj naselja Dol, približno M 1:50 000 (službeni DOF)

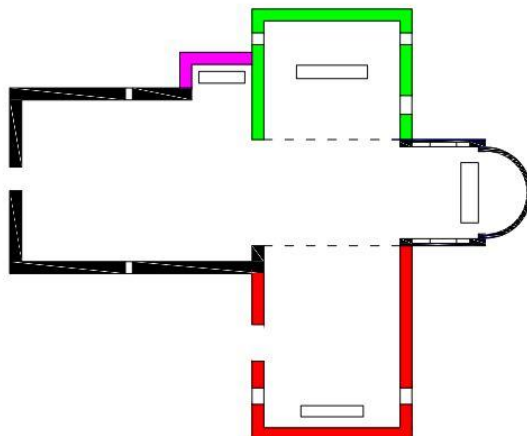
Crkva Sv. Mihovila ujedno je i župna crkva u mjestu Dolu, a specifična je baš zbog svog položaja. Nalazi se na brežuljku koji odvaja dva zaseoka od kojih je svaki smješten u svojoj udolini, istočno i zapadno od crkve. Baš zbog svog istaknutog položaja u prošlosti je služila kao putokaz i orijentacija. Također je važno naglasiti kako je zvonik crkve ujedno i trigonometrijska točka uspostavljena 1952. godine, koja je služila kao orijentacijska točka za izmjeru zemljišta (Slika 2.2).

PODACI O TRIGONOMETRIJSKOJ TOČKI	
Položajni opis s orijentacionom slikom	
Red Broj i ime točke 8 428	
Nalazi se	
Nar. Rep. HRVATSKA	
Kotar HVAR	
Mjesto-selo Dol	
Rudina	
Sektija 1 : 100.000:	
Detaljna slika položaja točke	
vizirano  Crkva u selu Dol kao vizurna točka.	
Stabilizacija	
Signalizacija	
Koordinate	
φ =	
λ =	
Y =	
X =	
y = 6 338 038,415	
x = 4 784 433,543	
y =	
x =	
Nadmorska visina	
H =	
Nagibi	
Ka trigon. točki	
0	
"	
Postavio: Vukojević dana: 15. I. 1952.	
Promjene, nadopune i posebne napomene: Vizirano u sredinu kugle ispod krsta. Crkva je iznad sela na brnjegu.	
Mjerilo: 1:10000 V.D. Dubrovnik Procjena: Brnčić	

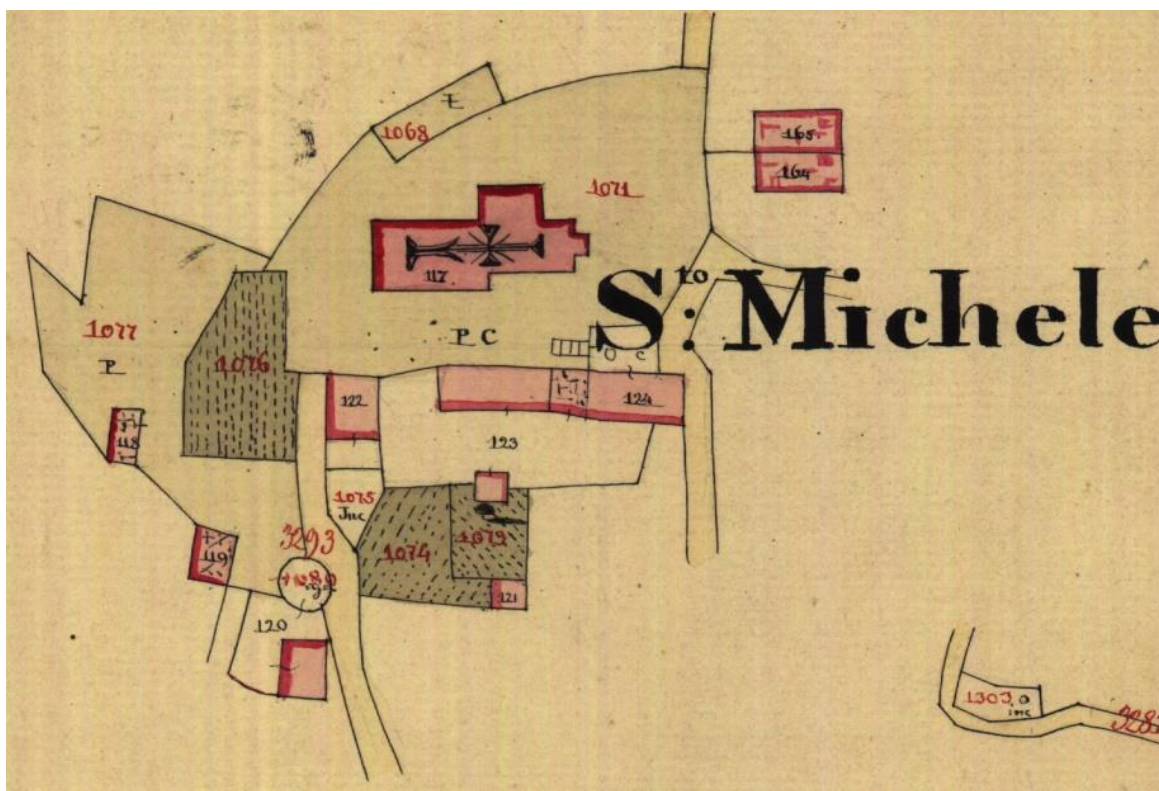
Slika 2.2: Trigonometrijska točka – zvonik crkve

Prvi spomen crkve sv. Mihovila seže daleko u prošlost. U Hvarskom statutu iz 1331. godine spominje se izreka: "U Velom Dolu pod brdom svetog Mihovila". Iako se ne zna je li na tome mjestu postojala crkva i prije te godine, pretpostavlja se da je na tome strateškom mjestu postojalo nekakvo svetište još u prapovijesti, a prva katolička crkva, ako ne u predromanci, onda sigurno na samom početku romaničkog razdoblja. Prve preinake, za koje postoje pisani dokazi, dogodile su se od 1759. do 1763. kada se dovršava sakristija s kapelom sa sjeverne strane (Slika 2.3). S tolikom crkvom Dol ulazi u 19. st. kada dolazi do naglog porasta broja stanovnika i javlja se potreba za novim proširenjem crkve. Na austrijskom katastru iz 1834. godine površina crkve iznosila je oko 170 kvadratnih metara (Slika 2.4). Sljedeća preinaka crkve je iz 1851. godine kada je na sjevernoj strani napravljena kapelica Gospe od Ružarija (Slika 2.3). Ipak, to nije bilo dovoljno pa je 1866. tadašnji župnik započeo izgradnju nove kapele s južne strane (Slika 2.3). (Moškateo, 2007)

Tlocrt stare crkve sv. Mihovila u Dolu



Slika 2.3: Tlocrt stare crkve i njenih naogradnji (Moškateo, 2007)



Slika 2.4: Katastarski plan iz 1834. godine (M 1:1440)

Krajem 19 stoljeća, dolaskom novog župnika, polako se pokreće pitanje izgradnje nove crkve u Dolu. Ideja je prihvaćena bez većih problema, te već krajem ljeta 1904. počinje rušenje stare crkve na čije mjesto će doći veća i modernija crkva (Slika 2.5). Ta nova župna crkva je zapravo jednobrodna crkva, a djelo je hrvatskog arhitekta Ćirila Metoda Ivekovića (1864 - 1933). Izgrađena je eklektičnim stilom, kombinacijom neoromanike i neogotike. Glavno pročelje jedinstveno je po načinu gradnje na otoku Hvaru, a zvonik je spojen s glavnim brodom te ima funkciju i prostranog atrija. (Moškateo, 2007)



Slika 2.5: Slika crkve iz 1910. godine (Moškateo, 2007)

Crkva Sv. Mihovila upisana je u katastar nekretnina kao zasebna čestica u sklopu Katastarske općine Dol. Nažalost taj upis se još i danas vodi prema podacima o katastarskim česticama upisanima još u Franciskanskom katastru (austrijska izmjera 1930-ih), stoga su takvi upisi i prikazi u katastru nekretnina vrlo nekvalitetni i nepouzdana (Slika 2.6). Crkva je upisana zajedno sa svom potrebnom dokumentacijom, a prema posjedovnom listu crkva ima površinu 205 kvadratnih metara (Slika 2.6). S druge strane u zemljišnoj knjizi je situacija malo drugačija. Naime u zemljišnoj knjizi crkva nije upisana odnosno ne postoji zemljišno knjižni uložak za nju, dok čestice oko crkve koje predstavljaju dvorište (šamatorij) uredno su upisane.



NESLUŽBENA KOPIJA

REPUBLIKA HRVATSKA
DRŽAVNA GEODETSKA UPRAVA
PODRUČNI URED ZA KATASTAR SPLIT
ODJEL ZA KATASTAR NEKRETNINA STARI GRAD

Stanje na dan: 24.05.2017. 23:33

PRIJEPIŠ POSJEDOVNOG LISTA

Katastarska općina: DOL (Mbr. 311669)

Posjedovni list: 335

Udio	Prezime i ime odnosno tvrtka ili naziv, prebivalište odnosno sjedište upisane osobe	OIB
1/1	CRKVA SV.MIHOVILA, DOL, DOL	

Podaci o katastarskim česticama

Zgr.	Dio	Broj katastarske čestice	Adresa katastarske čestice/Način uporabe katastarske čestice/Način uporabe zgrade, naziv zgrade, kućni broj zgrade	Površina/m ²	Broj D.L.	Posebni pravni režimi	Primjedba
*		13/1	ŠAMATORIJ OSTALO NEPLODNO	263 263	4		
*		13/2	ŠAMATORIJ OSTALO NEPLODNO	18 18	4		
*		117	KOD KUĆE OSTALO NEPLODNO	205 205	4		
*		118	KOD KUĆE OSTALO NEPLODNO	36 36	4		
*		121	KOD KUĆE OSTALO NEPLODNO	14 14	4		
*		122/1	KOD KUĆE OSTALO NEPLODNO	53 53	4		
*		122/2	KOD KUĆE	167	4		

Slika 2.6: Podaci iz katastarskog operata (crkva je čestica *117): Kopija katastarskog plana (lijevo) i Prijepis posjedovnog lista (desno) (ZIS)

3. Plan mjerenja

Glavni zadatak ovog diplomskog rada je izrada 3D modela crkve Sv. Mihovila kao i izrada ortofoto plana šireg područja oko crkve. Iz tog razloga bilo je nužno izraditi optimalni plan mjerenja, kako bi prikaz izgledao što vjerodostojnije. Prvi, i jedan od važnijih zadataka bio je rekognisciranje terena i postavljanje lokalne geodetske osnove koja zapravo predstavlja temelj svakog geodetskog mjerenja. Nadalje, nakon postavljanja osnove bilo je potrebno obaviti detaljnu izmjeru crkve i područja od interesa primjenom adekvatnih geodetskih metoda koje su detaljno opisane u sljedećem poglavlju. Prema planu mjerenja, za obavljanje terenskih radova predviđeno je 4 dana.

3.1. 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). Dakle nakon rekognisciranja terena potrebno je ustanoviti raspored točaka geodetske osnove koje će poslužiti kao orijentacijske točke (engl. *ground control point*, *GCP*) za aerofotogrametriju. Glavna svrha orijentacijskih točaka je georeferenciranje projekta te povećanje njegove položajne točnosti. Broj točaka, kao i sama udaljenost među njima ovise o veličini područja od interesa, ali i o očekivanoj kvaliteti konačnog modela. Iako je uglavnom teren taj koji diktira raspored točaka, u mom slučaju orijentacijske točke su postavljene prilično homogeno na udaljenosti od otprilike 40 metara jedna od druge. Postavljeno je 17 točaka geodetske osnove (O1, O2,.... O17), a plan rasporeda orijentacijskih točaka napravljen je u softveru QuantumGIS (Slika 3.1).



Slika 3.1: Plan orijentacijskih točaka za aerofotogrametriju (približno M 1:2 000)

Prilikom postavljanja orijentacijskih točaka potrebno je voditi računa da su oznake dovoljno velike, te da su napravljene korištenjem kontrastnih boja kako bi bile što uočljivije prilikom snimanja iz zraka (Slika 3.2). Također sam vodio računa da je horizont iznad oznaka što otvoreniji kako bi mogao nesmetano odrediti koordinate točaka pomoću GNSS RTK metode.



Slika 3.2: Oznake na terenu (orijentacijske točke)

Nadalje, uspostavljena je i geodetska osnova koja će poslužiti za određivanje tlocrta crkve metodom tahimetrije. Također će poslužiti i za određivanje koordinata orijentacijskih točaka postavljenih na fasadi crkve, koje predstavljaju osnovu za terestričku fotogrametriju. Realizacije takve osnove je geodetska mreža oko crkve koja se sastoji od 5 točaka prethodno definirane osnove (O10, O17, O16, O15, O14), ali je i nadopunjena s dvije nove točke (O18, O19). Točka O19 se nalazi u crkvi, i predstavlja osnovu za postavljanje orijentacijskih točaka za fotogrametrijsko snimanje unutar crkve. Za određivanje koordinata točaka uspostavljene geodetske mreže koristit će se metoda poligonometrije.



Slika 3.3: Poligonska mreža oko crkve

3.2. Izmjera objekta

Detaljna izmjera objekta obuhvaća sve radnje prilikom prikupljanja prostornih podataka o objektu od interesa. Kvaliteta izmjere direktno ovisi o kvaliteti geodetske osnove jer se pogreška osnove prenosi na svako novo mjerenje, stoga ona mora biti uspostavljena vrlo pažljivo i sa zadovoljavajućom točnošću. Nakon pažljive uspostave te određivanja koordinata geodetske osnove pristupa se detaljnoj izmjeri.

Detaljna izmjera crkve Sv.Mihovila je obavljena kombinacijom nekoliko geodetskih metoda a to su: tahimetrija, aerofotogrametrija te terestrička fotogrametrija.

Tahimetrija je korištena prilikom određivanja vanjskih gabarita crkve, iz čega je generiran tlocrt crkve u određenom mjerilu. Opažane su sve lomne točke crkve u horizontalnom smislu a opažanja su provedena sa 5 stajališta: O14, O15, O16, O17 i O18. Koordinate orijentacijskih točaka za potrebe terestričke fotogrametrije su također određene primjenom tahimetrije. Orijentacijske točke izvan crkve su zapravo unaprijed definirane karakteristične točke na crkvi (fuge u kamenu, rubovi vrata, prozora...), a opažane su također sa stajališta O14, O15, O16, O17 i O18. Sa stajališta O19 opažane su orijentacijske točke unutar crkve koje su bile signalizirane pomoću mjernih markica (Slika 3.4).

Fotogrametrija je temeljna metoda za izradu ovog diplomskog rada, bez obzira govorimo li aerofotogrametriji ili terestričkoj fotogrametriji. Jedina razlika je u tome što će se za svaku od te dvije metode koristiti različita kamera. Naime primjenom navedenih metoda bit će prikupljen čitav niz fotografija s velikim međusobnim preklapom (min 60%), iz čega će biti generiran oblak točaka koji će sadržavati sve karakteristične oblike crkve. Nakon pridruživanja orijentacijskih točaka s poznatim koordinatama, model će dobiti apsolutni smještaj u prostoru.

Nakon izmjere objekta provest će se još jedno neovisno mjerenje, koje će predstavljati kontrolu kvalitete dobivenog 3D modela. Naime, pomoću ručnog daljinomjera ću izmjeriti neke karakteristične duljine na crkvi (duljina vrata, visina prozora...) te ih usporediti sa istim duljinama koje će biti izmjerene na 3D modelu.



Slika 3.4: GCP izvan crkve označen crvenom bojom (lijevo) i GCP unutar crkve označen mjernom markicom (desno)

4. Metode izmjere

Izmjera zemljišta obuhvaća prikupljanje prostornih podataka najčešće u obliku koordinata i visina detaljnih točaka kojima su definirani prirodni ili izgrađeni objekti na terenu, u cilju izrade karte, plana ili situacije tog područja. (Ivković i dr. 2013) Odabir optimalne metode za izmjeru nekog objekta ovisi o veličini objekta kao i o broju karakterističnih točaka na tom objektu (Slika 4.1). S obzirom da je crkva Sv. Mihovila velika građevina sa velikim brojem karakterističnih točaka može se konstatirati kako je fotogrametrija optimalna metoda za njenu izmjeru.



Slika 4.1: Metode izmjere prema broju opažanih točaka i veličini objekta (Ivković i dr. 2013)

4.1. GNSS izmjera

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) predstavljaju autonomne sustave za prostorno pozicioniranje s globalnom pokrivenošću. GNSS omogućuje malim elektroničkim prijateljima preciznu determinaciju njihove lokacije u obliku tri koordinate (geografska širina, geografska dužina, visina), na temelju preciznog mjerenja vremena putovanja GNSS signala od satelita do prijatelja. Trenutno su operativna dva satelitska sustava, GPS (SAD) i GLONASS (Rusija), dok su GALILEO (Europa), KOMPASS (Kina) i QZSS (Japan) još uvijek u izgradnji.

GNSS tehnike opažanja definiraju se pomoću 4 parametra (Ivković i dr. 2013):

- način opažanja (APSOLUTNO / RELATIVNO)
- korištenje prijatelja (STATIČKO / KINEMATIČKO)
- opažane veličine (KODNE UDALJENOSTI / NOSEĆE FAZE)
- način obrade (REALNO VRIJEME / NAKNADNA OBRADA)

Glavna razlika između pojedinih tehnika je u preciznosti kojom se određuje pozicija prijatelja.

Prilikom izmjere crkve Sv. Mihovila, GNSS metoda je poslužila za određivanje koordinata orijentacijskih točaka, za potrebe georeferenciranja aerofotogrametrijskih snimaka (Slika 4.2). Metoda koja je korištena prilikom opažanja tih točaka je RTK (engl. *Real Time Kinematic*), a podrazumjeva relativno opažanje, kinematičko korištenje prijavnika te obradu podataka u realnom vremenu. RTK je najproduktivnija tehnika kada je potrebno odrediti veliki broj točaka u kratkom vremenu, ali s druge strane postoji potreba da se prijam signala zadrži sa minimalno 4 satelita tijekom cijelog mjerenja. U protivnom je potrebno mjerenje iznova inicijalizirati. RTK sustavi odlikuju se tehnikama određivanja ambiguiteta u pokretu, tzv. "On The Fly" (*OTF*), a glavni ograničavajući faktor njene masovne primjene je činjenica da se prijarnik u pokretu nije mogao udaljiti više od 20 km od referentnog prijavnika. Ovo je ograničenje prevladano razvojem mreže permanentnih stanica koje omogućuju korištenje RTK tehnike na udaljenostima između pokretne i referentnih stanica do 70 km (Ivković i dr. 2013). Na taj način je i u Hrvatskoj uspostavljen CROPOS, mreža 30 referentnih stanica na prosječnoj međusobnoj udaljenosti od 70 km, raspoređenih tako da pokrivaju cijelo područje Republike Hrvatske. Povezivanjem na CROPOS, koordinate traženih točaka automatski se transformiraju u službeni referentni koordinatni sustav Republike Hrvatske (*HTRS96*), a visine se odnose na službeni geoid (*HRG09*). CROPOS ima 3 servisa, a geodeti uglavnom koriste VPPS (visoko precizni pozicijski servis) koji pri kinematičkom mjerenju ostvaruje preciznost od 2 cm u horizontalnom smislu, te 4 cm prilikom određivanja visina. Koordinate točaka su određene na temelju mjerenja u dvije epohe, a za provođenje opažanja korišten je GNSS prijarnik Leica GPS1200.



Slika 4.2: Sjeverozapadni rub svake oznake (čelična bolcna) predstavlja orijentacijsku točku

Prijamnik	GX1230
Tip	Dvo-frekventni
Kanali	12 L1 + 12 L2 / WAAS / EGNOS
RTK	Da
Potrošnja energije	5.2 W
Baterije	Dvije Li-Ion 3.8 Ah / 7.2 V mini baterije Prijamnik + antena + kontroler - 15 sati (statika) Prijamnik + antena + kontroler - 10 sati (RTK)
Vanjska opskrba	Dozvoljeno od 10.5 V do 28 V
Težina	1.20 kg
Temperatura	Operativan: -40 do +65°C Skladištenje: -40 do +80°C
RTK točnost	Horizontalna: 10 mm + 1 ppm Vertikalna: 20mm + 1 ppm
Naknadna obrada (točnost)	Horizontalna: 5 mm + 0.5 ppm Vertikalna: 10 mm + 0.5 ppm
Pohrana podataka	Kompaktne memorijske kartice: 256 Mb
Kontroler	RX1210T
Zaslon	Visoko kontrastni 1/4 VGA ekran na dodir, 11 linija x 32 znaka
Tipkovnica	Potpuno osvijetljena QUERTY tipkovnica
Težina	0.48 kg
Temperatura	Operativan: -30 do + 65°C Skladištenje: -40 do +80°C
Antena	SmartTrack AX1202
Težina	0.44 kg
Temperatura	Operativan: -40 do +70°C Skladištenje: -55 do +85°C

Tablica 4.1: Tehničke karakteristike GNSS uređaja Leica GPS1200



Slika 4.3: Leica GPS1200

4.2. Poligonometrija

Svrha svakog geodetskog mjerenja odnosi se na modeliranje prostora, a osnova za svako mjerenje je trigonometrijska mreža. Pri potpuno razvijenoj trigonometrijskoj mreži, tj. do IV reda, na području od interesa dobit će se mreža točaka na udaljenosti od 1 do 3 km. Detaljna trigonometrijska mreža te gustoće je još uvijek suviše rijetka da bi se samo s tih točaka mogli izmjeriti svi objekti od interesa na terenu, odnosno da bi se model mogao što detaljnije prikazati. Stoga mrežu poznatih točaka, dobivenih triangulacijom treba progustiti. To se može učiniti pomoću niza međusobno povezanih točaka (poligonskih točaka) koje se sastavljaju u poligonske vlakove ili poligonske mreže. Oni služe kao neposredna osnova za lokalna geodetska mjerenja, a koordinate poligonskih točaka se određuju mjerenjem pravaca i duljina između tih točaka. (Ivković i dr. 2013).

Poligonski vlakovi koji su vezani na trigonometrijske točke, bilo na početku, bilo na kraju ili oboje, nazivaju se priključeni poligonski vlakovi. Isto tako, priključeni poligonski vlakovi se mogu vezati na poligonske točke, čije su koordinate prethodno određene poligonometrijom ili korištenjem neke druge geodetske metode. Na taj način je postavljena poligonska mreža za detaljno snimanje crkve Sv. Mihovila. Prvotna ideja je bila uspostava zatvorenog poligonskog vlaka oko crkve, ali zbog potrebe za uspostavom jedne poligonske točke unutar crkve (za potrebe određivanja koordinata orijentacijskih točaka unutar crkve) situacija se zakomplicirala. Iz tog razloga uspostavljena je poligonska mreže koja se zapravo sastoji od dva poligonska vlaka, zatvoreni poligonski vlak (O10, O17, O16, O15, O14 i O18) te obostrano priključeni poligonski vlak (O15, O14, O19, O18 i O17) (vidi poglavlje 3.1). Točke O10, O17, O14, O15 i O16 su ujedno i orijentacijske točke za aerofotogrametriju te su njihove koordinate prethodno određene GNSS RTK metodom dok su koordinate točaka O18 i O19 bile nepoznate. Mjerenja pravaca i duljina u poligonskoj mreži su obavljena pomoću totalne stanice Leica TS06 plus (Slika 4.5).

Leica TS06 plus 5" R500 – specifikacija	
Kutna mjerenja	
Metode	Apsolutna, dijametralna, kontinuirana
Preciznost mjerenja	5"
Prikaz podatka mjerenja na zaslonu	0.1"
Kompenzator	Četveroosni
Područje rada kompenzatora	0.5" / 1" / 1.5" / 2"
Mjerenje duljina pomoću reflektora	
Preciznost mjerenja	1.5 mm + 2 ppm
Domet - okrugla prizma	3500 metara
Domet - reflektirajuća vrpca	>1000 metara
Interval mjerenja	1 sekunda
Mjerenje duljina bez reflektora	
Domet - PinPoint R500	>500 metara
Preciznost mjerenja	2 mm + 2ppm
Rasap lasera	U prosjeku 7 x 10 mm na 30 metara
Ostale karakteristike	
Ugrađena memorija	100 000 točaka 60 000 mjerenja

Povećanje dalekozora	30x
Vidno polje dalekozora	1° 30" 2.7 metara na 100 metara
Interval izoštravanja dalekozora	1.7 metara do beskonačnosti
Tip viska	Laserski, 5 nijansi svjetline
Preciznost centriranja	1.5 mm na 1.5 metara
Vrsta baterije	Li - Ion baterija
Rad baterije	U prosjeku 30 sati
Težina	5.1 kg
Temperatura	Operativan: -20 do +50°C

Tablica 4.2: Leica TS06 plus - tehničke karakteristike



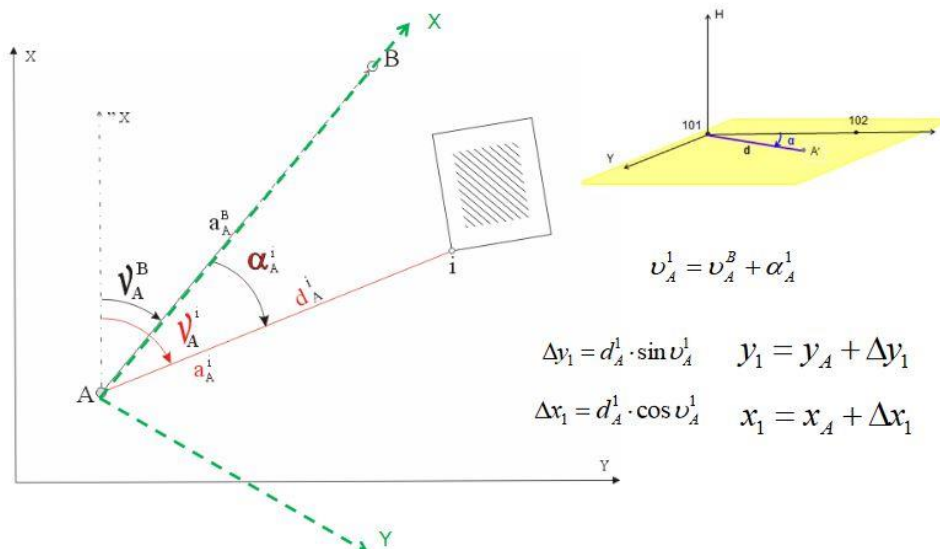
Slika 4.4: Leica TS06 plus

4.3. Tahimetrija

Tahimetrija predstavlja detaljnu izmjeru u svrhu dobijanja horizontalne i vertikalne predodžbe terena. Podrazumijeva prikupljanje terenskih podataka za točke kojima je definiran detalj, u cilju izrade plana ili karte snimljenog detalja. Ovi podaci trebaju na planu ili karti definirati položaj detaljnih točaka odnosno detalja koji su predmet izmjere. Postoje numeričke (ortogonalna, polarna) i grafičke (geodetski stol, fotogrametrija) metode snimanja detalja. Numeričke metode osiguravaju veću točnost snimljenog detalja, dok su grafičke znatno efikasnije i zato racionalnije. Što će se i koliko snimiti prvenstveno ovisi o namjeni planova, a koliko će se detaljno snimati pojedini objekti (granične linije i zemljišni oblici) isključivo ovisi o mjerilu plana. (Ivković i dr. 2013)

Za detaljnu izmjeru crkve odnosno njenog tlocrta korištena je upravo tahimetrija odnosno polarna metoda. Polarnom metodom se mjere relativne polarne koordinate pojedinih točaka detalja s obzirom na referentne točke (poligonske ili GPS točke) i neke početne smjerove sa tih točaka (poligonske stranice) (Slika 4.5). Tako je tlocrt crkve snimljen na temelju prethodno uspostavljene geodetske osnove (poligonska mreža oko crkve). Točke O14, O15, O16, O17 i O18 su poslužile kao stajališta za detaljnu izmjeru, a sama mjerenja su izvršena bez korištenja reflektora odnosno pomoću

lasera. Sa istih stajališta simultano su opažane i unaprijed definirane karakteristične točke na crkvi koje predstavljaju orijentacijske točke za terestričku fotogrametriju. Poligonska točka O19 koja se nalazi unutar crkve poslužila je kao stajalište za opažanje orijentacijskih točaka unutar crkve. Prilikom izmjere detalja te opažanja orijentacijskih točaka korištena je totalna stanica Leica TS06 plus.



Slika 4.5: Polarna metoda (URL 1)

4.4. Fotogrametrija

Fotogrametrija i daljinska istraživanja su umijeće, znanost i tehnologija dobivanja pouzdanih informacija o Zemlji i njenom okruženju, te ostalim fizičkim objektima i fizikalnim procesima, pomoću snimki i ostalih senzorskih sustava, bez neposrednog kontakta s objektom, postupcima prikupljanja, mjerenja, analize i predočavanja. Omogućava procjenu 3D koordinata (x, y, z) objekta na temelju fotografija snimljenih sa dva ili više položaja metodom prostorne triangulacije. Fotogrametrija je pogodna za snimanje većih površina, a dijeli se na aerofotogrametriju, terestričku i blizupredmetnu fotogrametriju. (Gašparović i Gajski, 2013)

Suvremene digitalne kamere omogućuju iznimno veliku fleksibilnost u pohrani i obradi fotografija dok moderna računala omogućuju brzo i jednostavno izvođenje složenih postupaka obrade i analize prikupljenih podataka. Danas se može reći da je fotogrametrija brz i jeftin način prikupljanja prostornih podataka te izrade kvalitetnih mjerljivih modela.

4.4.1. Aerofotogrametrija – snimanje bespilotnom letjelicom

U geodeziji se razvoj tehnologije najviše očituje kroz izradu i usavršavanje suvremenih instrumenata (laserskih skenera, robotizovanih totalnih stanica, digitalnih nivelira i sl.), softvera i novih metoda snimanja Zemljine površine. Metoda, o kojoj se danas vode brojne diskusije, jest metoda snimanja Zemljine površine iz zraka pomoću bespilotnih letjelica. Prvotna upotreba bespilotnih letjelica bila je u vojne svrhe za promatranje i

špijunažu, ali naglim razvojem tehnologije, bespilotne letjelice su pronašle svoju primjenu čak i u civilne svrhe. U oblasti geodezije, metodu je prvi koristio profesor Wester-Ebbinghaus 1980. godine, koji je koristio bespilotnu letjelicu u obliku helikoptera u fotogrametrijske svrhe. Upotreba bespilotnih letjelica za prikupljanje podataka fotogrametrijskim metodama, uglavnom se koristi u slučaju kada je potrebno prikupiti veliki broj podataka na relativno malom području. Za razliku od klasične aerofotogrametrije važno je napomenuti da snimanje pomoću bespilotnih letjelica daje realniji prikaz stvarnog stanja na terenu jer relativno mala visina leta eliminira utjecaj atmosferskih prilika na podatak mjerenja. Koriste se za izradu 3D modela objekata, digitalnog modela terena te digitalnih ortofoto planova. (Žilić, 2016)

Geodezija se bavi prikupljanjem i obradom prostornih podataka, a korištenje bespilotnih letjelica za različita zračna snimanja definitivno spada u domenu prikupljanja podataka. Svaki inženjer geodezije trebao bi biti dobro upoznat s načinom rada i mogućnostima korištenih instrumenata kao što su mjerna stanica, laserski skener i GNSS uređaj. Prema tome, trebao bi biti upoznat i s načinom funkcioniranja i mogućnostima bespilotne letjelice (Medić, 2015).

Izvorni podaci prikupljeni aerofotogrametrijskom metodom su fotogrametrijski snimci. Nakon ispravno provedene unutarnje i vanjske orijentacije snimaka, oni mogu poslužiti za izradu fotorealističnih 3D modela što je ujedno i glavni produkt ovog diplomskog rada. Kako bi postigli što kvalitetnije podatke mjerenja, potrebno je izraditi optimalni plan leta bespilotne letjelice. U današnje vrijeme unaprijeđene bespilotne letjelice imaju ugrađene programe koji mogu automatski izraditi plan leta na temelju nekoliko zadanih parametara (veličina područja od interesa, preklop između slika izražen postotcima, prostorna rezolucija i dr.). Za izradu diplomskog rada korištena je bespilotna letjelica DJI Phantom 4 Pro.

DJI Phantom 4 Pro	
Težina	1388 g
Duljina po dijagonali (bez propelera)	350 mm
Maksimalna brzina	S - mode: 72 km/h A - mode: 58 km/h P - mode: 50 km/h
Broj rotora	4
Maksimalna visina leta	6000 m
Tolerancija na vjetar	Do 10 m/s
Maksimalno trajanje leta	U prosjeku 30 minuta
Temperatura	Operativan: 0°C do 40°C
Satelitski pozicijski sustavi	GPS/GLONASS
Vrsta senzora	1" CMOS Broj raspoloživih piksela: 20M
Leće	FOV 84° 8.8 mm/ 24mm f/2.8 – f/11
Brzina mehaničkog zatvarača	8 – 1/2000 s
Brzina elektroničkog zatvarača	8 – 1/8000 s
Maksimalna rezolucija video snimanja	4K 60P
Memorija	Mikro SD Kapacitet: 128 GB

Tablica 4.3: DJI Phantom 4 Pro - tehničke karakteristike (URL 2)



Slika 4.6: DJI Phantom 4 Pro (URL 2)

4.4.2. Terestrička fotogrametrija

Terestrička fotogrametrija koristi iste principe kao i aerofotogrametrija, a jedina razlika je u tome što se fotografiranje obavlja sa zemljine površine. Aerofotogrametrija ima veliku perspektivnu prednost pred terestričkim snimanjem zbog mrtvih kutova, koji nastaju uslijed objekata, uzvisina i vegetacije. Prema tome terestričko snimanje pretpostavlja takvo zemljište gdje nema puno zaklanjanja i gdje se mogu naći povoljna snimališta, s kojih se pruža dobar uvid u teren. U geodeziji se najviše primjenjuje za snimanje strmih stjenovitih predjela, kanjona, kada je potrebno izraditi precizne planove krupnog mjerila u svrhu projektiranja pregradnih brana ili izgradnje mostova. (Ciceli, 2004)

Glavni produkt koji se dobije obradom fotogrametrijskih snimaka je gusti oblak točaka iz kojeg se kasnije može generirati potpuno teksturirani 3D model. Pri izradi ovog rada, terestrička fotogrametrija je poslužila kako bi progustila oblak točaka koji je dobiven na temelju aerofotogrametrijskih snimaka. Naime zbog visine leta, raslinja i drugih prepreka, na nekim djelovima crkve oblak točaka je bio prerijedak. Kao rješenje, generiran je oblak točaka temeljen na terestričkoj fotogrametriji koji zajedno sa prvotnim oblakom točaka sačinjava jednu cjelinu. Fotografiranje sa zemljine površine obavljeno je pomoću širokokutne digitalne kamere Nikon D7000.

Nikon D7000	
Rezolucija	16.20 Megapiksela
Veličina senzora	APS - C (23.6mm x 15.6mm)
Leće	Povećanje - 5.80x
ISO	100 - 6400
Brzina zatvarača	1/8000 - 30sekundi
Maksimalni otvor blende	Ovisno o objektivu
Dimenzije	132 x 105 x 77 mm
Težina	1234 g
Maloprodajna cijena	1500 \$
Vrijeme proizvodnje	08/2011
Proizviđač	Nikon

Tablica 4.4: Tehničke karakteristike - Nikon D7000 (URL3)



Slika 4.7: Nikon D7000

5. Obrada podataka

Obrada podataka podrazumijeva numeričku i grafičku obradu, a izvodi se pomoću odgovarajućih računalnih programa. Nekoliko programa je korišteno za izradu ovog rada, a većina podataka je obrađena u programu za obradu fotogrametrijskih snimki, Pix4D Mapper. AutoCAD 2012 je korišten za izradu tlocrta crkve, dok su Microsoft Excell i Columbus korišteni prilikom izjednačenja poligonske mreže.

5.1. Izjednačenje poligonske mreže

Za izjednačenje poligonskih mreža na raspolaganju stoje stroge i približne metode izjednačenja. Kod strogog izjednačenja, sve mjerene veličine sudjeluju u izjednačenju odjednom, dok kod približnog izjednačenja ne sudjeluju sve mjerene veličine istovremeno, nego po grupama, i to prvo kutne veličine, a zatim apscise i ordinate.

Izbor metode izjednačenja ima veliki utjecaj na kvalitetu traženih veličina ali i na ekonomičnost radova. Kvaliteta traženih veličina (koordinate poligonskih točaka) ovisi o (Ivković i dr. 2013):

- Preciznosti mjerenih veličina (nesigurnost instrumenta, nesigurnost metode rada, vanjski uvjeti i dr.)
- Geometrijskom obliku mreže (ovisi o terenskim uvjetima)
- Pogreškama datih veličina (nesigurnost koordinata koje ulaze u izjednačenje)
- Broju prekobrojnih mjerenja (povećanjem broja točnost raste)

Za poligonsku mrežu oko crkve provedeno je strogo izjednačenje s 29 prekobrojnih mjerenja u demo verziji programa Best-fit Columbus 3.8. Demo verzija programa Best-fit Columbus 3.8 ima sve mogućnosti kao i puna verzija, jedino je broj točaka koje sudjeluju u izjednačenju ograničen na 12. Poligonska mreža oko crkve broji 7 točaka, a u izjednačenje ulaze svi podaci mjerenja na terenu (horizontalni pravci, zenitne daljine i duljine poligonskih strana). Pri izjednačenju, program Best-fit Columbus koristi metodu najmanjih kvadrata.

Predhodna obrada podataka mjerenja provedena je u programu Microsoft Excell. Najprije je trebalo izračunati koordinate točaka geodetske osnove koje su ušle u izjednačenje kao približne vrijednosti. Te koordinate su određene na temelju aritmetičke sredine GNSS RTK mjerenja u dvije epohe za točke O10, O14, O15, O16 i O17 (Tablica 5.1). Točke O18 i O19 nisu opažane GNSS metodom.

Točka	X	Y	H
O10	509629.526	4780951.110	118.015
O14	509585.995	4781011.357	120.252
O15	509608.558	4781036.508	119.283
O16	509634.572	4781016.666	119.923
O17	509631.531	4780991.566	118.509

Tablica 5.1: Ulazni podaci - približne vrijednosti koordinata

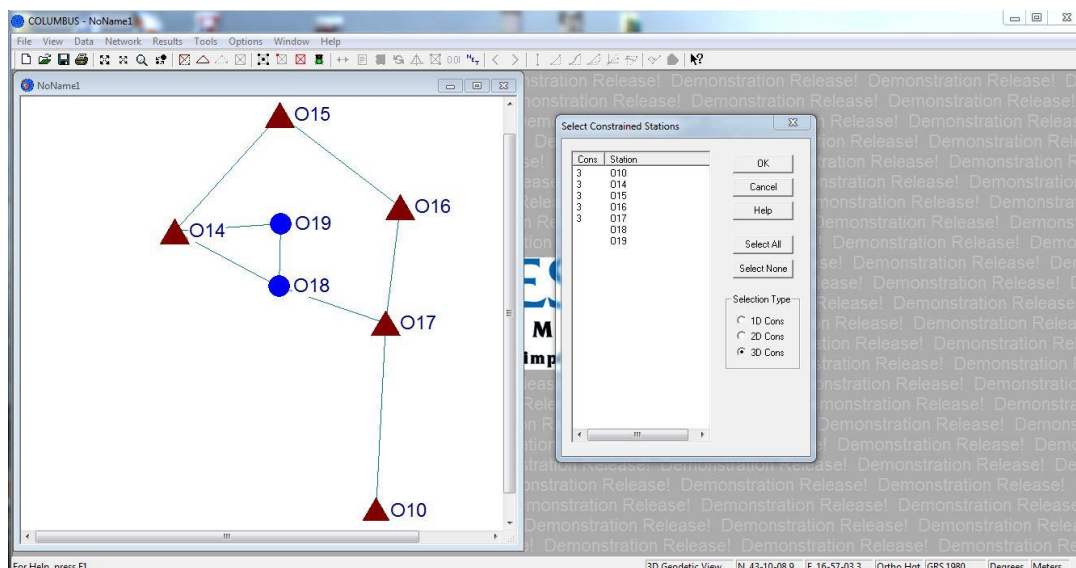
Točke poligonske mreže povezane su geodetskim mjerenjima koja također ulaze u izjednačenje, ali ne u obliku sirovih vrijednosti. Drugim riječima, potrebna je prethodna obrada podataka mjerenja. Tako je izvršena redukcija horizontalnih pravaca, pojedinačno za svako stajalište, u svrhu računanja horizontalnih kutova prema ostalim točkama osnove. Također je važno napomenuti da su mjerenja obavljena u dva položaja instrumenta, tako da su mjereni pravci popravljani za iznos izračunate kolimacijske pogreške. Od ostalih mjerenja, u izjednačenje također ulaze i zenitne daljine, horizontalne udaljenosti, visina instrumenta te visina prizme (Tablica 5.2).

STAJALIŠTE	VIZURA	Hpravac	Vpravac	Hduljine	Vinstrumenta	Vprizme
O17	O10	0	93.012	40.585	1.734	0.1
O17	O18	106.043	86.040	24.390	1.734	1
O17	O16	184.044	90.290	25.281	1.734	0.1
O16	O17	0	96.514	25.456	1.723	0.1
O16	O15	120.261	93.554	32.800	1.723	0.1
O15	O16	0	91.443	32.733	1.723	0.1
O15	O14	94.334	91.062	33.803	1.723	0.1
O14	O15	0	94.075	33.883	1.574	0.1
O14	O19	44.065	92.032	22.919	1.574	0.1
O14	O18	75.565	91.514	25.491	1.574	0.1
O19	O14	0	95.402	23.017	1.723	0.1
O19	O18	275.220	96.531	13.597	1.723	0.1
O18	O14	0	94.582	25.572	1.674	0.1
O18	O19	63.311	96.371	13.589	1.674	0.1
O18	O17	171.021	96.310	24.491	1.674	1.3

Tablica 5.2: Ulazni podaci - pravci i duljine

Nakon unosa mjerenih veličina u program Best-fit Columbus, potrebno namjestiti parametre za izjednačenje kao što su npr. odabir datuma (*GRS80*), odabir UTM zone, postavke mreže, kriteriji detektiranja grubih pogrešaka, standardna odstupanja itd. Od općenitih postavki izjednačenja, valja napomenuti da program izjednačenje provodi iterativno, pri čemu u svakom sljedećem izjednačenju za približne vrijednosti nepoznanica koristi izjednačene vrijednosti nepoznanica iz prethodnog izjednačenja. Kako bi se spriječilo da program uđe u beskonačnu petlju (kad rješenje divergira) potrebno je bilo namjestiti maksimalan broj iteracija, nakon kojeg se bez obzira na razliku rješenja zadnje dvije iteracije izjednačenje prekida. Upisana su i standardna odstupanja za provedena mjerenja, a iznosila su 5" za mjerenja horizontalnih i vertikalnih pravaca, te 2 mm + 2 ppm za mjerenja udaljenosti. Standardna odstupanja približnih koordinata iznosila su 0.015 m u horizontalnom, te 0.025 u vertikalnom smislu. Mreža je izjednačena prostorno (3D) prema optimalnom datumu (slobodna mreža), odnosno bez fiksiranja pojedinih točaka. Koordinate točaka O10, O14, O15, O16 i O17 predstavljaju mjerene veličine te ulaze u izjednačenje kao „constrained stations“, dok su koordinate točaka O18 i O19, nepoznanica (Slika 5.1).

Nadalje, program koristi tri načina detektiranja grubih pogrešaka, a za potrebe ovog izjednačenja korištena je metoda standardiziranih pogrešaka. Ona podrazumijeva da ukoliko apsolutna vrijednost standardizirane popravke nekog mjerenja prijeđe zadanu graničnu vrijednost, to mjerenje se smatra grubo pogrešnim. Granična vrijednost se računa na temelju *tau* statistike koja je funkcija broja mjerenja, broja prekobrojnih mjerenja i nivoa pouzdanosti. Konačni produkt izjednačenja su koordinate geodetske osnove, ali i ocjena točnosti koja ukazuje na postignutu kvalitetu, kako pojedinih opažanja, tako i izračunatih koordinata točaka osnove.

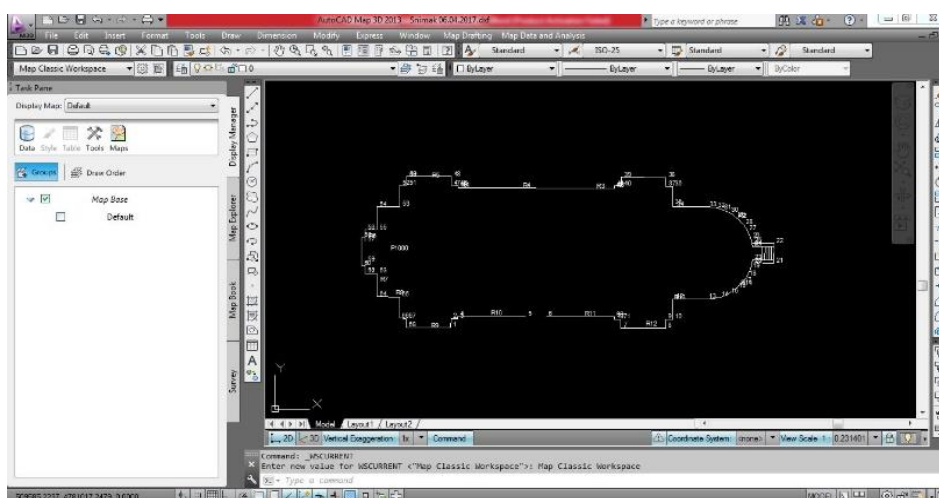


Slika 5.1: Sučelje programa Best-fit Columbus 3.8.

5.2. Obrada podataka prikupljenih polarnom metodom

Polarna metoda je posredna metoda određivanja koordinata detaljnih točaka. Dakle mjere se pravci i duljine u svrhu dobivanja koordinatnih razlika. Korištenjem jednostavnih formula može se obaviti ručno, ali zbog potrebe za računanjem velikog broja točaka, moderne totalne stanice automatski računaju koordinate detaljnih točaka te ih izvoze u odgovarajući format. Tako su za potrebe izrade tlocrta crkve koordinate točaka iz totalne stanice pohranjene u .txt format.

Iscrtavanje tlocrta je obavljeno u računalnom programu za konstruiranje i projektiranje, AutoCAD Map 3D 2013. Točke su najprije, pomoću odgovarajućeg AutoLISP-a, prebačene iz .txt formata u sučelje programa. Nakon toga je uslijedilo spajanje karakterističnih točaka jednostavnom naredbom „line“ (iscrtavanje linije), iz čega je generiran tlocrt (Slika 5.2). Naposljetku su još dodani okvir, znak sjevera te mjerilo skice a potpuni prikaz tlocrta u mjerilu nalazi se u prilogu diplomskog rada.



Slika 5.2: Sučelje AutoCAD Map 3D-a

5.3. Obrada fotogrametrijskih podataka

Posljednjih nekoliko godina svjedoci smo velike revolucije u eksploataciji fotogrametrijskih proizvoda. Naime male bespilotne letjelice opremljene suvremenim digitalnim kamerama predstavljaju vrlo pouzdan i ekonomičan mjerni sustav za prikupljenje ogromne količine prostornih podataka. Međutim razvoj računalnih programa koji generiraju veliku količinu kvalitetnih prostornih podataka iz podataka uobičajenog digitalnog fotoaparata čine jednu od glavnih okosnica razvoja tih suvremenih mjernih sustava. Važnu ulogu u razvoju te programske podrške namijenjene fotogrametriji predstavljaju kompleksni matematički algoritmi.

Spomenuti matematički algoritmi za obradu fotografija znatno su pojednostavili proces prikupljanja fotogrametrijskih podataka pomoću digitalnih fotosenzora. Eliminirana je potreba za snimanjem s poznatih stajališta čiji je prostorni položaj određen preciznim geodetskim metodama. Također više nije neophodno ni „a priori“ poznavanje parametara vanjske i unutarnje orijentacije kamere, već se oni određuju kao nepoznanice u računskim operacijama tijekom rekonstrukcije promatranog objekta. (Medić, 2015)

Na tržištu se pojavilo nekoliko naprednih softverskih rješenja koje omogućavaju izradu teksturiranih 3D modela korištenjem digitalnih fotografija. Njihova glavna odlika je skoro potpuna automatizacija procesa izrade fotogrametrijskih proizvoda, od prikupljanja podataka do same obrade i analize. Drugim riječima, zahtijevaju minimalnu interakciju s korisnikom.

U ovom poglavlju bit će opisan postupak geometrijske rekonstrukcije crkve Sv. Mihovila u programu Pix4Dmapper, koji je zbog svoje jednostavnosti privukao pažnju šire javnosti a ne samo određenih interesnih skupina.

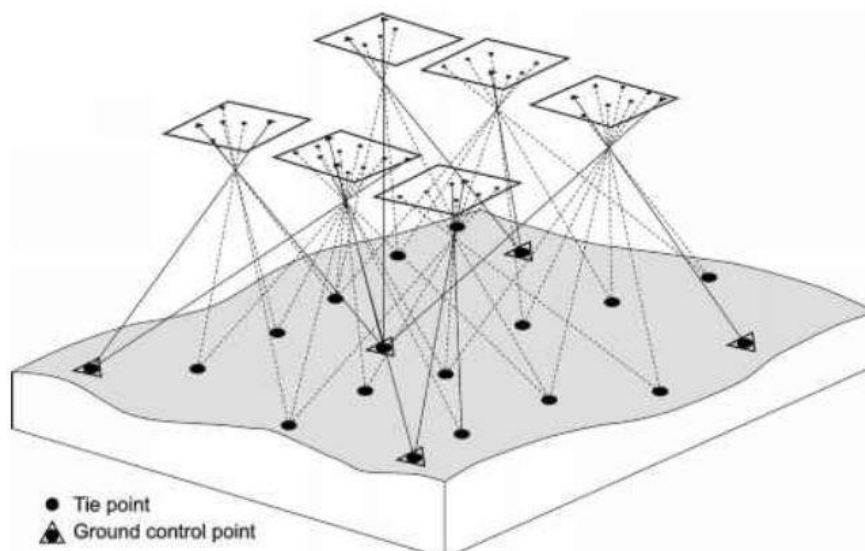
Pix4Dmapper je programski paket za obradu fotografija utemeljen na automatiziranom traženju identičnih točaka između parova fotografija. Svaka karakteristična značajka na slici naziva se ključna točka (engl. *keypoint*). Ako su dvije ključne točke, pronađene na dvije različite fotografije, identificirane kao jednake, onda se one nazivaju uparene ključne točke (engl. *matched keypoints*). Na taj način svaka grupa pravilno uparenih ključnih točaka čini jednu 3D točku (URL 4). Broj detektiranih ključnih točaka prvenstveno ovisi o teksturi i rezoluciji fotografija. Kompleksne fotografije visoke rezolucije dat će najviše uspješno izdvojenih ključnih točaka. Prema tome, konačnu kvalitetu generiranog oblaka točaka diktira gustoća, oštrina i rezolucija prikupljenih snimki kao i prirodna tekstura promatrane scene. Smanjivanje relativne udaljenosti između kamere i objekta od interesa, odnosno povećanje prostorne rezolucije fotografije, rezultirat će većom prostornom gustoćom i rezolucijom konačnog oblaka točaka. Kako bi se uspješno odredile 3D koordinate jedne ključne točke neophodan uvjet je, da se ta ključna točka pojavljuje kao vizualni sadržaj na barem tri različite fotografije.

5.3.1. Uparivanje fotografija

Pix4Dmapper je svojevrsna crna kutija jer svojim automatiziranim algoritmima omogućava korisniku rekonstrukciju 3D scene u svega nekoliko klikova mišem. Ugrađeni algoritmi se temelje na istim principima na kojima se temelji stereoskopska

fotogrametrija. Glavnu razliku čini to što Pix4Dmapper omogućuje određivanje unutarnjih i vanjskih orijentacijskih parametara kamere simultano s rekonstrukcijom geometrije trodimenzionalnog objekta od interesa na temelju prikupljenih fotografija. Prema tome ovom metodom se eliminira potreba za „a priori“ poznatim položajem i orijentacijom kamere kao i potreba za korištenjem mreže orijentacijskih točaka poznatih koordinata koje su određene preciznim geodetskim metodama. To je omogućeno korištenjem algoritma izjednačenja zrakovnim snopovima (engl. *Bundle Block Adjustment, BBA*). Preduvjet uspješne primjene ovog postupka je visoka redundantnost ulaznih podataka, odnosno velik broj izdvojenih ključnih točaka koje se automatskim postupkom izdvajaju iz skupa višestruko preklapljenih fotografija.

Izjednačenje zrakovnim snopovima (*BBA*) ili prostorna triangulacija (engl. *aerial triangulation*) predstavlja središnji algoritam za uparivanje fotografija. Naziv izjednačenje zrakovnim snopovima se odnosi na snopove svjetlosnih zraka koje imaju zajedničko ishodište u promatranoj točki 3D modela, a završavaju u optičkom centru svakog pojedinog stajališta kamere (Slika 5.3). Ovaj matematički algoritam, odnosno postupak je originalno razvijen pedesetih godina prošlog stoljeća na području fotogrametrije, a danas je neizostavan element svakog programa namijenjenog računalnoj simulaciji ljudskog vida (Medić, 2015).



Slika 5.3: Princip izjednačenja zrakovnim snopovima (URL 5)

Izjednačenje zrakovnim snopovima zapravo predstavlja matematički pristup rješavanja problema na temelju simultane optimizacije parametara kamere i trodimenzionalnih koordinata koje opisuju geometriju promatrane scene. Parametri kamere se odnose na parametre vanjske orijentacije kamere (položaj i orijentacija kamere) u odnosu na promatranu scenu za svaku snimljenu fotografiju, kao i na parametre unutarnje orijentacije koji opisuju karakteristike optičkog sustava kamere. Unutarnji orijentacijski parametri su konstantni za pojedinu digitalnu kameru za vrijeme cijelog snimanja, te se mogu „a priori“ odrediti. Izjednačenje zrakovnim snopovima je matematički postupak koji se koristi kako bi se postigla rekonstrukcija, koju smatramo optimalnom uz određene pretpostavke o karakteristikama korištene kamere. Ukoliko se pretpostavi da su pogreške korištenih fotografija distribuirane po Gaussovoj normalnoj razdiobi tada se algoritam izjednačenja zrakovnim snopovima ponaša kao statistički procjenitelj

najveće vjerojatnosti (Jacobsen, 2005). Algoritam se svodi na minimizaciju pogrešaka projekcije između označenih položaja točaka na fotografijama te izračunatih položaja točaka na 3D modelu. Ukratko, algoritam izjednačenja zrakovnim snopovima iterativnim postupkom simultano popravljiva inicijalne parametre kamere te parametre geometrijske strukture promatrane scene, kako bi se odredio skup parametara koji najtočnije pretpostavljaju položaj opažanih točaka u nekom relativnom prostornom koordinatnom sustavu.

Rezultat ovog postupka je generiranje oblaka točaka (engl. *point cloud*), koji se sastoji od mnoštva tzv. veznih točaka (engl. *automatic tie points*). Vezna točka, zajedno sa pripadajućim ključnim točkama koje se koriste za računanje njenog prostornog položaja, predstavlja 3D točku u prostoru koja u konačnici služi za rekonstrukciju geometrije promatrane scene. Pix4Dmapper također nudi mogućnost ručnog unošenja veznih točaka (engl. *manual tie points, MTP*), koje korisnik može označiti na fotografijama u svrhu poboljšanja kvalitete modela ili zbog nedovoljnog preklapanja među slikama. Za razliku od orijentacijskih točaka, koje se također ručno označavaju na slikama, ručno označene vezne točke ne sadrže informaciju o položaju u prostoru (3D koordinate). Stoga možemo zaključiti da je relativna orijentacija fotografija u jednom bloku uspostavljena na temelju orijentacijskih i veznih točaka, dok je apsolutna orijentacija bloka realizirana samo koristeći koordinate orijentacijskih točaka u poznatom koordinatnom sustavu (Slika 5.3). O georeferenciranju i orijentacijskim točkama nešto detaljnije u sljedećem poglavlju.

Nakon nastanka rijetkog oblaka točaka pristupa se njegovom progušćivanju, odnosno rekonstrukciji gustog oblaka točaka (engl. *densified point cloud*). Gusti oblak točaka se dobiva primjenom dva matematička algoritma. Ulazni podaci za ovaj stadij obrade su izračunati položaji i orijentacije kamere u trenutku snimanja pojedine fotografije. Prvi matematički algoritam razlaže preklapljene fotografije na manje podskupove kako bi matematičke operacije s njima bile jednostavnije. Zatim drugi algoritam provodi nezavisnu rekonstrukciju trodimenzionalnih elemenata svakog pojedinog podskupa. Rezultat ovog procesa je značajno povećanje u gustoći oblaka točaka. Uobičajeno je povećanje broja točaka u oblaku za dva ili više redova veličine (Slika 5.4).

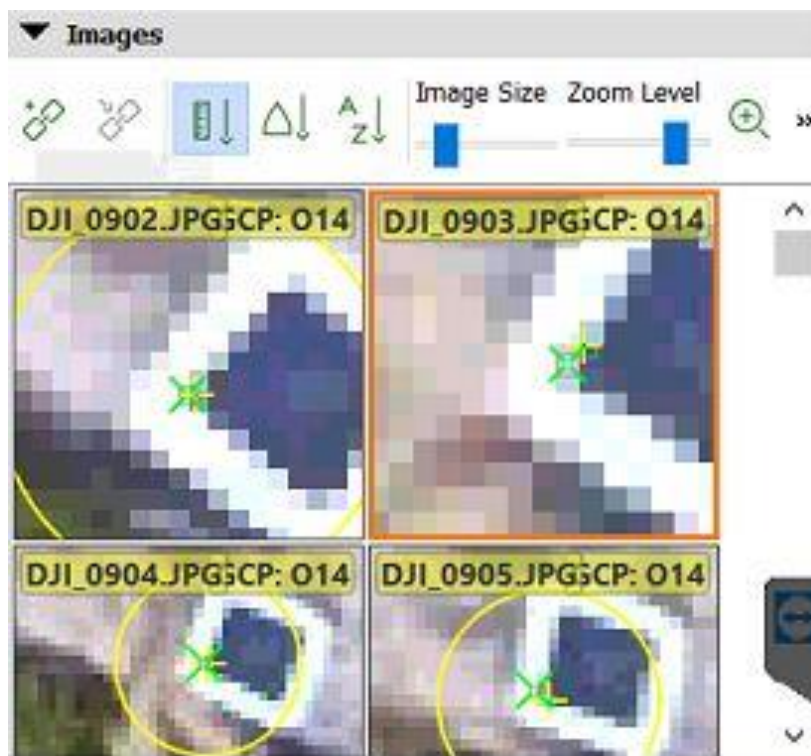


Slika 5.4: Rijetki (lijevo) i gusti (desno) oblak točaka

5.3.2. Georeferenciranje

Trodimenzionalni oblak točaka je generiran u relativnom koordinatnom sustavu, tzv. prostoru slike (engl. *Image Space*), koji se mora naknadno uskladiti sa stvarnim svijetom, odnosno nekim globalnim referentnim koordinatnim sustavom. Transformacija iz relativnog u apsolutni koordinatni sustav se postiže manualnom identifikacijom orijentacijskih točaka u oblaku točaka. Apsolutne koordinate orijentacijskih točaka u nekom referentnom koordinatnom sustavu potrebno je prethodno odrediti jednom od preciznih geodetskih metoda kako bi rezultati transformacije bili zadovoljavajući. Točke poznatih koordinata moraju biti jasno raspoznatljive na najmanje tri fotografije. U geodetskoj praksi najčešće se za tu potrebu koriste terenske oznake koje su jasno vidljive na fotografijama snimljenim iz zraka. Neophodno je poznavanje koordinata najmanje triju orijentacijskih točaka kako bi se mogli izračunati odgovarajući transformacijski parametri. Razlog tomu je, što model u prostornom koordinatnom sustavu ima sedam stupnjeva slobode gibanja, odnosno potrebno je odrediti sedam transformacijskih parametara: 3 parametra rotacije, 3 parametra translacije te 1 parametar mjerila (Medić, 2015).

Orijentacijske točke se ručno označavaju na fotografijama na kojima su vidljive (Slika 5.5), temeljem čega se generira nova 3D točka. Za procjenu 3D koordinata potrebno je označavanje točke na minimalno dvije fotografije. Pix4Dmapper također nudi mogućnost automatskog označavanja orijentacijskih točaka. Naime program automatski traži tonsku povezanost označenog piksela na ostalim fotografijama. Ako je tonska povezanost zadovoljavajuća, položaj orijentacijske točke će biti optimiziran i na ostalim fotografijama.



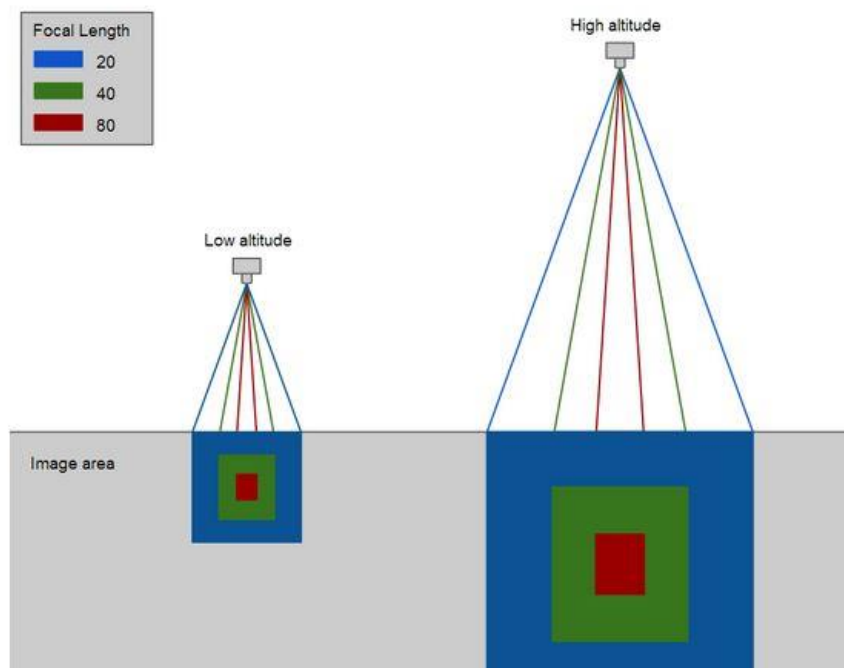
Slika 5.5: Ručno označavanje orijentacijskih točaka na fotografijama (zeleni križić – projekcija 3D točke na slici; žuti križić – ručno označen položaj točke; žuti krug – razina povećanja prilikom ručnog označavanja GCP-a na pojedinoj slici)

Korištenje orijentacijskih točaka, odnosno kontrolnih oznaka, prilikom fotogrametrijskog snimanja neophodno je za potrebe preciznih geodetskih radova. Razlozi su višestruki. Prvenstveno orijentacijske točke služe kako bi se dobiveni fotogrametrijski proizvodi, kao što je prethodno spomenuto, mogli adekvatno georeferencirati. Naime veća preciznost određivanja koordinata orijentacijskih točaka, u konačnici će rezultirati većom apsolutnom točnošću samog projekta. Drugi vrlo važan razlog je njihov pozitivan učinak na proces rekonstrukcije promatrane scene prilikom obrade podataka. Prema njima se formiraju objekti, odnosno karakteristične značajke, koje su dio područja od interesa. Vizualnim očitavanjem identičnih točaka na različitim fotografijama te označavanjem odgovarajućih parova pozitivno se utječe na kvalitetu geometrije konačnog 3D modela.

5.3.3. Prostorna rezolucija

Ostvarena prostorna rezolucija (engl. *Ground sampling distance*, GSD) definira kolika se površina promatrane scene reflektira na jedan piksel digitalnog fotosenzora. Time se definira maksimalna teorijska preciznost korištenog mjernog uređaja. Prostornu rezoluciju, odnosno ostvarivu preciznost, moguće je prilagoditi potrebama projekta. Ona ovisi o nekoliko parametara od kojih se posebno ističu veličina piksela korištenog fotosenzora, korištena žarišna duljina te visina leta bespilotne letjelice. Pojednostavljeni matematički izraz za prostornu rezoluciju glasi: $P_{rez.} = (d / f) * D_{pix.}$, pri čemu $P_{rez.}$ predstavlja prostornu rezoluciju, d relativnu udaljenost mjernog senzora od objekta snimanja, f žarišnu duljinu, a $D_{pix.}$ dimenzije piksela na fotosenzoru. Veličina piksela je definirana odabirom digitalne kamere te specifikacijama njenog fotosenzora. Prema tome, ukoliko je mjerna oprema već definirana, na taj parametar se ne može više utjecati (Medić, 2015).

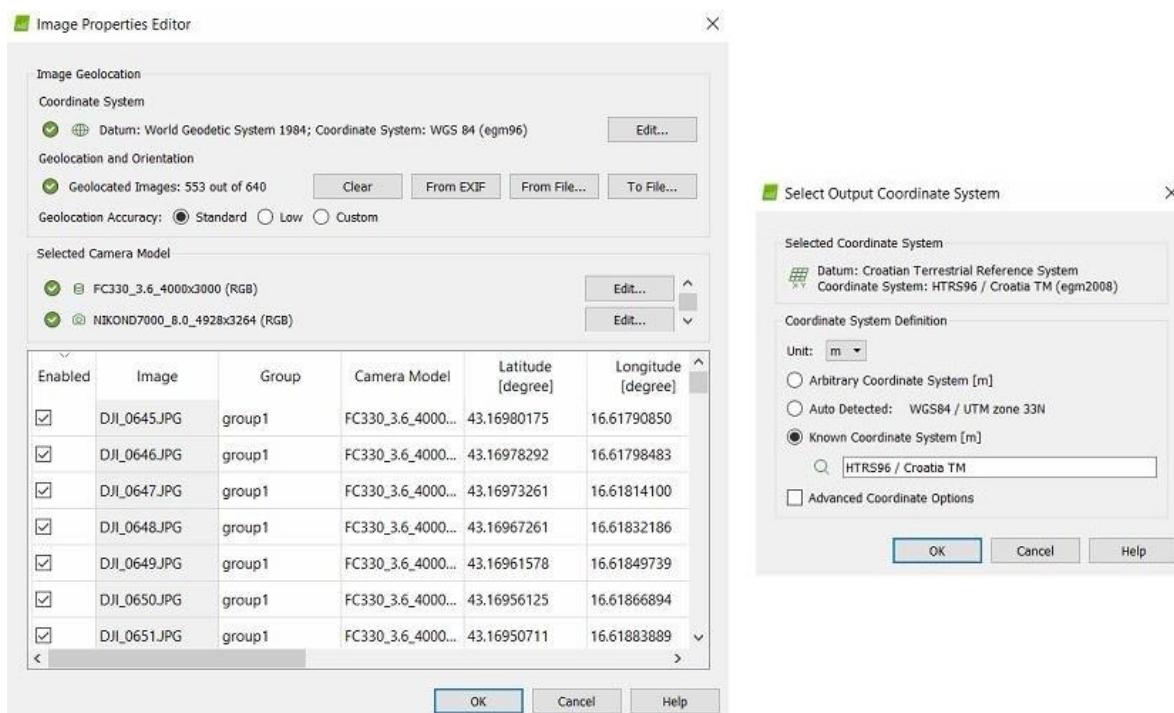
Dakle, kada je cjelokupni mjerni sustav predefiniran, na prostornu rezoluciju se može utjecati samo različitim visinama leta. Što se odabere veća visina, bit će veća relativna udaljenost između mjernog senzora i promatrane scene. To će u konačnici rezultirati manjom prostornom rezolucijom. Manja prostorna rezolucija znači da će veća površina promatrane scene biti prikazana pomoću jednog piksela (Slika 5.6). Prema tome, manja rezolucija posljedično nosi manju razinu detalja. Međutim, donosi i neke pozitivne stavke. Kod snimaka manje rezolucije biti će manja količina podataka koji ulaze u proces rekonstrukcije promatrane scene, što uvelike ubrzava postupak obrade podataka.



Slika 5.6: Ovisnost prostorne rezolucije o visini leta i žarišnoj duljini fotosenzora (URL 4)

5.3.4. Postupak obrade podataka

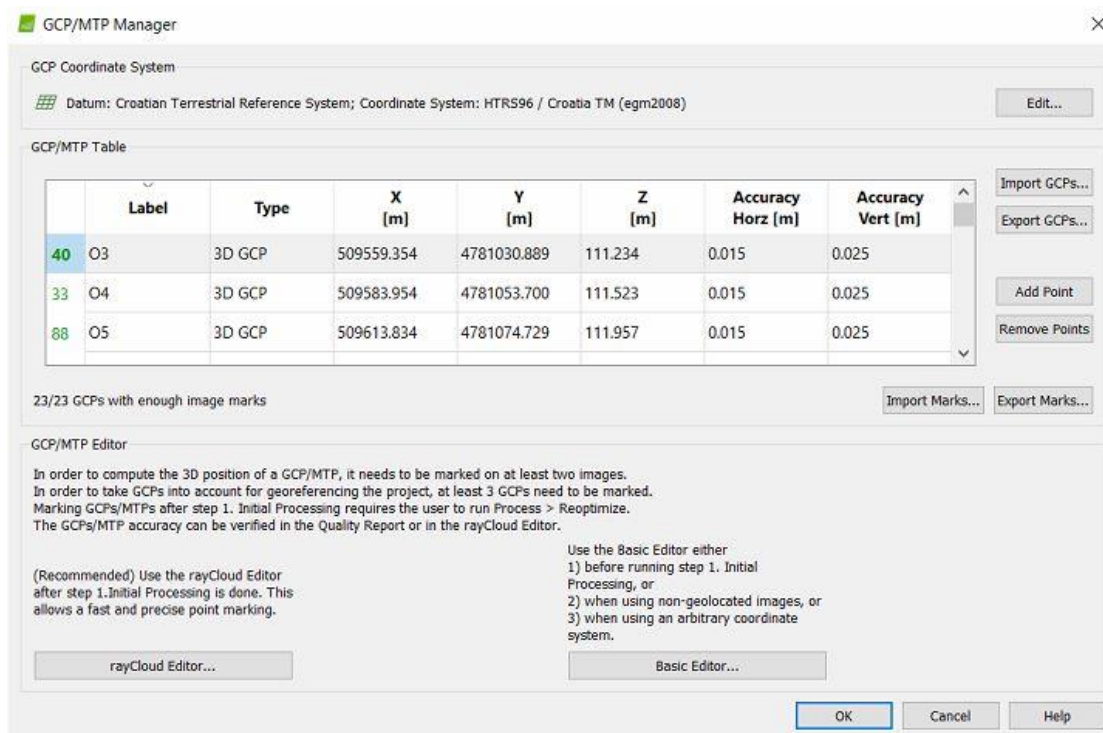
Postupak rekonstrukcije započinje kreiranjem novog projekta te ubacivanjem fotografija u programsko sučelje. Zatim slijedi odabir modela digitalne kamere te unos parametara korištene kamere (engl. *Camera calibration*). S obzirom da Pix4D u svojoj bazi podataka sadrži kalibracijske parametre za Nikon 7000 i DJI Phantom 4, nije bilo potrebe za ručnim unošenjem (Slika 7.1). Također je važno napomenuti da su fotografije snimljene bespilotnom letjelicom geolocirane, odnosno sadrže informaciju o položaju i orijentaciji kamere u trenutku fotografiranja. Dio unesenih parametara je potreban za rekonstrukciju, a dio nije. Neophodne parametre čine žarišna duljina te dimenzije piksela na fotosenzoru. Bez ovih podataka program nije u stanju procijeniti unutarnje i vanjske orijentacijske parametre kamere, a time ni položaj pojedinih elemenata promatrane scene. Svaka digitalna fotografija uz svoj vizualni sadržaj, odnosno snimljenu scenu, posjeduje i neke dodatne podatke koje nazivamo metapodacima. Nakon unosa fotografija slijedi odabir koordinatnog sustava u kojem će se prikazati izlazni proizvodi (Slika 7.1). Odabran je službeni koordinatni sustav Republike Hrvatske, HTRS96/TM.



Slika 5.7: Unos fotografija (lijevo) i odabir izlaznog koordinatnog sustava (desno)

Jednostavnom naredbom za početnu obradu (engl. *initial processing*) započinje automatizirani postupak uparivanja fotografija (*BBA algoritam*). Tijekom ovog koraka algoritam traži i prepoznaje ključne točke, odnosno značajke, koje su identične na pojedinim fotografijama, te ih povezuje, odnosno obavlja uparivanje fotografija. Istovremeno se određuju relativni položaji kamere u odnosu na promatrani objekt u trenutku snimanja, za svaku pojedinu fotografiju. Kao rezultat ovog koraka generiran je rijetki oblak točaka sastavljen od uparenih veznih točaka. Rijetki oblak točaka predstavlja rezultat uparivanja preklapljenih fotografija ali nije direktno korišten u daljnjoj izradi 3D modela. Za razliku od spomenutog oblaka točaka, optimizirani relativni prostorni položaji kamere nužni su za daljnju izradu 3D modela. Svi procijenjeni parametri definirani su u relativnom koordinatnom sustavu te ih je potrebno naknadno georeferencirati.

Postupak georeferenciranja započinje unosom 3D koordinata orijentacijskih točaka određenih nekom od preciznih geodetskih metoda (Slika 7.2). Zatim se u opcijama programa definira, da se unesene koordinate odnose na HTRS96 referentni koordinatni sustav, te se postavljaju svi potrebni parametri. Najvažniji među njima je parametar koji definira pretpostavljenu kvalitetu određivanja položaja orijentacijskih točaka (Pix4D SA, 2017). U konkretnom slučaju odabrana je vrijednost 1.5 cm u horizontalnom smislu te 2.5 cm u vertikalnom smislu. Zahvaljujući „raycloud“ sučelju koje je pogodno za interakciju s 3D objektima, korisnik ima pregled nad svim fotografijama iz kojih je neka 3D točka generirana. Na taj način obavljeno je ručno označavanje orijentacijskih točaka na pojedinim fotografijama. Nakon što su orijentacijske točke označene na izvjesnom broju fotografija odabire se naredba „rematch and optimize“, koja ponovno pokreće algoritam uparivanja fotografija i optimizacije parametara kamere, pri čemu se uzimaju u obzir označeni položaji orijentacijskih točaka.



Slika 5.8: Unos koordinata GCP-ova

Alternativno, georeferenciranje modela se može postići i korištenjem „a priori“ poznatih položaja kamera u trenutku snimanja (geolokacija), bez korištenja orijentacijskih točaka. Međutim, ta metoda nije preporučljiva za preciznije geodetske zadaće. Razlog tomu je, što aktualni navigacijski sustavi bespilotnih letjelica ostvaruju točnost određivanja prostornog položaja u iznosu od nekoliko metara.

Slijedeći korak je izrada gustog oblaka točaka na temelju procijenjenih položaja kamera i fotografija. On se dobije jednostavnom naredbom za izradu oblaka točaka i plošnog modela (engl. *Point cloud and mesh*), čime se pokreće automatizirani postupak progušćivanja oblaka točaka. Prilikom pokretanja postupka moguće je odabrati željeni nivo kvalitete izlaznog oblaka točaka te željenu razinu filtriranja. Tako je npr. definirano da se razmatraju dvostruko umanjene fotografije (engl. *image scale 1/2*), za računanje dodatnih 3D točaka. Odabrana je također optimalna gustoća točaka, što znači da se 3D točka računa za svaki 4/(uvećanje fotografije) piksel. U mom slučaju znači da se točka računa za svaki osmi piksel (URL 4). Moguće je odabrati i višu razinu gustoće točaka ali zbog ograničenih mogućnosti korištenog hardvera postupak bi iziskivao previše vremena. Za kraj se definira minimalan broj valjanih projekcija 3D točke na fotografijama. U mom slučaju odabrana je već zadana vrijednost od minimalno 3 fotografije.

Iz gustog oblaka točaka, moguće je daljnjom obradom generirati različite fotogrametrijske proizvode a više o njima nalazi se u sedmom poglavlju ovog diplomskog rada.

6. Terenska mjerenja

05.04.2017. – postavljanje orijentacijskih točaka (GCP-ova) za aerofotogrametriju

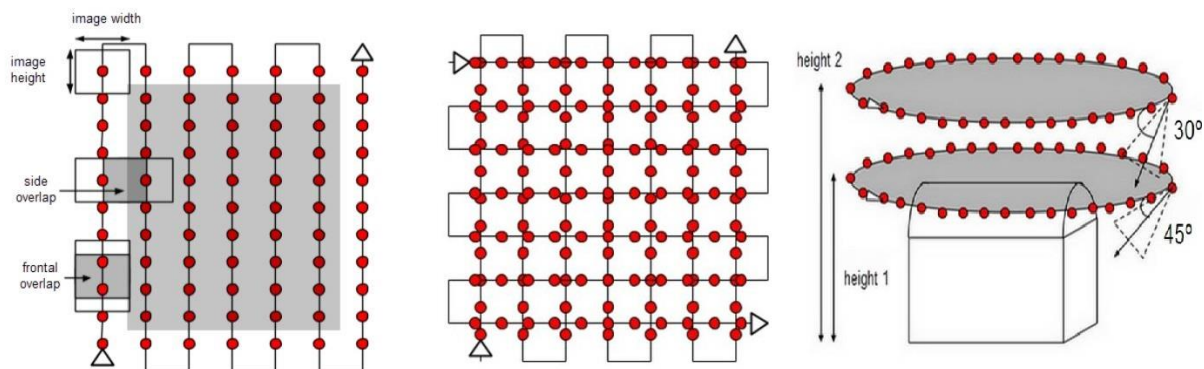
Prije samog izlaska na teren izbacio sam plan približnih koordinata orijentacijskih točaka iz QuantumGIS-a u .txt format, koji je pogodan za ubacivanje istih u GNSS prijamnik. Na teren sam došao oko 8 ujutro. Odmah sam pokrenuo GNSS prijamnik i povezo se na CROPOS servis. Ubačene su koordinate orijentacijskih točaka, nakon čega sam krenuo sa grubim iskolčenjem istih po redosljedu numeriranja, dakle od O1 prema O17. Grubim iskolčenjem sam tražio približne pozicije točaka, nako čega bi zabio čeličnu bolcnu na pogodno mjesto na podlozi (uglavnom asfalt), otprilike u krugu jedan metar od približne pozicije. Iznimke su bile točke O3, O8, O10 i O17, za koje su obavljene određene preinake, jer je postojao rizik od gubitka GNSS signala zbog raslinja i drugih zapreka iznad točke. Pomaknute su i po nekoliko metara, sve u smjeru sjevera. Signalizacija točaka je obavljena pomoću sprejeva u boji. Na podlozi je najprije, bijelim sprejom označen veći kvadrat dimenzija 40x40 cm, a unutar njega, crnim sprejom, označen je manji kvadrat dimenzija 30x30 cm (Slika 6.1). Kvadrati su signalizirani na način da su svi približno isto orijentirani, te da se sjeverozapadni vrh svakog crnog kvadrata uvijek poklapa s čeličnom bolcnom zabijenoj u podlozi. Nakon što su točke postavljene, uslijedilo je njihovo opažanje. Opažanje je obavljeno pomoću GNSS RTK metode u razdoblju od 12:00 do 12:30. Važno je napomenuti kako je na nekim točkama, kao npr. O3 ili O6, došlo do ometanja GNSS signala a time i do smanjenja preciznosti mjerenja, stoga su opažanja na pojedinim točkama trajala nešto duže (nekoliko sekundi do pola minute). Popodne sam se vratio na teren te u razdoblju od 17:00 do 17:30 ponovno opažao sve točke na isti način.



Slika 6.1: Signalizacija orijentacijske točke

07.04.2017. - fotografiranje

Na teren smo stigli također oko 8 sati ujutro. Ovog puta sa mnom je bio profesor Hrvoje Tomić koji je svojim stručnim znanjem i vještinama uvelike doprinio izradi ovog diplomskog rada. Izvršili smo rekognosciranje terena kako bi izbjegli eventualne zapreke prilikom fotografiranja bespilotnom letjelicom. Vremenski uvjeti su bili gotovo idealni za snimanje. Naime zbog oblačnog vremena nije bilo sjena, stoga nije bilo razlike u svjetlini između pojedinih fotografija. Razlike u svjetlini mogu rezultirati nedovoljnim brojem identičnih točaka na parovima fotografija. Vjetar nam je također išao u prilog jer je bio vrlo slab, gotovo neprimjetan. Snimanje bespilotnom letjelicom trajalo je 2 sata, od 9:00 do 11:00, a u tom periodu izvršena su četiri leta. Letjelicom je upravljao profesor Tomić korištenjem jednostavne aplikacije za snimanje bespilotnom letjelicom, Pix4Dcapture. Aplikacija je instalirana na mobitel, a služi za unos adekvatnih parametara pri prikupljanje fotografija. Prvi let je predstavljao osnovu za izradu ortofoto plana. Najprije je, na digitalnom ortofoto planu na zaslonu mobitela, definirano područje od interesa koje je obuhvaćalo pojas od otprilike 100 metara oko crkve. Iako je za izradu ortofoto plana dovoljna jedinstvena mreža snimanja („grid mission“), odabrana je dvostruka mreža snimanja („double grid mission“), jer će te iste fotografije kasnije poslužiti za izradu 3D modela područja od interesa (Slika 6.2). Što se tiče visine leta, testirana je vidljivost GCP-ova na pojedinim visinama, te je na kraju izabrana visina 60 metara. Fotografije su snimane ortogonalno u odnosu na zemljinu površinu s preklapom od 80%, u razmacima od dvije sekunde. Preostala tri leta su usredotočena na snimanje same crkve i izradu njenog 3D modela. Drugi i treći let predstavljaju kružno snimanje („circular mission“) oko crkve na različitim visinama (od 20 do 40 metara). Kamera nije bila postavljena ortogonalno, već je bila otklonjena za 30°, odnosno za 45° od tog položaja (Slika 6.2). Fotografije su također snimane u razmaku od dvije sekunde. Zadnji let je odrađen ručno, pomoću daljinskog upravljača. Ručno upravljanje je poslužilo za fotografiranje zvonika, na način da je napravljeno nekoliko krugova oko zvonika na različitim visinama. Prilikom ta četiri leta, baterije na dronu su promijenjene dva puta.

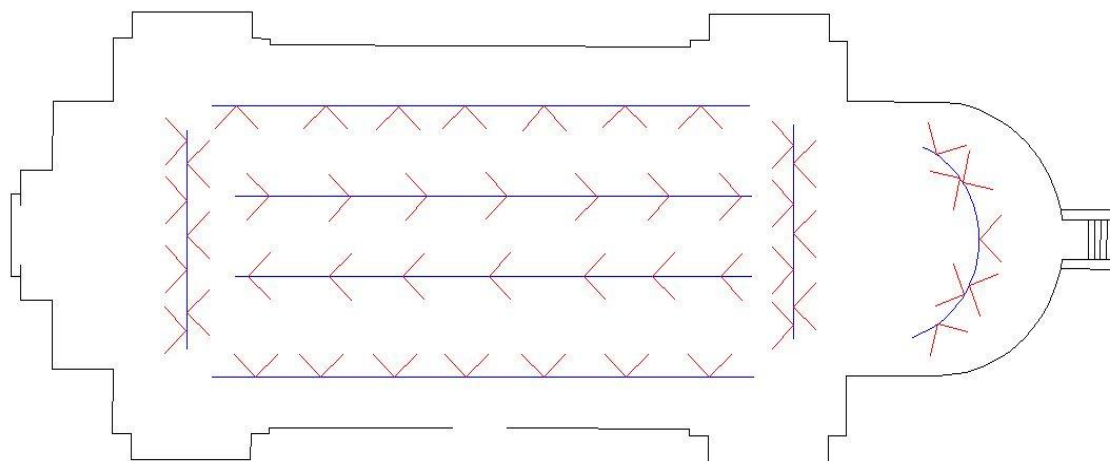


Slika 6.2: Grid mission (lijevo), Double grid mission (sredina), Circular mission (desno)
(Pix4D manual)

Usljedilo je fotografiranje crkve sa tla. Na digitalnu kameru Nikon D7000 montirali smo širokokutni objektiv kako bi dobili što veći preklap između parova fotografija. Naime glavna karakteristika širokokutnih objektiv je kratka žarišna duljina (35 mm naniže), koja kao posljedicu ima širi kut snimanja tj. više toga stane u kadar (Ciceli, 2004). S fotografiranjem smo krenuli ispred zapadnih vrata. Napravili smo krug oko crkve u

smjeru suprotnom od kazaljke na satu, te završili ponovno ispred zapadnih vrata. Fotografiranje je obavljeno u razmacima od otprilike 2 metra, osim na mjestima gdje smo naišli na manje zapreke. Na tim mjestima fotografiranje je obavljeno u nešto manjim razmacima. Fotografiranje sa tla obavljeno je u razdoblju od 12:00 do 13:00.

Fotografiranje crkve iznutra je ostavljeno za kraj, a obavljeno je u razdoblju od 13:00 do 14:30. Prije samog fotografiranja prionuli smo na postavljanje orijentacijskih točaka (mjerne markice), koje su pravilno raspoređene unutar crkve. Postavljeno je 12 mjernih markica (vidi poglavlje 3.2). Fotografiranje je obavljeno po raznim linijama kretanja (Slika 6.3), a pri fotografiranju je također korišten Nikon D7000 sa širokokutnim objektivom. Također je važno napomenuti kako prilikom fotografiranja iznutra nije korišteno osvjetljenje u crkvi. Naime, usprkos riziku da dobijemo fotografije različite svjetline, oslonili smo se na svjetlost koja je dopirala kroz prozore. Posljedica toga je bila da su neka područja na fotografijama ostala zasjenjena odnosno pretamna.



Slika 6.3: Skica približnih linija kretanja (plavo) i približnih orijentacija kamere (crveno) unutar crkve

20.04.2017. - uspostava poligonske mreže

Na teren smo stigli oko 10 sati ujutro, a ovog puta sa mnom je bio moj brat Jure Sanseović. Najprije smo obavili rekognisciranje terena i stabilizaciju točaka. Prema planu mjerenja, poligonska mreža je trebala biti sastavljena od 7 trajno stabiliziranih točaka: O10, O14, O15, O16, O17, O18 i O19 (vidi poglavlje 3.1). Točke O10, O14, O15, O16 i O17 su prethodno stabilizirane (čelična bolcna) prilikom postavljanja orijentacijskih točaka za aerofotogrametriju. Nakon što smo testirali dogledanja između pojedinih točaka odabrali smo optimalne pozicije za nove dvije točke, O18 i O19. Točka O18 postavljena je ispred južnih vrata crkve, a zbog potrebe za tahimetrijskim mjerenjima unutar crkve, točka O19 je postavljena nasred crkve s dogledanjima na točku O14 kroz zapadna vrata, te na točku O18 kroz južna vrata. Točka O18 je postavljena na mekoj podlozi (zemlja) pomoću drvenog kolca na kojem je markerom nacrtan križić, dok točku O19 predstavlja fuga u kamenu na podu crkve. (Slika 6.4)



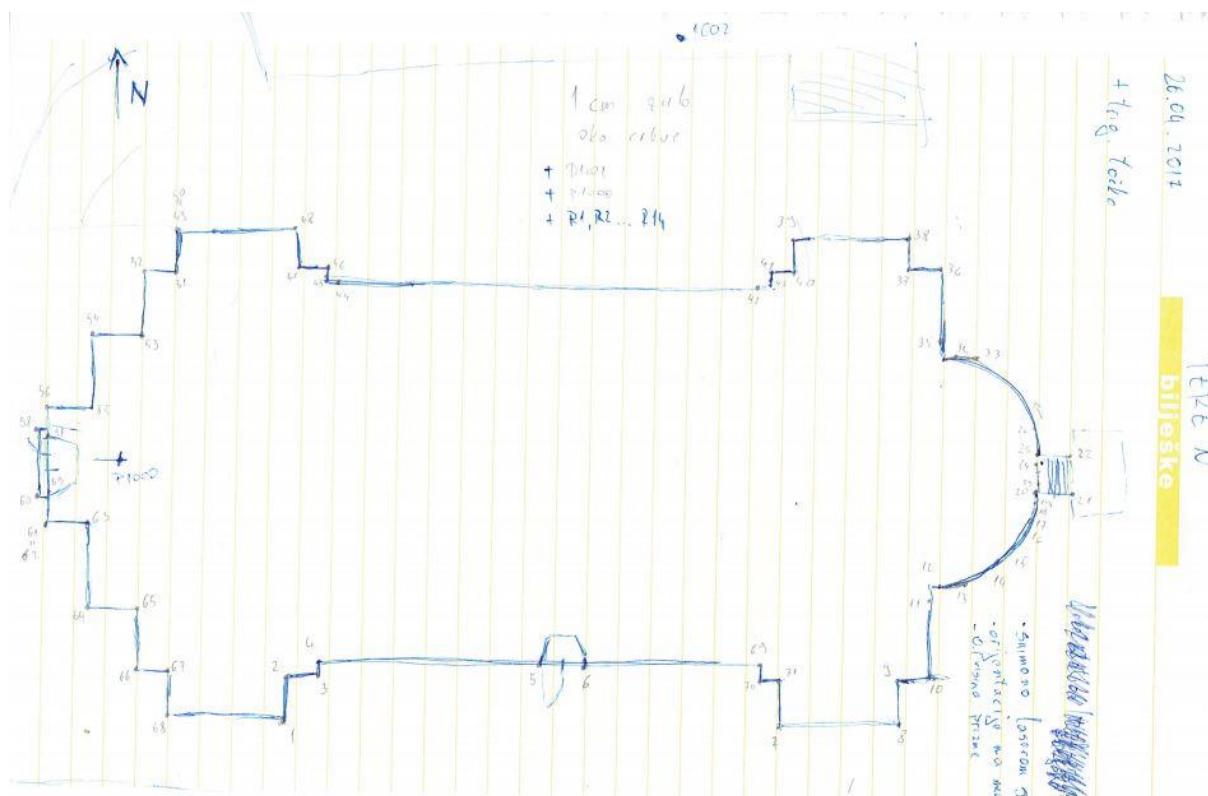
Slika 6.4: Stabilizacija točaka O18 (lijevo) i O19 (desno)

S mjerenjima smo krenuli oko 11 sati. Koristili smo totalnu stanicu Leica TS06 plus za mjerenje horizontalnih i vertikalnih pravaca, te kosih duljina. Horizontiranje i centriranje instrumenta obavljeno je vrlo pažljivo, a viziranja su obavljena na mini prizmu Leica GMP111-0. Mjereni su pravci i duljine na svim točkama poligonske mreže (osim O10 koja je poslužila samo kao orijentacija), uz napomenu da se u crkvu ušlo kroz zapadni ulaz, dakle sa točke O14 na O19, a izašlo na južni ulaz, sa točke O19 na O18. Vizirane su sve vidljive točke mreže sa pojedinog stajališta. Također je važno napomenuti kako je svako mjerenje obavljeno u dva položaja instrumenta u svrhu eliminiranja nekih sistematskih pogrešaka (npr. dvostruka kolimacijska pogreška). S mjerenjima smo bili gotovi u 12:45.

26.04.2017. - tahimetrija

Prethodno izlasku na teren ubacio sam izjednačene koordinate poligonske mreže u totalnu stanicu pomoću pravilno sastavljene .txt datoteke za unos podataka. Na terenu mi je ponovno pomagao brat, a s mjerenjima smo počeli oko 9 sati ujutro. Pažljivo smo horizontirali i centralizirali instrument na stajalište O17, te uzeli orijentaciju na točku O10. Zadatak je bio mjerenjem pravaca i duljina odrediti koordinate karakterističnih točaka crkve u horizontalnom smislu te koordinate orijentacijskih točaka za potrebe terestričke fotogrametrije (vidi poglavlje 4.3). Na fasadi crkve definirano je 14 orijentacijskih točaka (R1, R2,...R14), čije koordinate je trebalo odrediti. Nakon što su sa stajališta O17 snimljeni svi vidljivi detalji od interesa, premjestili smo se na stajalište O16 te ponovili postupak. Snimali smo sa svih točaka geodetske osnove (redom O17, O16, O15, O14 i O18), a orijentaciju smo uvijek vršili prema točki koja je prethodno bila stajalište. Orijeantacija je obavljena pomoću mini prizme, a udaljenosti do detaljnih točaka su mjerene laserom. Treba napomenuti da sam sa stajališta O15 opažao trajno stabiliziranu GPS točku 1002 postavljenu u neposrednoj blizini crkve, u svrhu

eventualne kontrole mjerenja. Kao posljednje stajalište ostavili smo točku O19 koja se nalazi unutar crkve. Orijentacija je napravljena kroz zapadni ulaz na točku O14, a mjerenja su obavljena također laserom. Sa tog stajališta opažano je 12 točaka (L1, L2,...L12). Te točke predstavljaju orijentacijske točke za fotogrametrijsko snimanje iznutra, a prethodno su signalizirane pomoću mjernih markica (vidi poglavlje 4.3). Prilikom izmjere karakterističnih točaka crkve vodio sam skicu mjerenja (Slika 6.5), a s mjerenjima smo završili oko 12 sati.



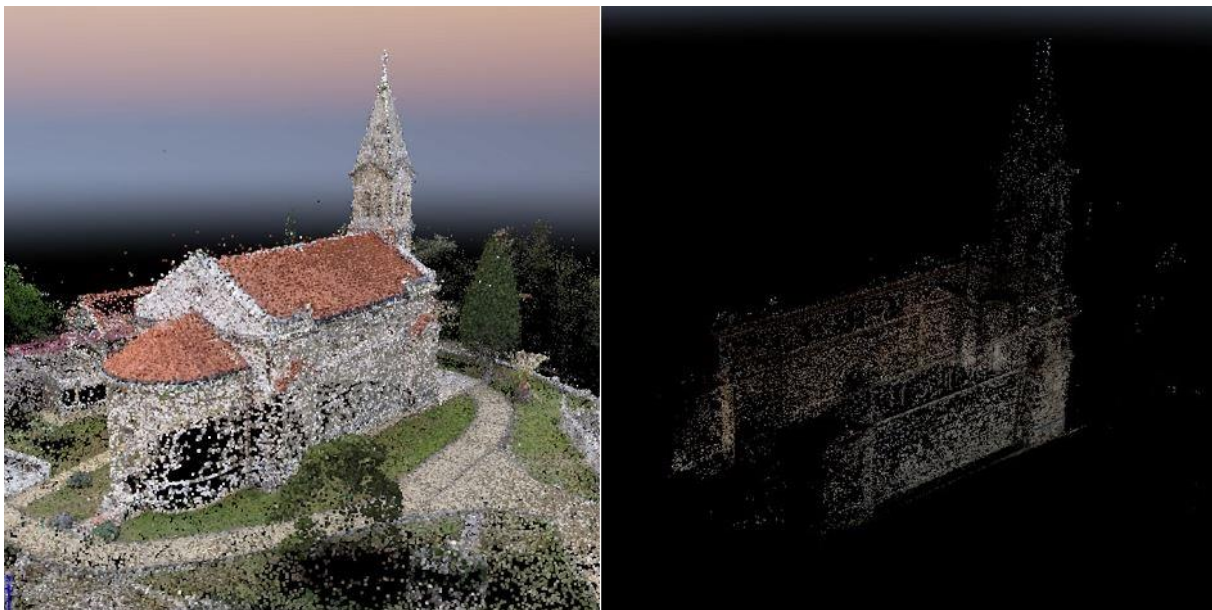
Slika 6.5: Skica mjerenja

7. Postignuti rezultati

Za potrebe obrade prikupljenih podataka, odnosno rekonstrukciju promatrane scene, korišten je računalni program Pix4Dmapper verzija 3.0. Program je prvenstveno namijenjen izradi raznovrsnih trodimenzionalnih modela iz dvodimenzionalnih podataka, odnosno fotografija. Unatoč generalnoj raznolikosti, Pix4D omogućuje i prilagodbu postupka upravo za potrebe geodetskih djelatnosti. Sukladno tome, osim oblaka točaka i teksturiranih 3D modela, omogućuje izradu digitalnih ortofoto planova, (engl. *Orthomosaic*, *DOF*) digitalnih modela visina (engl. *Digital elevation model*, *DEM*) te digitalnih modela terena (engl. *Digital terrain model*, *DTM*).

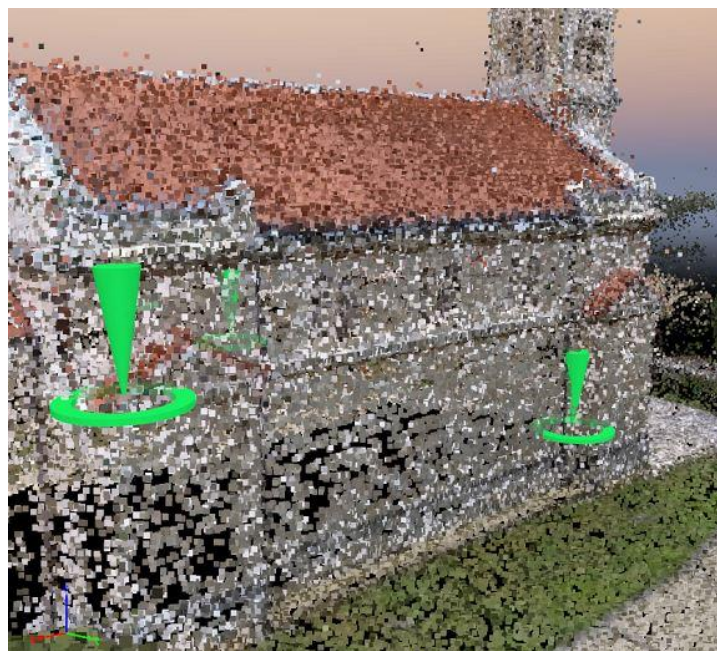
7.1. Teksturirani 3D model crkve i okolnog područja

Izrada teksturiranog 3D modela promatrane scene je podijeljena na tri faze. Prva faza je generiranje rijetkog oblaka točaka na temelju aerofotogrametrijskih snimaka. Kreiran je novi projekt, a u obradi sudjeluju sve fotografije koje su snimljene bespilotnom letjelicom. Ubačen je set od 553 fotografije. Pokretanjem naredbe „initial processing“, generira se rijetki oblak točaka na temelju uparivanja pojedinih fotografija. Georeferenciranje je obavljeno na temelju 17 orijentacijskih točaka (O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8, O9, O10, O11, O12, O13, O14, O15, O16, i O17), određenih GNSS RTK metodom. Druga faza je izrada rijetkog oblaka točaka na temelju fotografija snimljenih sa tla. Procedura je ista, jedino su ulazni podaci različiti. Naime za izradu ovog oblaka točaka korišten je set od 87 fotografija snimljenih širokokutnom digitalnom kamerom Nikon D7000, a georeferenciranje je obavljeno pomoću 13 orijentacijskih točaka (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12 i R13), određenih polarnom metodom. Na slici 7.1 jasno se vidi razlika u gustoću između ova dva oblaka točaka.



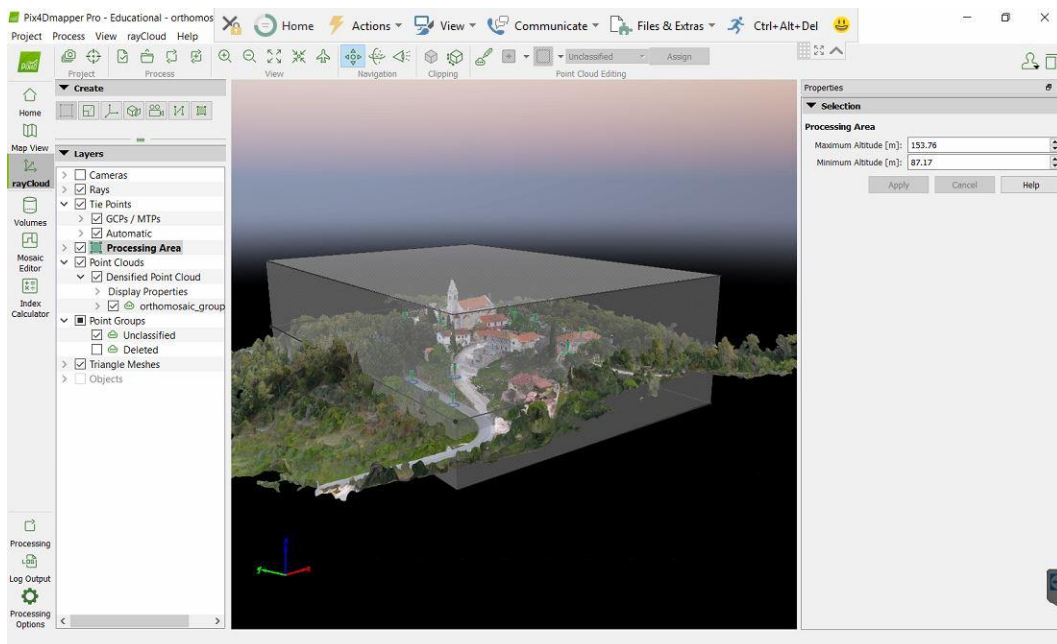
Slika 7.1: Rijetki oblak točaka: aerofotogrametrija (lijevo) i terestrička fotogrametrija (desno)

Sljedeća i najvažnija faza je povezivanje ta dva projekta u jedno. Kreira se novi projekt na način da se zajedno učitaju dva već postojeća projekta. Bitan preduvjet za spajanje dva projekta je usklađenost koordinatnog sustava. Naime koordinatni sustav orijentacijskih točaka kao i izlaznog produkta mora biti identičan u oba projekta. Važno je napomenuti da nakon spajanja dva projekta postoji mogućnost da novonastali projekt bude razdijeljen u nekoliko blokova, kao što je to bilo u mom slučaju (2 bloka). S obzirom da među blokovima može doći do nepoklapanja, potrebno ih je povezati na način, da se konačna rekonstrukcija sastoji od jednog jedinog bloka. To se postiže ručnim unosom veznih točaka (engl. *manual tie point*, *MTP*). Vezne točke se ručno označavaju na pojedinim fotografijama, nakon čega se naredbom „rematch and optimize“ ponovno pokreće algoritam uparivanja fotografija i optimizacije parametara kamere (URL 4). U mom slučaju ručno su označene 4 vezne točke (mtp20, mtp21, mtp22 i mtp23), nakon čega je cijela rekonstrukcija povezana u jedan blok. Vezne točke su postavljene na određenim karakterističnim točkama na području gdje se navedena dva bloka točaka razilaze. (Slika 7.2).



Slika 7.2: mtp22 i mtp23 (označeni zelenom bojom) postavljeni na karakterističnim točkama crkve

Kad su projekti uspješno povezani nastavlja se sa daljnjom obradom. Slijedi izrada gustog oblaka točaka i plošnog modela pomoću jednostavne naredbe „point cloud and mesh“ nakon čega se pokreće automatizirani postupak. Također moram napomenuti da sam prethodno tom koraku samanjio područje obrade podataka (Slika 7.3). Dva su razloga doprinjela tomu. Prvi razlog je odstranjenje rubnih područja rekonstrukcije koja imaju mali preklap između fotografija, čime mogu negativno utjecati na kvalitetu dobivenog modela. Drugi razlog je taj što sam na taj način znatno ubrzao proces obrade.



Slika 7.3: Uređivanje područja obrade podataka

Nakon uređivanja područja obrade generirani su gusti oblak točaka i teksturirani plošni model (engl. *3D textured mesh*). Za svaku točku gustog oblaka pohranjuje se informacija o njenom položaju u prostoru (3D koordinate), ali i informacija o tonskoj vrijednosti. U slučaju da je gusti oblak točaka na nekim područjima deformiran, ta područja je potrebno sanirati. Vrlo važno je ukloniti sve šumove u oblaku jer će se u protivnom deformacije pojaviti i na plošnom modelu, kada ih je puno teže sanirati. Tijekom ove faze obrade podataka ručno se uklanjaju značajniji šumovi u oblaku kao i nepotrebno rekonstruirana topografija koja nije od interesa. Pod šumovima smatraju se umjetno nastali vrhovi, kolokvijalno „šiljci“, te druge nepostojeće tvorevine koje nastaju na dijelovima 3D modela (Slika 7.4).



Slika 7.4: Šumovi u gustom oblaku točaka

Pološni model predstavlja rekonstrukciju geometrije objekta od interesa, a sastoji se od vrhova, bridova i ploha sa pripadajućim teksturama koje su generirane iz fotografija. Plošni model je vrlo pogodan za vizualizaciju nekog modela ali treba napomenuti da se ne preporuča njegovo korištenje za obavljanje pojedinih mjerenja. Naime on je namijenjen da bude vizualno vjerodostojan, a ne geometrijski točan (URL 4).

Pri izradi plošnog modela, točke gustog oblaka točaka se međusobno povezuju u male trokutaste elemente. Time nastaje mreža poligona, odnosno trokuta koji predstavljaju površinu promatrane scene. Definiranje ukupnog broja trokuta prepušteno je programu, budući da je na taj način odabrana optimalna vrijednost za prikaz željene površine. Nakon što se automatskom obradom dobije jedan takav plošni model, po potrebi se može pristupiti obradi i doradi modela. Najčešće radnje se odnose na izuzimanje, odnosno redukciju broja korištenih poligona, izgladivanje deformiranih ploha, zatvaranje rupa nastalih u modelu i slično. U konačnici se opisanom modelu dodaje i tekstura koja značajno popravljiva vizualni dojam generiranog modela (Slike 7.5 i 7.6).



Slika 7.5: Teksturirani plošni model crkve Svetog Mihovila



Slika 7.6: Teksturirani plošni model crkve i njene okolice

7.2. Teksturirani 3D model unutrašnjosti crkve

Već prilikom prikupljanja fotografija unutar crkve bilo je očito da će rekonstrukcija unutrašnjosti biti znatno otežana u odnosu na rekonstrukciju okoline. Prvo i osnovno, rekonstrukcija unutrašnjosti zahtjeva vrlo veliki preklop između fotografija, oko 90%. S obzirom da smo koristili digitalnu kameru sa širokokutnim objektivom, taj problem je uspješno prevladan, ali su se pojavili neke druge poteškoće. Naime prilikom fotografiranja iznutra vrlo je teško zadržati povezanost fotografija u jedan lanac. Iz tog razloga javila se potreba za fotografiranjem u nekoliko nepovezanih koridora, što može predstavljati ozbiljan problem prilikom uparivanja fotografija. Osvjetljenje također može predstavljati problem. Ako su slike pretamne, nemoguće je iz njih izdvojiti dovoljan broj karakterističnih značajki za uspješno uparivanje. Sjene treba izbjegavati što je više moguće a preporuča se čak i korištenje stativa kako slike ne bi bile mutne (URL 4).

Obrada podataka obavljena je na isti princip kao kod rekonstrukcije okoline, jedino su ulazni podaci bili različiti. Razmatran je samo jedan set fotografija dobiven pomoću širokokutne digitalne kamere Nikon D7000. Ubačeno je svih 211 fotografija koje su georeferencirane na temelju 12 orijentacijskih točaka (L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11 i L12) postavljenih unutar crkve. Nakon ubacivanja podataka i namještanja određenih parametara pokrenut je prvi korak obrade, „initial processing“. Rezultati ovog automatiziranog procesa nisu bili zadovoljavajući. Naime izvješće o kvaliteti (engl. *Quality report*) koje se automatski generira svaki put kada se pokrene „initial processing“, otkrilo je da nije zadovoljen jedan od nužnih uvjeta za uspješnu

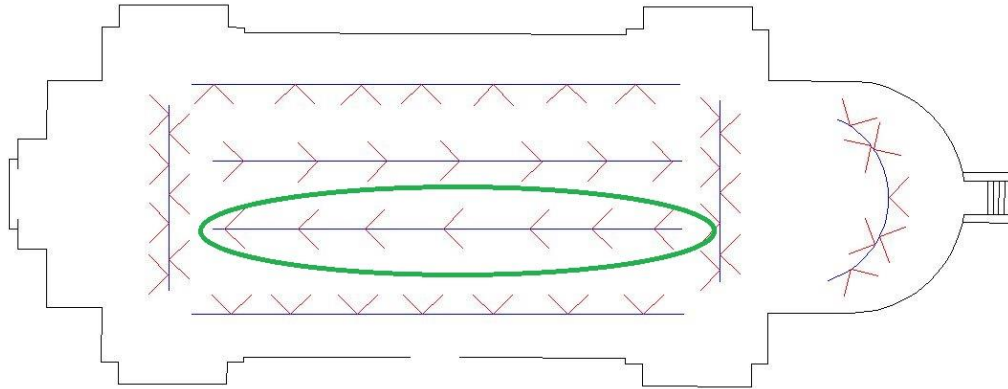
rekonstrukciju. Više od polovice fotografija ostalo je nekalibrirano, točnije njih 114. Nagle promjene u orijentaciji kamere između pojedinih koridora snimanja zbunile su program na način da on ne može naći poveznicu među njima. S obzirom da je za izradu modela potrebno imati minimalno 80% kalibriranih fotografija, rijetki oblak točaka nije generiran. Problem sam probao sanirati dodavanjem izvjesnog broja veznih točaka na mjestima gdje postoji određeni preklop između setova fotografija koje su kalibrirane i onih koji to nisu, ali u konačnici stanje se nije promijenilo. Daljnjim razmatranjem zaključeno je da to nije bio jedini razlog za grešku u kalibraciji. Naime pojedine fotografije su ispale jednostavno pretamne da bi program mogao naći dovoljan broj identičnih točaka između njih. Problem je nastao pri fotografiranju, iz razloga što u crkvi nije bila uključena rasvjeta, stoga su određena područja ostala pretamna (Slika 7.7).



Slika 7.7: Fotografije pretamne za uparivanje: D7K_8740 i D7K_8741

Bilo je očiti da rekonstrukcija unutrašnjosti neće biti obavljena kao cijelina. Sljedeći pokušaj bio je podjela rekonstrukcije na odgovarajuće segmente. Izdvojene su slike koje prikazuju pojedine elemente rekonstrukcije (npr. oltar, sjeverni zid, južni zid, balatura itd.) kako bi se dobili djelovi modela koji će se kasnije povezati u jedan. Isprobane su različite kombinacije fotografija i elemenata rekonstrukcije ali iz nekog razloga sve su završavale na isti način uz poruku programa: „*Processing failed. No calibrated cameras.*“ Ni dodavanje izvjesnog broja orijentacijskih i veznih točaka nije pomoglo da se kamere uspješno kalibriraju.

Zadnji pokušaj je bio rekonstrukcija pojedinih koridora snimanja. Svaki koridor je sadržavao jedan set fotografija koje su trebale poslužiti za rekonstrukciju pojedinih djelova unutrašnjosti. Rezultati su nažalost bili isti kao i kod prethodnog pokušaja izuzev jednog seta fotografija. Taj set je prikupljen prilikom kretanja kamere u crkvi od zapada prema istoku (Slika 7.8). Na temelju tog seta generirani su gusti oblak točaka i teksturirani plošni model, a georeferenciranje je obavljeno pomoću 3 orijentacijske točke (L6, L11 i L12). Radi se o setu od samo 16 fotografija koje su uspješno povezane i kalibrirane, ali za posljedicu rekonstrukcija sadrži veliki broj deformacija i šumova što je čini nepouzdanom za obavljanje bilo kakvih mjerenja (Slika 7.9)



Slika 7.8: Skica koridora: označen je koridor zapad-istok iz kojeg je generiran oblak točaka



Slika 7.9: Teksturni 3D model unutrašnjosti: pozicije kamera (lijevo) i rekonstrukcija oltara (desno)

7.3. Ortofoto plan

Kada je 3D model dovršen i po potrebi uređen moguće je na temelju njegovih podataka izraditi ortofoto prikaz. Postupak izrade ortofoto plana je u potpunosti automatiziran. Potrebno je samo kao i kod svakog koraka do sada definirati željene parametre.

Za razliku od 3D modela, ortofoto plan je dvodimenzionalni prikaz što znači da svaka točka u oblaku sadrži samo X i Y koordinatu te pripadajuću tonsku vrijednost. Odlika ortofoto plana je ujednačeno mjerilo na cijelom području što ga čini pogodnim za mjerenja u ravnini projekcije (duljine, površine). Razlog tomu je što se njegova izrada temelji na postupku ortorektifikacije (engl. *orthorectification*). Ortorektifikacija predstavlja automatizirani postupak popravljivanja geometrije fotografije tako da izgleda kao da je svaki piksel prikupljen direktno iznad svog položaja. Ova metoda uklanja perspektivne deformacije pojedine fotografije kao npr. fasade objekata više nisu

vidljive iako se na fotografijama one jako dobro vide. Može se reći da ortofoto predstavlja simulaciju fotografije snimljene s beskonačne udaljenosti koja gleda prema dolje (URL 4). Alternativa ovog postupka je spajanje fotografija (engl. *photo stitching*), koja se temelji na slaganju fotografija jedna do druge. Spajanje fotografija je jednostavnija metoda jer ne zahtjeva veliki preklap između fotografija, ali za razliku od ortorektifikacije, duljine na prikazu nisu sačuvane što je čini nepouzdanom za obavljanje pojedinih mjerenja (Slika 7.10).



Slika 7.10: Spajanje fotografija (lijevo) i ortorektifikacija (desno) (URL 4)

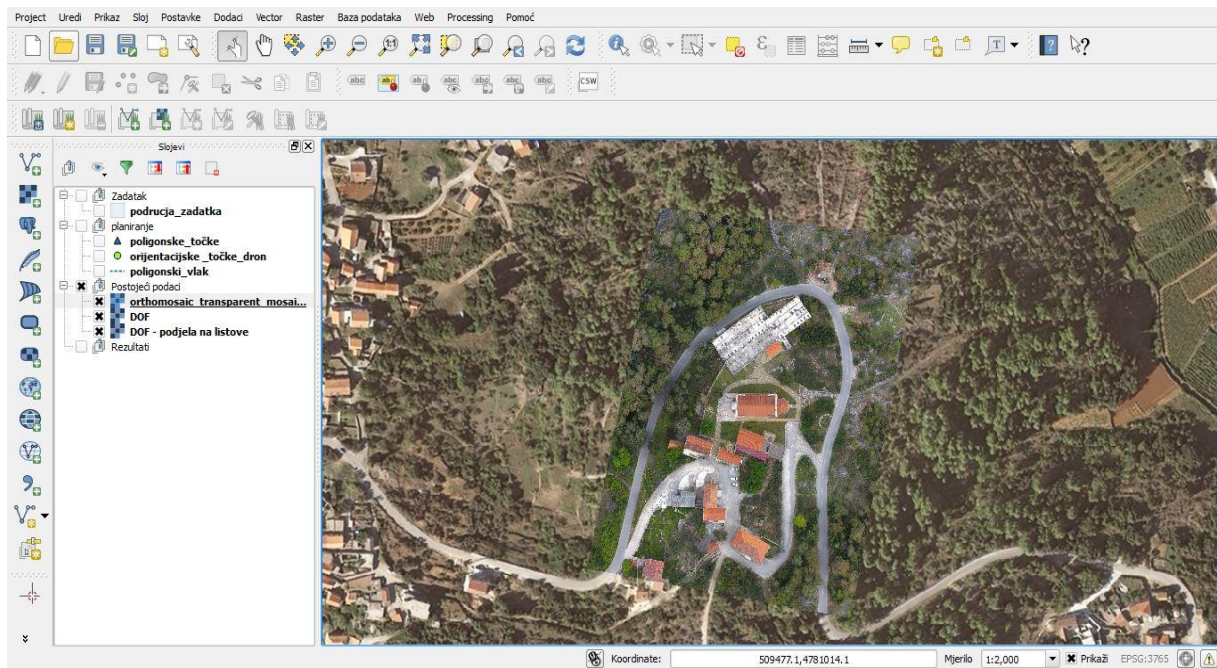
Za izradu ortofoto plana korišten je samo jedan set fotografija snimljen bespilotnom letjelicom. To se odnosi na podatke prikupljene samo tijekom prvog leta, kada je kamera imala najmanji otklon u odnosu na vertikalni položaj. U program je učitano 211 fotografija, a georeferenciranje je obavljeno na temelju 17 orijentacijskih točaka (O1, O2,... O17). Orijentacijske točke koje su postavljene na fasadi crkve nisu vidljive na ovim fotografijama. Obrada podataka je obavljena analogno izradi teksturiranog 3D modela. Nakon što je generiran gusti oblak točaka pokreće se postupak ortorektifikacije. Jednostavnom naredbom „DSM, orthomosaic and index“ pokreće se automatizirani postupak izrade digitalnog modela površine (engl. *Digital surface model, DSM*) i ortofoto plana (engl. *Orthomosaic*). Prethodno tom postupku moguće je definirati željene dimenzije piksela, odnosno željenu prostornu rezoluciju. Program sam računa maksimalnu prostornu rezoluciju koju može ponuditi i koju ima smisla odabrati. U konkretnom slučaju automatski ponuđena prostorna rezolucija je nešto veća od rezolucije pojedine fotografije a iznosi 0.0278 m x 0.0278 m. Teoretski je moguće odabrati i manju prostornu rezoluciju, međutim taj odabir neće biti realan jer time neće biti generirano više informacija. U principu bit će prikazano jednako informacija, ali s većom količinom podataka, odnosno većom datotekom. Slika 7.11 prikazuje umanjeni ortofoto prikaz, slika nakon nje (Slika 7.12) pripadni uvećani detalj, dok slika 7.13 prikazuje ortofoto plan zajedno sa službenim DOF-om (digitalni ortofoto).



Slika 7.11: Ortofoto prikaz područja oko crkve (približno M 1:2 000)



Slika 7.12: Uvećani detalj ortofoto prikaza (približno M 1:125)



Slika 7.13: Ortofoto prikaz u odnosu na DOF u QuantumGIS-u

8. Analiza rezultata

U ovom poglavlju analizirat će se ostvarena kvaliteta fotogrametrijskih proizvoda. Prvenstveno se to odnosi na položajnu i geometrijsku točnost, a kao osnovni kriterij koristit će se standardno odstupanje. Iako se radi o koreliranim podacima odvojeno će se obraditi kvaliteta 3D modela i ortofoto prikaza. Dodatno, dat će se kratki osvrt na ostvarenu prostornu rezoluciju, estetsku komponentu kvalitete te na ostvarivu preciznost fotogrametrijskih proizvoda.

8.1. Položajna točnost

Položajna ili apsolutna točnost modela definira se razlikom u položaju pojedinog objekta na modelu (ortofoto, digitalni model terena, teksturirani model i sl.) u odnosu na njegov stvarni položaj na Zemlji. Danas svatko može izraditi fotogrametrijske proizvode koristeći automatizirane i jednostavne programe kao što je to npr. Pix4D. Ali precizno smještanje takvih modela unutar određenog geodetskog koordinatnog sustava mnogo je zahtjevnije (URL 6).

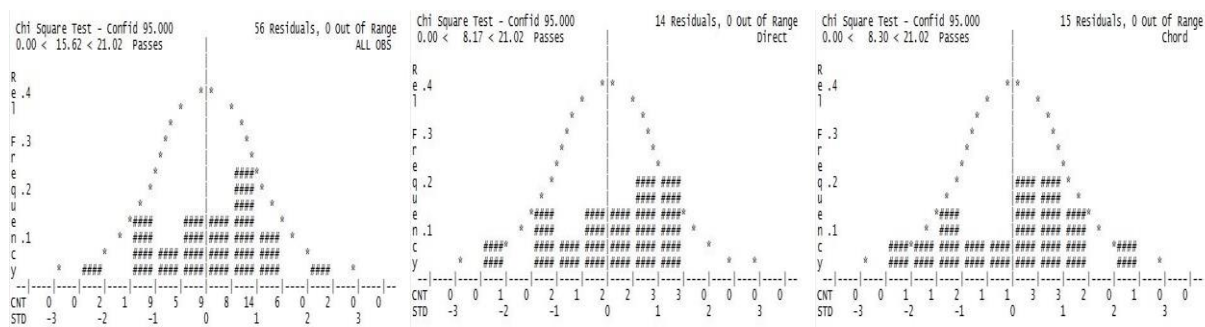
Položajna točnost ovisi isključivo o georeferenciranju modela. Dakle, ako treba izraditi službenu fotogrametrijsku dokumentaciju, ili kombinirati fotogrametrijske proizvode sa nekim drugi slojevima potrebno je obaviti precizno georeferenciranje modela. Georeferenciranje se obavlja pomoću orijentacijskih točaka, vidljivih oznaka na tlu čije su koordinate određene u unaprijed definiranom koordinatnom sustavu. Drugim riječima, kvaliteta prikupljanja koordinata orijentacijskih točaka uvjetuje položajnu točnost pojedinog modela. Koordinate orijentacijskih točaka se uglavnom određuju pomoću GNSS RTK metode ili tahimetrijskim mjerenjima, a prilikom izrade ovog rada korištena je kombinacija navedenih metoda.

Oko crkve Sv. Mihovila uspostavljena je mreža od 17 orijentacijskih točaka. Čak 12 točaka (O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8, O9, O11, O12, O13) je opažano GNSS RTK metodom. Za standardno odstupanje uzete su proklamirane vrijednosti RTK metode koje u ovom slučaju iznose 1.5 cm u horizontalnom smislu te 2.5 cm u visinskom smislu. Te vrijednosti su ubačene u Pix4D kao nesigurnost određivanja koordinata navedenih orijentacijskih točaka. Preostalih pet točaka sačinjavaju geodetsku mrežu, a njihove koordinate određene su izjednačenjem po metodi najmanjih kvadrata u programu Best-fit Columbus (Slika 8.1). Provedeno je automatsko ispitivanje i uklanjanje grubih pogrešaka (engl. *outliers*) te kasnije izbacivanje mjerenja sa većim normiranim popravcima, kako bi se postiglo optimalno rješenje i zadovoljili svi statistički testovi i pokazatelji. Mreža ukupno sadrži 56 mjerenja, od čega je 14 mjerenih pravaca te 15 kosih duljina s pripadajućim zenitnim daljinama. Otkriveno je da mreža sadrži 3 grubo pogrešna mjerenja, a sve se odnose na zenitne daljine.

3D GEODETIC NETWORK ADJUSTMENT SUMMARY					
Datum		GRS 1980	1D Expansion Factor	1.95937	
Linear Units		Meters	2D Expansion Factor	2.44788	
Angular Units		Degrees	3D Expansion Factor	2.79532	
Field Observations	41		A Priori Variance	1.00000	
Coord Observations	15		A Posteriori Variance	0.80907	
TOTAL OBSERVATIONS	56		Confidence Level	95.0	
			Chi Square Test On Variance Factor	0.513 < 1.0 < 1.463 (Passes)	
Num Stations	7		Variance Factor Used	0.80907	
Fixed In 1D	0		No Check observations	0	
Fixed In 2D	0		Stan Res Rejections	0	
Fixed In 3D	0		(Tau Stat = 3.090)		
Float Coord Parm	21		Resid/SD Rejections	0	
Direction Parm	6		Residual Rejections	0	
Scale Parm	0		TOTAL OUTLIER OBS	0	
Rotation Parm N	0		Iterations	2	
Rotation Parm E	0		Convergence Criteria	0.0010000	
Rotation Parm Up	0		Zenith Angle Refraction	0.00000	
TOTAL PARMS	27		Rotate Bearings	No	
			Use Full Covariance	No	
DEGREES OF FREEDOM	29				
A-POSTERIORI VARIANCE		(and STAN DEV)	FACTOR (by observation type)		
Obs Type	Count	Sum of Squared weighted Residuals	Redundancy (D.F.)	A-Post Variance	A-Post StanDev
Direct	14	1.837	1.919	0.958	0.979
Zenith	12	5.828	5.990	0.973	0.986
Chord	15	11.795	10.171	1.160	1.077
GEO Coords	15	4.003	10.920	0.367	0.605
TOTALS	56	23.463	29.000	0.809	0.899
ADJUSTMENT COMPLETE = 1 Seconds					

Slika 8.1: Osnovni podaci izjednačenja

Na slici 8.1 koja pokazuje dio izvješća nakon provedenog izjednačenja vidi se podudaranje „a priori“ varijance (1.000) i „a posteriori“ varijance (0.809), što ukazuje na ispravan odabir standardnih odstupanja, odnosno ispravno su definirane težine mjerenja, a time i stohastički model. Izvješće daje i informaciju o „a posteriori“ varijancama za svaku grupu opažanja. Na taj način se može vidjeti da je „a posteriori“ varijanca svih mjerenih pravaca 0.958, a mjerenih duljina 1.160. Za potrebe testiranja razdiobe normiranih popravaka konstruiran je histogram normiranih popravaka i uspoređivan s normalnom razdiobom. Histogrami svih mjerenja, svih mjerenih pravaca i svih mjerenih duljina ukazuju na dobro podudaranje sa zvonolikom krivuljom (normalna razdioba) (Slika 8.2).

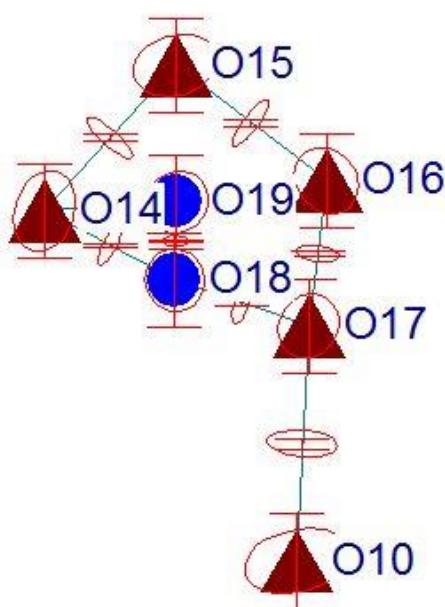


Slika 8.2: Rezultati Chi kvadrat testa: sva mjerenja (lijevo), pravci (u sredini), duljine (desno)

Najvjerojatnije vrijednosti izjednačenih koordinata s pripadnim standardnim odstupanjima ukazuju na visoku preciznost provedenih mjerenja pravaca i duljina. Maksimalno standardno odstupanje najvjerojatnijih ravninskih koordinata po y i x osi je 7 mm, dok je standardno odstupanje visine poprimilo iznos 8 mm za svaku točku mreže (Slika 8.3) Položajna nesigurnost izjednačenih koordinata točaka je dana preko 95% apsolutnih i relativnih elipsi pogrešaka. Apsolutne i relativne elipse pogrešaka su najbolji pokazatelj kvalitete izjednačene mreže (Slika 8.4). Može se uočiti da najveću apsolutnu elipsu pogrešaka ima točka O10, dok se najveća relativna elipsa pogrešaka nalazi između točaka O10 i O17.

Adjusted UTM Coordinates (Lon: E 16-49-60.00000)						
Station	North	SD	East	SD	Ortho Hgt	SD
o10	4780951.099	0.004	509629.531	0.007	117.998	0.008
o14	4781011.361	0.006	509585.991	0.004	120.265	0.008
o15	4781036.510	0.004	509608.561	0.006	119.295	0.008
o16	4781016.664	0.005	509634.569	0.004	119.923	0.008
o17	4780991.573	0.004	509631.530	0.004	118.504	0.008
o18	4780999.455	0.004	509608.511	0.004	120.910	0.008
o19	4781012.951	0.004	509608.838	0.004	120.917	0.008

Slika 8.3: Izjednačene koordinate i pripadajuća standardna odstupanja



Slika 8.4: Apsolutne i relativne elipse pogrešaka

Nadalje, trebalo je odrediti koordinate orijentacijskih točaka na crkvi i unutar nje. Opažanja su obavljena polarnom metodom, a stajališta su bile točke prethodno izjednačene geodetske mreže. Sa tih stajališta snimljeno je još 13 orijentacijskih točaka na crkvi te 12 unutar nje. Na temelju mjerenja pravaca i duljina određene su njihove koordinate, a pripadajuća standardna odstupanja su izračunata temeljem zakona o prirastu varijanci. Naravno uz poznavanje standardnog odstupanja koordinata stajališta, te preciznosti mjerenja korištenog instrumentarija dobivena je vrijednost standardnog odstupanja koordinata orijentacijskih točaka. Zakon o prirasti varijanci korišten je samo za jednu točku, nakon čega je ta vrijednost preuzeta i za sve ostale točke jer su razlike u mjerenjima gotovo neznatne. Postupak je napravljen ručno a dobivena vrijednosti standardnog odstupanja iznosila je 1.5 cm u horizontalnom te 2.0 cm u visinskom smislu.

8.2. Geometrijska točnost

Geometrijska ili relativna točnost je mjera kvalitete modela kojom se ispituje relativan položaj nekog objekata u odnosu na druge objekte modela (URL 6). Ispitivanje geometrijske točnosti je vrlo važno jer tijekom izrade fotogrametrijskih proizvoda dolazi do malih pomaka točaka koji narušavaju geometriju rekonstrukcije. Uzroci tih pomaka su nedovoljna kvaliteta geodetske osnove, korišteni instrumentarij, način obrade prikupljenih podataka, postupak reprodukcije konačnog prikaza i drugo. Kada govorimo o relativnoj točnosti, u literaturi stoji da bi očekivana pogreška trebala biti od 1 do 3 puta veća od veličine piksela (*GSD*), u horizontalnom ili vertikalnom smislu (Pix4D SA, 2017). To znači da ako vrijednost prostorne rezolucije iznosi npr. 2 cm, može se očekivati relativna točnost u rasponu 2-6 cm.

Nakon obrade i dorade fotogrametrijskih podataka, Pix4D automatski generira izvješće o kvaliteti. Ono predstavlja mjeru kvalitete izrade fotogrametrijskog proizvoda. Sadrži sve kvantitativne podatke vezane za geometrijsku točnost nekog modela, ali i ostale parametre koje su utjecale na proces rekonstrukcije. Na samom vrhu izvješća uz ime projekta, model kamere i obuhvaćenu površinu, nalazi se informacija o veličini piksela (*GSD*) koja se smatra jednim od važnijih parametara za uspješnu i kvalitetnu rekonstrukciju. Pri izradi 3D modela crkve Sv. Mihovila dobivena je prostorna rezolucija (*GSD*) u iznosu od 2.76 cm (Slika 8.5), a površina obuhvaćenog područja iznosi oko 10 000 m². Prostorna rezolucija u unutrašnjosti crkve bila je znatno manja, u iznosu od 0.62 cm, ali zbog neuspješne rekonstrukcije analiza kvalitete tog modela se neće razmatrati.



Slika 8.5: Uzorak prostorne rezolucije fotografija

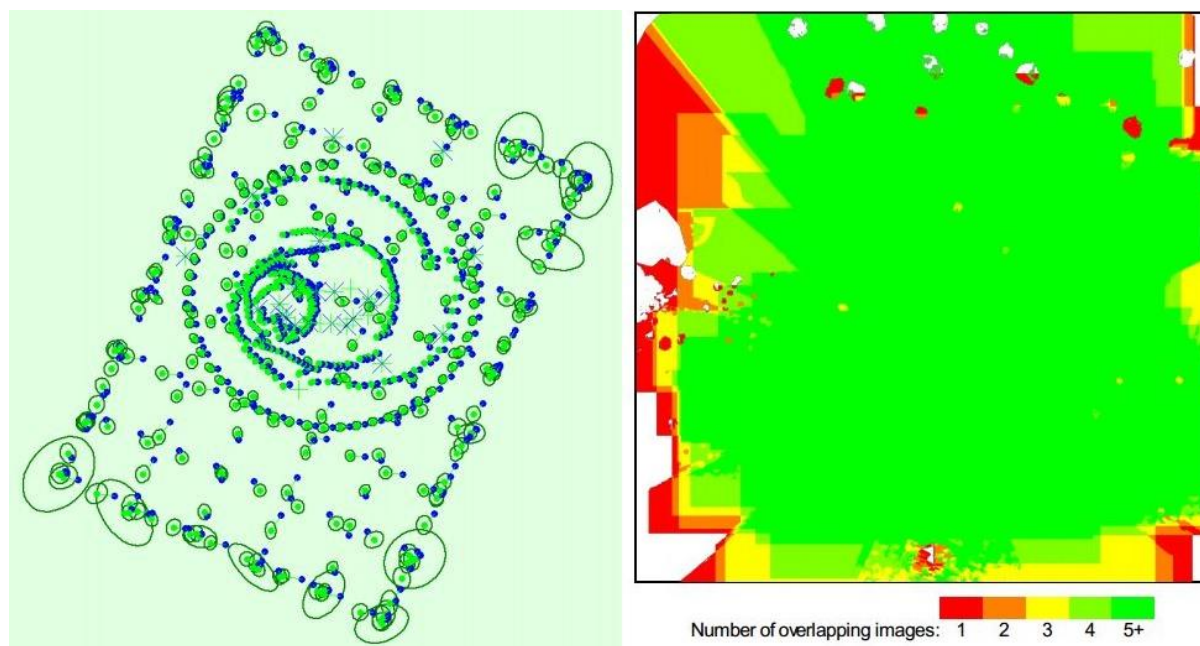
Za uspješnu rekonstrukciju, model mora zadovoljiti 5 glavnih uvjeta koji su priazani u izvješću o kvaliteti. Oni se odnose na izdvajanje ključnih točaka, kalibraciju i optimizaciju kamere te georeferenciranje (slika 8.6). Ako je svaki od 5 uvjeta označen zelenom oznakom, to znači da je rekonstrukcija uspješno provedena. Prvi uvjet predstavlja prosječan broj izdvojenih ključnih točaka na svim fotografijama. On ukazuje na to imaju li fotografije dovoljno vizualnog sadržaja da bi se njima moglo manipulirati. Bitno je da taj broj premašuje iznos od 10000 ključnih točaka. U mom slučaju prvi uvjet je i više nego zadovoljen jer je prosječan broj izdvojenih točaka iznosio 37162. Treba

napomenuti da je znatno više detalja izdvojeno na fotografijama snimljenima bespilotnom letjelicom nego na fotografijama snimljenima sa tla. Na fotografijama snimljenima iz zraka izdvojeno je u prosjeku 35912 točaka dok je na fotografijama sa tla izdvojeno 23513 točaka. Naime zbog veće udaljenosti od promatrane scene fotografije snimljene iz zraka sadrže veći broj detalja a time i više ključnih točaka.

Images	median of 37162 keypoints per image	✓
Dataset	629 out of 640 images calibrated (98%), all images enabled	✓
Camera Optimization	3.31% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 12697.4 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 23 GCPs (23 3D), mean RMS error = 0.014 m	✓

Slika 8.6: Izvješće o kvaliteti: 5 glavnih uvjeta

Drugi uvjet predstavlja broj kalibriranih kamera odnosno broj kamera koje su sudjelovale u rekonstrukciji modela. Pritom treba voditi računa da su kamere kalibrirane u jednom bloku te da je kalibrirano više od 95% kamera. U mom slučaju kalibrirano je 629 od 640 fotografija što znači zadovoljavajućih 98%. U sklopu vanjske kalibracije generirani su popravljivi položaji kamere u trenutku fotografiranja, zajedno sa pripadajućim elipsama pogrešaka. Slika 8.7 zorno prikazuje kako je nesigurnost položaja najveća na rubnim djelovima gdje dolazi do smanjenja preklopa među fotografijama. Drugim riječima što je manji preklap, fotografija ima veću slobodu gibanja. Izračunata je i srednja vrijednost odstupanja položaja kamere u iznosu od 1.6 cm u smjeru X osi, 1.7 cm u smjeru Y osi te 1.3 cm u smjeru Z osi. Također je izračunata srednja vrijednost odstupanja orijentacije kamere koja poprima kutnu vrijednost u iznosu od 5'.

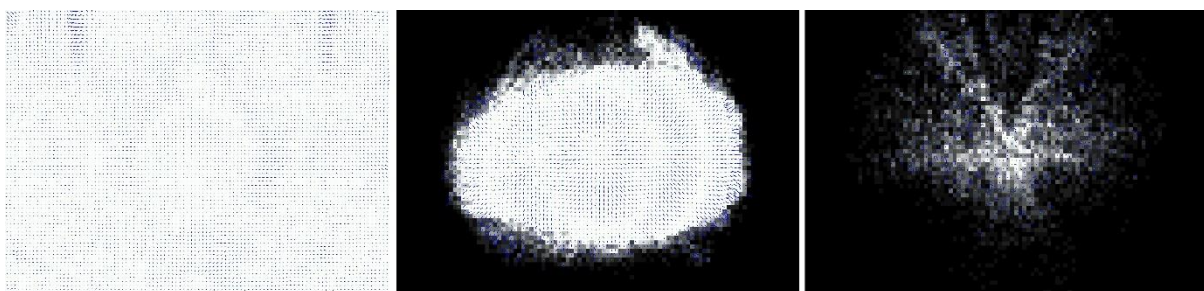


Slika 8.7: Lijeva slika prikazuje popravljene položaje kamera (zelena točka) u odnosu na početne položaje (plava točka) dok desna slika prikazuje preklap između fotografija na pojedinim područjima.

Treći uvjet odnosi se na unutarnju orijentaciju kamera. Izražava se postotkom a predstavlja razliku između nominalnih i optimiziranih parametara unutarnje orijentacije. Za uspješnu rekonstrukciju modela taj iznos ne smije prijeći 5%, a u konkretnom slučaju dobivena je vrijednost 3.31%. To se prvenstveno odnosi na žarišnu duljinu i glavnu točku kamere, a uzima se u obzir i deformacija leće. Nominalna žarišna duljina senzora postavljenog na DJI Phantom 4 iznosi 3.610 mm dok Nikon D7000 ima žarišnu duljinu 8 mm. Nakon optimizacije dobivene su razlike u iznosu od nekoliko desetinki milimetra, a optimizirane vrijednosti iznosile su 3.693 mm za Phantom 4, odnosno 8.347 mm za Nikon.

Sljedeći uvjet predstavlja broj uparenih ključnih točaka (vezne točke) za svaku kalibriranu fotografiju. Određen je na temelju srednje vrijednosti uparenih točaka na svim fotografijama, a minimalan broj za uspješnu rekonstrukciju je 1000. U mom slučaju dobivena je zadovoljavajuća vrijednost 12697. Minimalna vrijednost uparivanja iznosi 36 dok je maksimalna vrijednost 28834.

Slika 8.8 predstavlja broj automatski generiranih veznih točaka za svaki piksel, na način da je preuzeta aritmetička sredina pojedinog piksela na svim fotografijama. Prikaz je kodiran s dvije boje, crnom i bijelom. Bijela boja ukazuje da je prosječan broj veznih točaka, izdvojenih na području jednog piksela, veći od 16. Crna boja ukazuje na odsustvo veznih točaka na području pojedinog piksela. Kao dodatak ubačen je i prikaz koji se odnosi na fotografije u unutrašnjosti crkve. Na njemu se jasno vidi da broj automatski generiranih veznih točaka nije dostatan za uspješnu rekonstrukciju. Također treba napomenuti da je na slikama prikazan iznos i smjer deformacije pojedinog piksela uslijed kalibracije kamera.



Slika 8.8: Broj veznih točaka za fotografije snimljene iz zraka (lijevo), sa tla izvan crkve (u sredini) i u unutrašnjosti crkve (desno)

Posljednji uvjet odnosi se na georeferenciranje i nije nužan uvjet za rekonstrukciju promatrane scene. Naime moguće je generirati bilo koji fotogrametrijski proizvod i bez njegovog georeferenciranja ali rezultati obrade neće posjedovati informaciju o mjerilu, orijentaciji te apsolutnom položaju u prostoru. Posljedica toga je da se proizvodi ne mogu koristiti za provođenje određenih mjerenja, te razne usporedbe s drugim georeferenciranim sadržajem (Pix4D SA, 2017). Dakle peti uvjet je samo pokazatelj da li je projekt georeferenciran ili ne. U mom slučaju georeferenciranje je obavljeno na temelju 23 orijentacijske točke.

Kao osnovna mjerila točnosti za georeferenciranje, koristit će se prosječna pogreška te standardno odstupanje. Prosječna pogreška t je aritmetička sredina apsolutne vrijednosti pravih pogrešaka (6.1). Standardno odstupanje je teoretski definirano kao drugi korijen sume kvadrata svih pravih pogrešaka podijeljene s ukupnim brojem pravih pogrešaka. U stvari koristit će se približna vrijednost standardnog odstupanja s na temelju kvazipravih pogrešaka ε (6.2). To je najčešće korišten kriterij za ocjenu

točnosti. Bitno je napomenuti da je standardno odstupanje pokazatelj točnosti ukoliko su mjerenja opterećena samo slučajnim pogreškama. U korištenim izrazima veličina n označava broj ostvarenih mjerenja (Feil 1989).

$$t = \frac{1}{n} \sum |\varepsilon| \quad \text{za } n \neq \infty \quad (6.1)$$

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n}} \quad \text{za } n \neq \infty \quad (6.2)$$

Opisani kriteriji za ocjenu točnosti izračunati su na temelju kvazipravih pogrešaka ε koje se računaju prema izrazu $\varepsilon = \lambda - L_i$, pri čemu λ označava kvazipravu vrijednost mjerene veličine, a L_i vrijednost dobivenu mjerenjem. U praksi se koriste kvaziprave pogreške budući da pravu vrijednost neke veličine nije moguće odrediti, a time niti vrijednost prave pogreške (Feil 1989).

U ovom konkretnom slučaju izračunate su vrijednosti kvazipravih pogrešaka kao razlike početnih koordinata dobivenih preciznim geodetskim metodama - X_i^G , te izračunatih (prostornom triangulacijom) koordinata prilikom izrade fotogrametrijskih proizvoda - X_i^m . Jednadžba glasi $\varepsilon = X_i^G - X_i^m$. Pretpostavlja se da je određivanje koordinata primjenom preciznih geodetskih metoda toliko točnije da se na taj način stečena vrijednost može smatrati kvazipravom vrijednošću. Suprotno tome, izračunate koordinate dobivene prostornom triangulacijom smatraju se mjerenim veličinama opterećenim pogreškama. Vrijednosti kvazipravih pogrešaka izračunate su za sve orijentacijske točke i nalaze se u tablici 8.1.

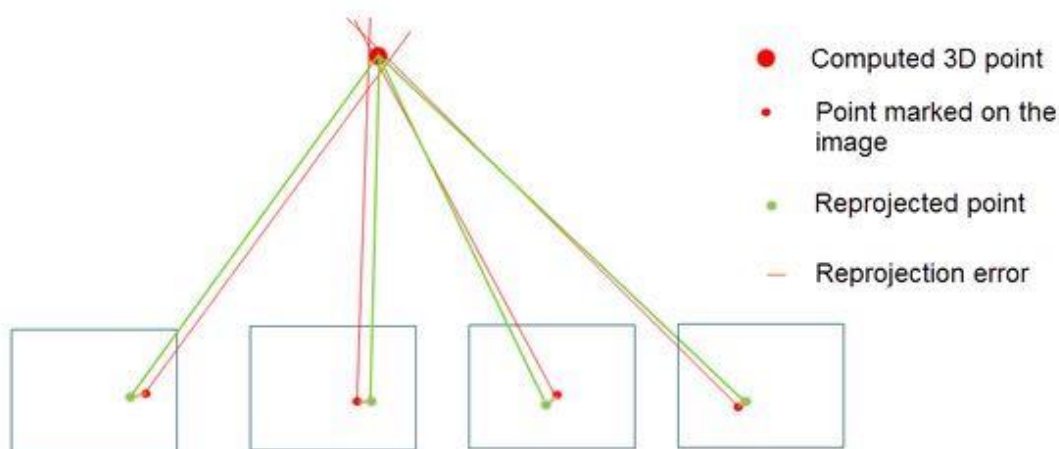
GCP oznaka	Položajna točnost XY/Z [m]	Pogreška po X osi [m]	Pogreška po Y osi [m]	Pogreška po Z osi [m]	Ukupna pogreška [m]	Pogreška projekcije [pix]
R1	0.015/0.020	0.006	-0.004	0.008	0.011	0.295
R5	0.015/0.020	0.013	0.003	-0.016	0.021	0.636
O3	0.015/0.025	-0.009	0.004	0.080	0.081	3.054
O4	0.015/0.025	0.004	0.009	0.011	0.015	2.093
O5	0.015/0.025	0.000	-0.003	-0.028	0.028	1.661
O6	0.015/0.025	-0.014	-0.012	0.046	0.050	5.060
O7	0.015/0.025	0.004	0.012	0.018	0.022	1.729
O8	0.015/0.025	0.000	0.006	0.054	0.054	1.888
R8	0.015/0.020	0.005	0.002	-0.004	0.007	0.730
R10	0.015/0.020	0.007	0.001	-0.024	0.025	0.926
R11	0.015/0.020	0.008	0.002	-0.013	0.015	0.499
R12	0.015/0.020	0.000	0.023	-0.023	0.033	3.340
R13	0.015/0.020	0.004	-0.019	0.018	0.026	0.726
O14	0.015/0.025	-0.023	0.012	0.022	0.034	2.355
O15	0.015/0.025	-0.001	0.008	-0.021	0.022	0.765
O16	0.015/0.025	-0.010	-0.001	0.006	0.012	0.853
O17	0.015/0.025	-0.012	0.006	-0.005	0.014	0.567
R9	0.015/0.020	0.005	-0.009	-0.007	0.012	0.968
R3	0.015/0.020	0.013	-0.010	-0.004	0.017	0.712

R6	0.015/0.020	0.010	0.001	-0.022	0.024	0.282
R2	0.015/0.020	0.012	-0.004	-0.003	0.013	0.340
R4	0.015/0.020	0.007	-0.003	-0.005	0.009	0.385
R7	0.015/0.020	0.008	-0.002	-0.008	0.011	0.418
Srednja vrijednost t [m]		0.002	0.001	0.004	0.004	
Standardno odstupanje S [m]		0.009	0.009	0.026	0.029	

Tablica 8.1: Orijentacijske točke – ocjena točnosti

Na temelju prethodne tablice moguće je donijeti neke zaključke. Ostvarena kvaliteta modela je znatno viša od pretpostavljene, na što ukazuju i srednja pogreška i standardno odstupanje. Naime srednja vrijednost pogreške poprimila je milimetarske iznose, dok se vrijednost standardnog odstupanja kreće unutar proklamirane točnosti VPPS CROPOS servisa. Razlike između početnih (X^G) i izračunatih (X^m) koordinata po pojedinoj osi poprimaju milimetarske iznose dok je ukupna pogreška manja od 3 cm. Izuzetak su točke O3 i O8, čije ukupno odstupanje između početnih i izračunatih koordinata premašuje 5 cm. Potvrđena je i hipoteza da očekivano odstupanje iznosi 1-3 puta više od vrijednosti prostorne rezolucije. Naime standardno odstupanje promatranih pogrešaka iznosi 2.9 cm što je malo više od vrijednosti prostorne rezolucije koja u ovom slučaju iznosi 2.76 cm. Standardno odstupanje u ovom slučaju predstavlja lokalni indikator koji ukazuje na to koliko je kvalitetno model smješten u odnosu na orijentacijske točke. Može se reći da standardno odstupanje ukazuje na mjeru dosljednosti između početnih i izračunatih položaja tih točaka (URL 4). Sve u svemu model se s velikom sigurnošću može smatrati dovoljno kvalitetnim za većinu standardnih geodetskih zadaća.

Tablica 8.1 u zadnjem stupcu sadrži i pogreške projekcije pojedine orijentacijske točke. Pogreška projekcije predstavlja udaljenost između označene točke i njene projekcije na jednoj te istoj fotografiji. Naime kada neku točku označimo na minimalno dvije fotografije, uz poznavanje unutarnjih i vanjskih parametara kamere, automatski se računa njen položaj u prostor. Kada su 3D koordinate točke izračunate, točka se projicira na svim fotografijama na kojima se pojavljuje (URL 4). Razlika između te dvije točke na fotografiji naziva se pogreška projekcije (Slika 8.9).



Slika 8.9: Pogreška projekcije (URL 4)

Projekcijska pogreška izračunate 3D točke na pojedinoj fotografiji izražena je jednadžbom 6.3 (URL 4):

$$e_i = (m_i - x_i)^T \Sigma_i^{-1} (m_i - x_i), \quad (6.3)$$

pri čemu je:

e_i - pogreška projekcije na i -toj slici,

m_i - 2D koordinate projicirane točke na i -toj slici,

x_i - 2D koordinate označene točke na i -toj slici,

Σ_i - kovarijanca vezne točke na i -toj slici koja se odnosi na preciznost izdvajanja.

Da bi dobili kompletnu procjenu za 3D točku koja je vidljiva na n fotografija potrebno je napraviti sumu individualnih komponenti (URL 4):

$$e = \sum (m_i - x_i)^T \Sigma_i^{-1} (m_i - x_i). \quad (6.4)$$

Označavanje točaka na slikama može se tretirati kao skup mjerenja. Njihova „a posteriori“ varijanca za svaku 3D točku dana je izrazom 6.5 (URL 4):

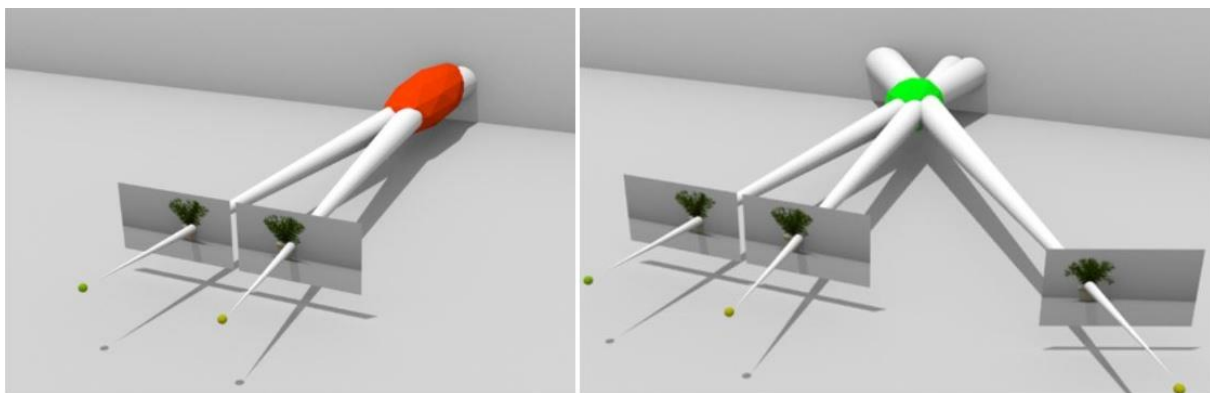
$$S_0^2 = (e^T e) / (n - m), \quad (6.5)$$

pri čemu izraz $(n - m)$ označava broj prekobrojnih mjerenja pojedine 3D točke. Nesigurnost izračunatih koordinata 3D točke (teoretska pogreška) dobije se na temelju zakona o prirasti pogrešaka a poprima sljedeći oblik (URL 4):

$$S_{\text{teoretska}}(\mathbf{X}) = S_0^2 \text{tr}((\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1}), \quad (6.6)$$

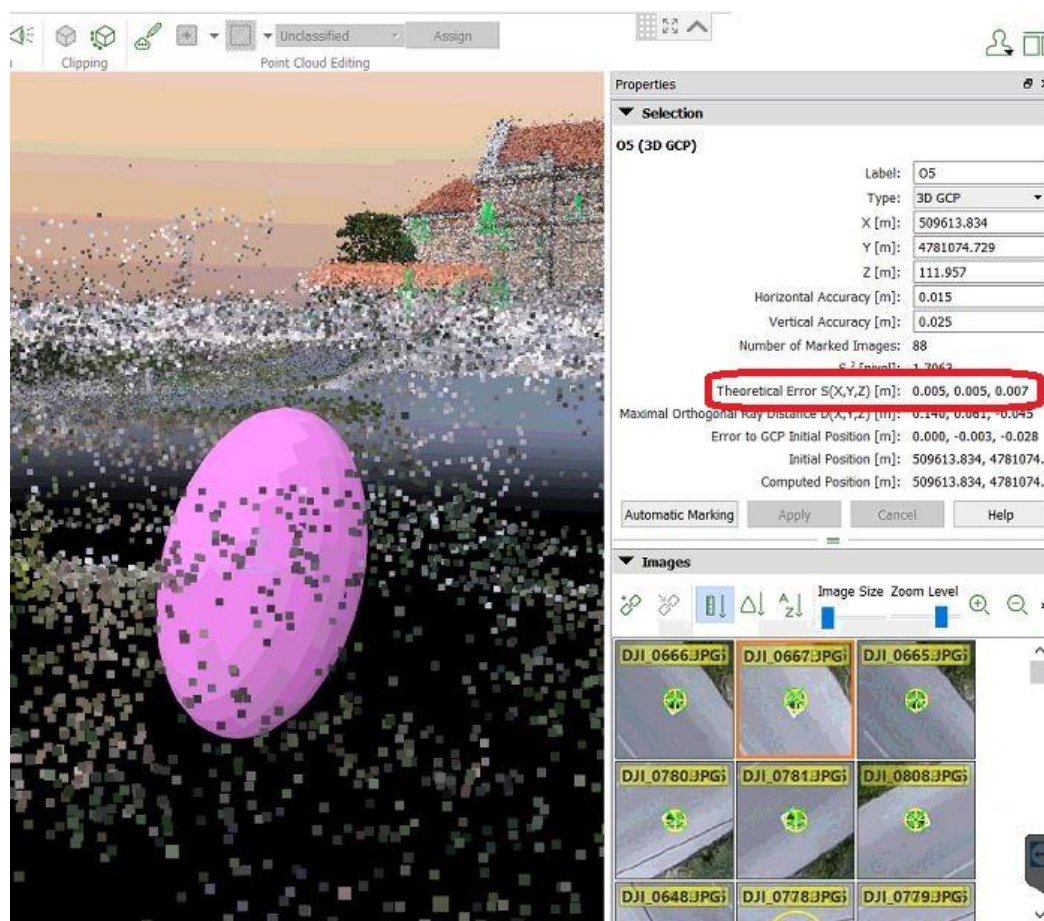
gdje je \mathbf{A} predstavlja matricu koficijenata izvedenih iz jednadžbe 6.4.

Teoretska pogreška je nedvojbeno najbolji pokazatelj geometrijske točnosti neke rekonstrukcije. To se jasno vidi na slici 8.10. Naime ako je točka označena na samo dvije slike s malom osnovicom (udaljenost između glavnih točaka fotografije) pojavit će se velika teoretska pogreška. S druge strane ako paru fotografija dodamo još jednu fotografiju s nešto većom osnovicom, pogreška se znatno smanjuje (URL 4).



Slika 8.10: Teoretska pogreška (URL 4)

Teoretska pogreška se automatski računa za sve automatski generirane vezne točke, ali i za one koje su ručno postavljene. To se odnosi i na orijentacijske točke koje su označene na velikom broju fotografija, minimalno 20. Kao posljedica, orijentacijske točke su poprimile malu teoretsku pogrešku u iznosu od nekoliko milimetara što ukazuje na visoku geometrijsku točnost modela. Iznimke su točke O3 i O6 čije teoretske pogreške poprimaju iznose 2 do 3 cm. Slika 8.11 prikazuje orijentacijsku točku O5 zajedno s teoretskom pogreškom te pripadajućim elipsoidom pogrešaka.



Slika 8.11: Točka O5 i pripadajući elipsoid pogrešaka (teoretska pogreška označena je crvenom bojom)

Geometrijska točnost ortofoto prikaza ispitana je vizualnom procjenom, te nije izvršena detaljna analiza kvalitete. Razlog leži u iznimno malom padu točnosti kod ortofoto prikaza u odnosu na korespondentan 3D model. Rezimirano, ortofoto prikaz područja od interesa je zavidne točnosti, u razini očekivane. Proučavanjem propagacije pogrešaka za ortofoto prikaz utvrđeno je istovjetno ponašanje pogrešaka kao i kod 3D modela. Ta analogija je bila za očekivati, budući da je 3D model u principu osnova izrade ortofoto prikaza. To se jasno vidi na preklopu s tlocrtom crkve generiranim u AutoCAD-u. Naime grubom vizualnom interpretacijom možemo doći do zaključka da je ortofoto prikaz vrlo točan, bilo u položajnom smislu ili pak geometrijski gledajući (Slika 8.12).



Slika 8.12: Usporedba ortofoto prikaza u odnosu na tlocrt crkve izrađen na temelju tahimetrijskih mjerenja (približno M 1:350)

8.3. Estetska komponenta

Sve do danas ne postoje kvantitativni pokazatelji estetske vrijednosti nekog fotogrametrijskog proizvoda. Prema tome ta komponenta kvalitete neće biti detaljno ispitivana. Moguće je jedino vizualno procijeniti estetsku kvalitetu. Jedan od najprimjetnijih atributa je razina detalja. Razina detalja ovisi o ostvorenoj prostornoj rezoluciji te o nivou kvalitete procesa rekonstrukcije. Drugi vjerojatno najznačajniji atribut je vjernost prikaza, odnosno da li prikaz nekog objekta na fotogrametrijskom proizvodu, odgovara njegovom realnom izgledu. To se prvenstveno odnosi na korištene vrijednosti boja i odgovarajućih tonova te na njihovu prostornu razdiobu. Na taj faktor utječu brojne pojave i vrijednosti. Kako bi se ostvarila visoka vjernost prikaza potrebno je obratiti pozornost na ostvarivanje optimalnih atmosferskih uvjeta, optimalnih uvjeta osvjetljenja, korištenje odgovarajućih postavki na digitalnoj kameri, korištenje fotografske opreme zadovoljavajuće kvalitete kao i na način obrade podataka (Medić, 2015).

U konkretnom slučaju možemo reći da generirani teksturirani model predstavlja uistinu kvalitetan prikaz, koji vjerodostojno prikazuje geometriju promatrane scene. Svi veći objekti su uočljivi i raspoznatljivi, stoga se može utvrditi kako je ostvorena razina detalja zadovoljavajuća. To se odnosi na sve objekte koji su otprilike veći od 0.5 metara. Na manjim elementima rekonstrukcije, uslijed približenja, mogu se uočiti jasne deformacije prikaza (Slika 8.13). Te deformacije se javljaju kao posljedica neotklonjenih šumova u gustom oblaku točaka, koje je gotovo nemoguće u potpunosti ukloniti.

Vremenski uvjeti prilikom fotografiranja bili su idealni. Naime zbog oblačnog vremena, crkva je bila jednolično osvijetljena što je doprinjelo tome, da nema razlika u tonovima i teksturi prikazane scene.



Slika 8.13: Uvećani detalj - sat na zvoniku (kazaljke su dugačke otprilike 40 cm)

8.4. Preciznost mjerenja

Ostvariva preciznost mjerenja u 3D modelu isključivo ovisi o geometrijskoj točnosti generiranog modela. U svrhu ispitivanja ostvarive preciznosti obavljena je usporedba sa odgovarajućim veličinama izmjerenima u stvarnom svijetu. To se odnosi na 5 referentnih duljina koje su jasno definirane određenim karakterističnim točkama na fasadi crkve. Mjerenja su obavljena pomoću elektroničnog ručnog daljinomjere Leica Disto plus koji nudi podatak mjerenja sa sigurnošću od 1.5 mm (URL 4). Sve duljine su izmjerene dva puta, na temelju čega je izračunata njihova srednja vrijednost. S obzirom da se u modelu očekuje nesigurnost mjerenja u iznosu od nekoliko centimetara, ova vrijednost se uzima kao prava vrijednost.



Slika 8.14: Kontrolna odmjeranja

Slika 8.14 prikazuje pet kontrolnih odmjeranja na crkvi. Prvo se odnosi na duljinu zida, drugo na širinu prozora, treće na širinu vrata, četvrto na duljinu kamenog bloka i peto ponovno na širinu vrata. Valja napomenuti da se treće odnosi na zapadna vrata, a peto na južna vrata. Iz tablice 8.2 može se uočiti da su njihove širine jednake do u centimetar što ukazuje na kvalitetnu gradnju i bez posjedovanja preciznog mjernog instrumentarija kakvog poznajemo danas.

Duljine u Pix4D-u se mjere jednostavnom naredbom „Polyline“. Zadavanjem početne i krajnje točke (engl. *vertices*) u oblaku točaka, program automatski računa vrijednost zadane prostorne duljine. Duljine se računaju na temelju koordinatnih razlika između dvije točke u prostoru, koje su definirane kao krajnje. Zatim se duljina, radi povećanja točnosti, označava na pojedinim fotografijama na kojima je vidljiva (Slika 8.15). Nakon što su početna i krajnja točka označene na minimalno dvije fotografije, program automatski korigira mjerenu duljinu te računa mjernu nesigurnost (Slika 8.15). Naime na temelju označavanja krajnjih točaka na fotografijama, računa se njihov prostorni položaj te pripadajuća teoretska pogreška. Teoretska pogreška pojedine krajnje točke služi za procjenu nesigurnosti mjerenja duljine, temeljem zakona o prirastu pogrešaka (URL 4). Što je veći broj fotografija na kojima su krajnje točke označene, to će nesigurnost biti manja. U konkretnom slučaju krajnje točke su označene na 10 do 15 fotografija, s iznimkom za duljinu koja se odnosi na širinu sjevernih vrata, koja je označena na samo 5 fotografija.



Slika 8.15: Označavanje krajnjih točaka (crvenom bojom je označena vrijednost duljine i pripadajuća nesigurnost mjerenja)

Tablica 8.2 prikazuje odstupanja pojedinih duljina izmjerenih na modelu u odnosu na njihove prave vrijednosti. Upisane su i pripadajuće nesigurnosti mjerenja na modelu koje ukazuju na to, da su mjerenja u skladu sa geometrijskom točnošću generiranog modela.

Sve u svemu odstupanja u duljini pokazuju vrlo zadovoljavajuće rezultate. *Duljine 2 i 3* ukazuju na subcentimetarsku preciznost mjerenja korištenjem modela, dok *duljine 1 i 4* ukazuju na preciznost od jednog centimetra što je dovoljno za obavljanje većine standardnih geodetskih zadaća. *Duljina 5* odstupa 2 centimetra od prave vrijednosti ali označavanjem njenih krajnjih točaka na većem broju fotografija, kao i kod ostalih duljina, moguće je generiranje preciznijih rezultata.

Oznaka	Iznos duljine u naravi [m]	Iznos duljine na 3D modelu [m]	Nesigurnost mjerenja [m]	Odstupanje duljine [m]
Duljina 1	3.76	3.75	± 0.01	0.01
Duljina 2	0.35	0.35	± 0.03	0.00
Duljina 3	1.80	1.80	± 0.02	0.00
Duljina 4	0.84	0.85	± 0.01	-0.01
Duljina 5	1.80	1.82	± 0.02	-0.02

Tablica 8.2: Kontrolna mjerenja

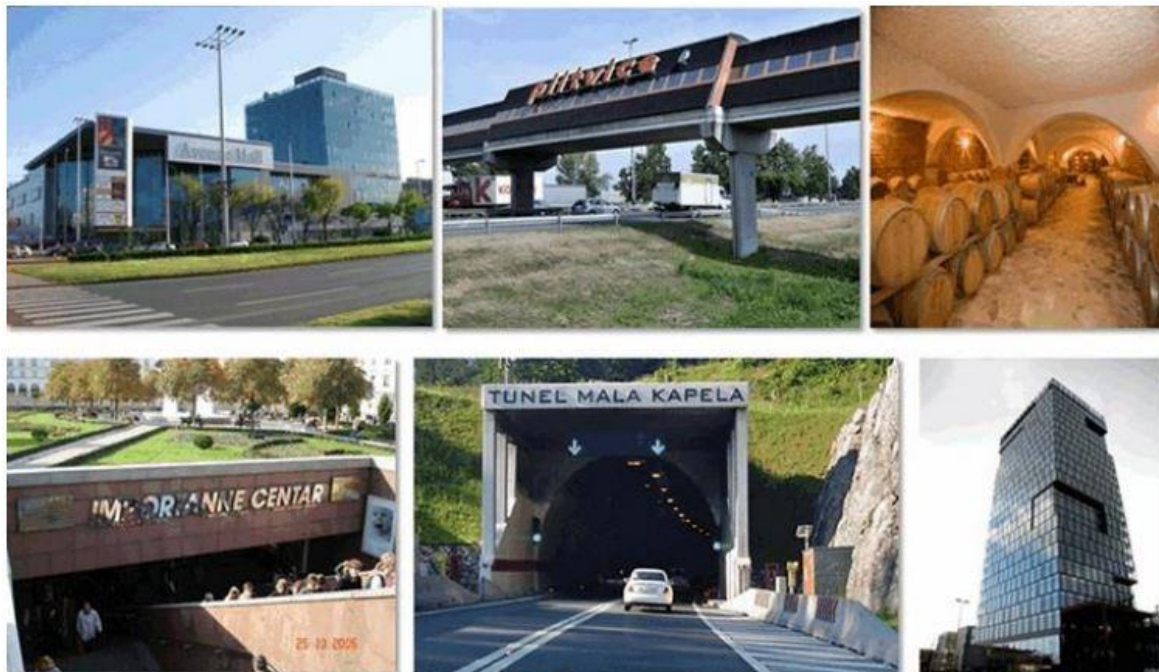
9. Mogućnosti 3D modela

Fotogrametrija odnosno „umijeće kreiranja 3D geometrije iz fotografija“, vuče svoje korijene još unazad tri stoljeća. Ali ne i svoju masovnu primjenu. Može se reći da je fotogrametrija kao znanost doživjela ponovno rođenje pojavom digitalne kamere. Naime digitalne fotografije znatno su olakšale proces izdvajanja i analize prostornih podataka u odnosu na prethodne analogne metode. Bilježi se i nagli razvoj računalne podrške koja predstavlja osnovu za obradu, pohranu te vizualizaciju fotogrametrijskih proizvoda. Osnovni matematički principi fotogrametrije pretočeni su u napredne računalne programe za obradu ogromne količine podataka. Npr. programi kao Pix4D sada već mogu obraditi stotine preklapajućih fotografija, te generirati potpuno teksturirane 3D modele i ortofoto prikaze koji posjeduju centimetarsku točnost.

Primjena 3D modela počela još davnih 1950-tih godina, ali svoju ekspanziju na tržištu doživjela je tek u zadnjih nekoliko godina kada je došlo do automatizacije i ubrzanja procesa izrade i održavanja takvih modela. S obzirom na karakter i mogućnosti analiza te operacija nad 3D digitalnim modelima, njihova primjena je postala vrlo široka (Cetl, 2013). Osim u geodeziji, 3D modeli danas nalaze svoju primjenu u urbanizmu, prostornom planiranju, procjeni nekretnina, graditeljstvu, poljoprivredi, prometu i drugim srodnim područjima djelovanja.

U geodeziji se sve češće spominju moderniji aspekti vizualizacije koji će omogućiti lakšu obradu i održavanje 3D informacija. Kao posljedica toga razvijaju se automatizirani procesi koji uz odgovarajuću programsku podršku sačinjavaju adekvatan sustav za gospodarenje prostornim podacima.

Tradicionalni katastri, utemeljeni 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. Pritisak na gradnju građevina, osobito u središtima gradova, dovelo je do guste izgrađenosti složenim građevinama. Na tim građevinama odnosi su isprepleteni. U pravilu je omogućen upis prava na dijelovima tih građevina. Međutim, prostorni prikaz protezanja prava najčešće ne postoji ili je moguć višeslojnim dvodimenzionalnim prikazima. Osim toga sve je veći broj tunela, infrastrukturnih objekata (vodovod, plinovod, električne i druge mreže) koji se nalaze iznad ili ispod zemljišta, a nisu u vlasništvu osobe čije je zemljište (Slika 9.1). Taj koncept, star nekoliko stoljeća, nadograđuje se i uvodi mogućnost upisa obilježja zemljišta trodimenzionalno (Roić, 2012).



Slika 9.1: Primjeri građevina kojima 2D upis nije dovoljan (Cetl, 2013)

Sveobuhvatno gospodarenje prostorom aktualna je tema i trend u svijetu koji se usvaja i u Hrvatskoj. Gospodarenje prostorom predstavlja integrirani pristup održavanju, poboljšavanju i prilagođavanju poslovnih i drugih objekata za ostvarivanje primarnih ciljeva organizacije. Prototip takvog sustava naziva se BIM koji postepeno dobija sve veću važnost na području gospodarenja prostorom.

Osnova BIM sustava je 3D model objekta koji osim vizualnog prikaza u sebi sadrži i mnoge druge informacije, npr. geodetske koordinate, količine materijala i elemenata, svojstva elementa (toplinska provodljivost, masa ili čvrstoća), konstruktivne elemente objekta, cijene i mnoge druge informacije potrebne za izradu projektne dokumentacije. Treba naglasiti kako je BIM više od samog 3D modela. BIM omogućuje bolju vizualizaciju cijelog objekta s različitih stajališta. Korištenjem analiza nad podacima unutar modela moguće je jednostavnije i točnije predvidjeti ishod projekata prije njihove izgradnje. Preduvjet svim navedenim poboljšanjima su kvalitetni 3D podaci postojećeg stanja. Ti podaci su početni korak koji geodetski stručnjaci osiguravaju dizajnerima. ZhongChen (2012), jedan od vodećih geodetskih stručnjaka u primjeni novih tehnologija u radnim procesima, u svom osvrtu govori da je pred nama uzbudljivo vrijeme u kojem će kombinacija novih tehnologija, primjerice fotogrametrije, BIM-a i mobilnog kartiranja, postati standard koji će utjecati na sve faze životnog ciklusa cjelokupne infrastrukture (Bečirević i drugi, 2014).

Postavlja se pitanje što je u tome novost jer geodeti već duže vrijeme prikupljanju 3D koordinate točaka. Promjena je u tome što sad postoje sustavi i metode koje omogućuju prikupljanje velike količine prostornih podataka u vrlo kratkom vremenu. Rješava se isti problem ali na način koji je neusporedivo brži i često smatran zanimljivijim. U spomenutom kontekstu, 3D fotogrametrija će zauzimati sve značajniju ulogu u modeliranju prostora.

Kao što je navedeno, smisao BIM-a je povezivanje podataka iz faza projektiranja, građenja, obnove ili prenamjene s procesima upravljanja i uspješnog poslovanja, odnosno održavanja. Niti jedan proces ne može biti uspješno proveden bez osnove koju čine potrebni i primjereno kvalitetni prostorni podaci. Svakako je, kao i do sada, potrebno odabrati primjerenu metodu i tehnologiju prikupljanja podataka o objektima. Tradicionalne metode izmjere, kao što su mjerne vrpce, laserski daljinomjeri i mjerne stanice zahtijevaju više truda i vremena kako bi se osiguralo prikupljanje svih potrebnih podataka. Uz moderne automatizirane mjerne sustave, geodetski stručnjaci su ti koji će se morati suočiti s često kompleksnim objektima te osigurati pouzdane podatke njihovog stvarnog stanja i izraditi 3D modele pogodne za daljnje razvijanje BIM procesa.

10. Zaključak

Tradicionalnim geodetskim metodama se prikuplja konačan broj podataka na terenu prilagođen određenoj namjeni. Kada se namjena promijeni ili nedostaje dio podataka potreban je ponovni izlazak na teren. To nije slučaj kod fotogrametrije jer je njen osnovni produkt oblak točaka. Mogućnosti su mnogobrojne i moguće je koristiti podatke iste izmjere za različite namjene odnosno ovisno o potrebi vršiti nove virtualne izmjere na oblaku točaka. To je kocept koji ima odlične predispozicije za izgradnju BIM-a, jer je BIM namijenjen da se iz njega, isto tako ovisno o namjeni, 'izvlače' potrebni podaci u odgovarajućem obliku.

Prilikom izrade ovog diplomskog rada zapažena je i nevjerojatna jednostavnost korištenja modernih automatiziranih programa za obradu fotogrametrijskih podataka. U konkretnom slučaju to se odnosi na programski paket Pix4Dmapper, koji nudi potpunu kontrolu nad orijentacijskim i veznim točkama, mnoštvo mogućnosti manipuliranja podacima te izrazito visoku razinu detalja generiranog modela. Nudi mogućnost vrlo jednostavne i intuitivne vizualizacije, te potpune kontrole nad cijelim procesom. Ono što je najvažnije, PixDmapper korisniku predstavlja pouzdanu platformu za generiranja vrlo točnih i visokokvalitetnih rezultata. Analizom geometrijske točnosti oblaka točaka crkve Sv. Mihovila, ustanovljeno je prosječno prostorno standardno odstupanje točaka u iznosu od 2.9 cm, što je npr. unutar zahtjevane točnosti sadašnjeg katastra nekretnina. Provedena su i kontrolna mjerenja koja ukazuju na centimetarsku točnost mjerenja u horizontalnom i vertikalnom smislu, što ga čini pogodnim za upis u bilo koji postojeći 3D registar, uključujući naravno i BIM.

Sami geodeti trebaju shvatiti razliku i moći objasniti zainteresiranim stranama da je uloga geodeta vrlo bitna. Geodeti ne postoje isključivo da bi hodali uokolo i isporučivali podatke mjerenja već posjeduju znanje, vještine i volju da strankama pruže više od onoga što su pružali do sada. Svakako je došlo vrijeme u kojem geodeti trebaju promovirati snagu razmišljanja u 3D-u i svoju ulogu ključnog partnera u namjeri za optimiziranjem infrastrukture za održiviju budućnost.

Pojam vizualizacije veoma je opširan. Ako ga se želi istinski shvatiti potrebno je veoma dobro poznavanje hardvera, programiranja, estetike, umjetnosti (teorija boja i osvjetljenje) te između ostalog veoma puno uloženog vremena. U konačnici, predlažu se daljnja složenija i detaljnija ispitivanja primjenjivosti 3D modela za potrebe nekih preciznijih geodetskih poslova. Poseban naglasak se stavlja na georeferenciranje fotografija odnosno geodetsku osnovu, čija kvaliteta uspostavljanja direktno utječe na apsolutnu i relativnu točnost modela.

Popis literature

- Bečirević, D., Babić, L., Cigrovski, I. (2014): Od podataka laserskog skeniranja do BIM modela postojećeg stanja, znanstveni članak, Ekscentar, br. 17, pp. 87-92.
- Cetl, V. (2013): Primjena 3D modela u upravljanju gradom, studija, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb.
- Ciceli, T. (2004): Primjena digitalne kamere u terestričkoj fotogrametriji, magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb.
- Feil L. (1989.): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja – 1 dio, skripta, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb.
- Gašparović, M., Gajski, D. (2013): Virtualna stvarnost temeljena na metodama geodetske izmjere, Zbornik radova VI. Simpozija ovlaštenih inženjera geodezije, Opatija.
- Ivković, M., Cetl, V., Redovniković, L., (2013): Izmjera zemljišta, skripta, Geodetski fakultet, Zagreb.
- Jacobsen, K. (2005): Block adjustment, skripta, Institute for Photogrammetry and Surveying Engineering, University of Hannover.
- Klepac, H. (2005): Izrada fotorealističnog 3D modela objekta uporabom stvarnih tekstura, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb.
- Medić, T. (2015): Izmjera nepristupačnih područja pomoću bespilotnih letjelica, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb.
- Moškateo, I. (2007): Tartajun br.1, informativno – zabavna publikacija, Dol.
- Pedišić, M. (2015): Trodimenzionalna izmjera i vizualizacija unutrašnjosti crkve Sv. Roka u Starom Gradu na otoku Hvaru, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb.
- Pix4D SA (2017): Pix4Dmapper 3.2, user manual, EPFL Innovation park, Lausanne, Switzerland.
- Roić, M. (2012): Upravljanje zemljišnim informacijama - katastar. Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, ISBN 978-953-6082-16-2, Zagreb.
- Stančić, B., Roić, M., Mađer, M., Vidović, A. (2014): Building Information Management based on Total Station Measurements and Laser Scanning, znanstveni članak, INGENIO 2014 – 6th International Conference on Engineering Surveying, Prague, Czech republic.

Popis URL-ova

URL 1: Predavanje za srednju školu,

http://www.geoskola.hr/~gsurina/TAHIMETRIJA_2015_16.pdf, (16.10.2017.)

URL 2: Službena stranica DJI,

<https://www.dji.com/phantom-4-pro/info>, (17.10.2017.)

URL 3: Internet stranica namijenjena recenziranju digitalnih fotoaparata,

<http://www.imaging-resource.com/PRODS/D7000/D7000A.HTM>, (17.10.2017.)

URL 4: Službena stranica Pix4D,

<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459#gsc.tab=0>, (25.10.2017.)

URL 5: Službena stranica Tanguay Photo Mag,

<https://www.tanguayphotomag.biz/aerial-photography/creating-stereomodels-with-aerial-triangulation-by-bundleblock-adjustment.html>, (27.10.2017.)

URL 12: LinkedIn,

<https://www.linkedin.com/pulse/everything-you-need-know-drone-mapping-accuracy-aleksander-buczowski>, (03.11.2017.)

Popis slika

Slika 2.1: Smještaj naselja Dol, približno M 1:50 000 (službeni DOF)	7
Slika 2.2: Trigonometrijska točka – zvonik crkve	8
Slika 2.3: Tlocrt stare crkve i njenih naogradnji (Moškateo, 2007).....	9
Slika 2.4: Katastarski plan iz 1834. (M 1:1440).....	Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.
Slika 2.5: Slika crkve iz 1910. godine (Moškateo, 2007).....	10
Slika 2.6: Podaci iz katastarskog operata (crkva je čestica *117): Kopija katastarskog plana (lijevo) i Prijepis posjedovnog lista (desno) (ZIS)	10
Slika 3.1: Plan orijentacijskih točaka za aerofotogrametriju (približno M 1:2 000)	11
Slika 3.2: Oznake na terenu (orijentacijske točke)	12
Slika 3.3: Poligonska mreža oko crkve	12
Slika 3.4: GCP izvan crkve označen crvenom bojom (lijevo) i GCP unutar crkve označen mjernom markicom (desno).....	13
Slika 4.1: Metode izmjere prema broju opažanih točaka i veličini objekta (Ivković i dr. 2013)	14
Slika 4.2: Sjeverozapadni rub svake oznake (čelična bolca) predstavlja orijentacijsku točku	15
Slika 4.3: Leica GPS1200.....	16
Slika 4.4: Leica TS06 plus	18
Slika 4.5: Polarna metoda (URL 1)	19
Slika 4.6: DJI Phantom 4 Pro (URL 2)	21
Slika 4.7: Nikon D7000	22
Slika 5.1: Sučelje programa Best-fit Columbus 3.8.....	25
Slika 5.2: Sučelje AutoCAD Map 3D-a.....	25
Slika 5.3: Princip izjednačenja znakovnim snopovima (URL 5)	27
Slika 5.4: Rijetki (lijevo) i gusti (desno) oblak točaka	28
Slika 5.5: Ručno označavanje orijentacijskih točaka na fotografijama (zeleni križić – projekcija 3D točke na slici; žuti križić – ručno označen položaj točke; žuti krug – razina povećanja prilikom ručnog označavanja GCP-a na pojedinoj slici).....	29
Slika 5.6: Ovisnost prostorne rezolucije o visini leta i žarišnoj duljini fotosenzora (URL 4)	31
Slika 5.7: Unos fotografija (lijevo) i odabir izlaznog koordinatnog sustava (desno) ..	32
Slika 5.8: Unos koordinata GCP-ova	33
Slika 6.1: Signalizacija orijentacijske točke.....	34
Slika 6.2: Grid mission (lijevo), Double grid mission (sredina), Circular mission (desno) (Pix4D manual).....	35
Slika 6.3: Skica približnih linija kretanja (plavo) i približnih orijentacija kamere (crveno) unutar crkve.....	36
Slika 6.4: Stabilizacija točaka O18 (lijevo) i O19 (desno).....	37
Slika 6.5: Skica mjerenja	38
Slika 7.1: Rijetki oblak točaka: aerofotogrametrija (lijevo) i terestrička fotogrametrija (desno)	39
Slika 7.2: mtp22 i mtp23 (označeni zelenom bojom) postavljeni na karakterističnim točkama crkve	40
Slika 7.3: Uređivanje područja obrade podataka	41
Slika 7.4: Šumovi u gustom oblaku točaka	41
Slika 7.5: Teksturirani plošni model crkve Svetog Mihovila	42

Slika 7.6: Teksturirani plošni model crkve i njene okolice	43
Slika 7.7: Fotografije pretamne za uparivanje: D7K_8740 i D7K_8741	44
Slika 7.8: Skica koridora: označen je koridor zapad-istok iz kojeg je generiran oblak točaka	45
Slika 7.9: Teksturirani 3D model unutrašnjosti: pozicije kamera (lijevo) i rekonstrukcija oltara (desno)	45
Slika 7.10: Spajanje fotografija (lijevo) i ortorektifikacija (desno) (URL 4).....	46
Slika 7.11: Ortofoto prikaz područja oko crkve (približno M 1:2 000).....	47
Slika 7.12: Uvećani detalj ortofoto prikaza (približno M 1:125)	47
Slika 7.13: Ortofoto prikaz u odnosu na DOF u QuantumGIS-u	48
Slika 8.1: Osnovni podaci izjednačenja	50
Slika 8.2: Rezultati Chi kvadrat testa: sva mjerenja (lijevo), pravci (u sredini), duljine (desno)	50
Slika 8.3: Izjednačene koordinate i pripadajuća standardna odstupanja	51
Slika 8.4: Apsolutne i relativne elipse pogrešaka	51
Slika 8.5: Uzorak prostorne rezolucije fotografija	52
Slika 8.6: Izvješće o kvaliteti: 5 glavnih uvjeta	53
Slika 8.7: Lijeva slika prikazuje popravljene položaje kamera (zelena točka) u odnosu na početne položaje (plava točka) dok desna slika prikazuje preklap između fotografija na pojedinim područjima.	53
Slika 8.8: Broj veznih točaka za fotografije snimljene iz zraka (lijevo), sa tla izvan crkve (u sredini) i u unutrašnjosti crkve (desno)	54
Slika 8.9: Pogreška projekcije (URL 4)	56
Slika 8.10: Teoretska pogreška (URL 4).....	57
Slika 8.11: Točka O5 i pripadajući elipsoid pogrešaka (teoretska pogreška označena je crvenom bojom)	58
Slika 8.12: Usporedba ortofoto prikaza u odnosu na tlocrt crkve izrađen na temelju tahimetrijskih mjerenja (približno M 1:350)	59
Slika 8.13: Uvećani detalj - sat na zvoniku (kazaljke su dugačke otprilike 40 cm)....	60
Slika 8.14: Kontrolna odmjeranja	60
Slika 8.15: Označavanje krajnjih točaka (crvenom bojom je označena vrijednost duljine i pripadajuća nesigurnost mjerenja).....	61
Slika 9.1: Primjeri građevina kojima 2D upis nije dovoljan (Cetl, 2013)	64

Popis tablica

Tablica 4.1: Tehničke karakteristike GNSS uređaja Leica GPS1200.....	16
Tablica 4.2: Leica TS06 plus - tehničke karakteristike	18
Tablica 4.3: DJI Phantom 4 Pro - tehničke karakteristike (URL 2).....	20
Tablica 4.4: Tehničke karakteristike - Nikon D7000 (URL3)	21
Tablica 5.1: Ulazni podaci - približne vrijednosti koordinata	23
Tablica 5.2: Ulazni podaci - pravci i duljine.....	24
Tablica 8.1: Orijentacijske točke – ocjena točnosti	56
Tablica 8.2: Kontrolna mjerenja	62

Prilozi

Prilog 1 – kompletno izvješće o provedenom izjednačenju geodetske mreže

COLUMBUS 3D Geodetic Network Adjustment Software

COLUMBUS: Demo - Ver 3.8.1.31
 Report File: C:\Users\pci23\Desktop\diplomski_rad\poligonski_vlak\poligonski_vlak_konacni_prave_vis.txt
 DATE: 04/27/2017 TIME: 13:31:43

GRS 1980 Major = 6378137.0000 1/f = 298.25722210
 Linear Units: Meters
 Angular Units: Degrees

Begin Adjustment...
 Gather all stations...
 Connectivity (O10)...
 Compute approximate coordinates...
 Setup fixed coordinates...
 Covariance matrix inverse...
 Degrees of freedom...
 Disk space availability...
 Reorder stations...
 Duplicate coordinate check and Observation correction...
 Compute weights...

Iteration number 1...
 Compute observation deltas...
 Compute coefficients...
 Setup equations...
 Solve equations...
 Apply corrections...
 Duplicate coordinate check and Observation correction...

Iteration number 2...
 Compute observation deltas...
 Compute coefficients...
 Setup equations...
 Solve equations...
 Apply corrections...
 Solution converged...

Inverse completed 100..
 Compute coefficients...
 Compute residuals...
 Statistics completed 100..
 Check for outliers...
 Generate reports...

3D GEODETIC NETWORK ADJUSTMENT SUMMARY

Datum	GRS 1980	1D Expansion Factor	1.95937
Linear Units	Meters	2D Expansion Factor	2.44788
Angular Units	Degrees	3D Expansion Factor	2.79532
Field Observations	41	A Priori Variance	1.00000
Coord Observations	15	A Posteriori Variance	0.80907
TOTAL OBSERVATIONS	56	Confidence Level	95.0
Num Stations	7	Chi Square Test On Variance Factor	
Fixed In 1D	0	0.513 < 1.0 < 1.463 (Passes)	
Fixed In 2D	0	Variance Factor Used	0.80907
Fixed In 3D	0	No Check Observations	0
Float Coord ParmS	21	Stan Res Rejections	0
Direction ParmS	6	(Tau Stat = 3.090)	
Scale ParmS	0	Resid/SD Rejections	0
Rotation ParmS N	0	Residual Rejections	0
Rotation ParmS E	0	TOTAL OUTLIER OBS	0
Rotation ParmS Up	0	Iterations	2
TOTAL PARMs	27	Convergence Criteria	0.0010000
		Zenith Angle Refraction	0.00000

DEGREES OF FREEDOM	29	Rotate Bearings	No		
		Use Full Covariance	No		
A-POSTERIORI VARIANCE (and STAN DEV) FACTOR (by observation type)					
Obs Type	Count	Sum of Squared Weighted Residuals	Redundancy (D.F.)	A-Post Variance	A-Post StanDev
Direct	14	1.837	1.919	0.958	0.979
Zenith	12	5.828	5.990	0.973	0.986
Chord	15	11.795	10.171	1.160	1.077
GEO Coords	15	4.003	10.920	0.367	0.605
TOTALS	56	23.463	29.000	0.809	0.899

ADJUSTMENT COMPLETE = 1 Seconds

Adjusted Coordinates

Station	Latitude	SD	Longitude	SD	Ortho Hgt	SD
O10	N 43-10-06.05386	0.0045	E 16-57-06.34813	0.0072	117.99787	0.0081
O14	N 43-10-08.00881	0.0055	E 16-57-04.42417	0.0043	120.26472	0.0081
O15	N 43-10-08.82277	0.0042	E 16-57-05.42500	0.0058	119.29479	0.0081
O16	N 43-10-08.17842	0.0045	E 16-57-06.57532	0.0044	119.92295	0.0081
O17	N 43-10-07.36543	0.0044	E 16-57-06.43917	0.0042	118.50367	0.0081
O18	N 43-10-07.62193	0.0042	E 16-57-05.42048	0.0041	120.91001	0.0081
O19	N 43-10-08.05926	0.0042	E 16-57-05.43581	0.0043	120.91711	0.0081

1 - 1D Fixed 2 - 2D Fixed 3 - 3D Fixed

Approx Geoid Hgt (0.00) Added To Compute Height Scale

Adjusted UTM Coordinates (Lon: E 16-49-60.00000)

Station	North	SD	East	SD	Ortho Hgt	SD
O10	4780951.099	0.004	509629.531	0.007	117.998	0.008
O14	4781011.361	0.006	509585.991	0.004	120.265	0.008
O15	4781036.510	0.004	509608.561	0.006	119.295	0.008
O16	4781016.664	0.005	509634.569	0.004	119.923	0.008
O17	4780991.573	0.004	509631.530	0.004	118.504	0.008
O18	4780999.455	0.004	509608.511	0.004	120.910	0.008
O19	4781012.951	0.004	509608.838	0.004	120.917	0.008

1 - 1D Fixed 2 - 2D Fixed 3 - 3D Fixed

Station	Grid SF	Height SF	Combined SF	Map Ang
O10	0.9999011403	0.9999814959	0.9998826381	0-04-51.684
O14	0.9999011300	0.9999811404	0.9998822723	0-04-50.371

O15	0.9999011354	0.9999812925	0.9998824297	0-04-51.056
O16	0.9999011415	0.9999811940	0.9998823374	0-04-51.843
O17	0.9999011408	0.9999814166	0.9998825592	0-04-51.748
O18	0.9999011353	0.9999810392	0.9998821765	0-04-51.052
O19	0.9999011354	0.9999810381	0.9998821754	0-04-51.063

Geodetic Coordinate Differences

Station	North	East	1D Diff	2D Diff	3DDiff
O10	-0.01092	0.00494	-0.01713	0.01198	0.02091
O14	0.00443	-0.00380	0.01272	0.00584	0.01400
O15	0.00163	0.00257	0.01079	0.00304	0.01121
O16	-0.00223	-0.00253	-0.00105	0.00338	0.00354
O17	0.00709	-0.00118	-0.00533	0.00718	0.00895
O18	-0.00150	-0.01201	0.01101	0.01211	0.01636
O19	-0.00046	-0.00594	0.01211	0.00595	0.01349

Adjusted Observations (Mark To Mark)

Standardized Residual Rejection Constant (Tau Stat) = 3.09005
 Residual / A Priori Stan Dev Rejection Constant = 5.00000
 Residual Rejection Constants For Each Observation Type
 Direct = 20.000
 Zenith = 20.000
 Chord = 1.00000
 Latitude = 1.00000
 Longitude = 1.00000
 Height = 1.00000

Obs Type	Num Obs	Default SD	Scaler
Direct	14	0.000	
Zenith	12	0.000	
Chord	15	0.00000	1.000000000
Latitude	5	0.0000000	
Longitude	5	0.0000000	
Height	5	0.0000000	

Default Instrument/Target Centering Errors

Obs Set Type	Horizontal	Vertical
Az/Zen/Chord	0.00000	0.00000
Dir/Zen/Chord	0.00000	0.00000
Bearing/HorDist	0.00000	0.00000
HorAng/Zen/Chord	0.00000	0.00000
Hgt Diff	0.00000	0.00000
GPS XYZ	0.00000	0.00000
Local NEU	0.00000	0.00000

Default PPM Corrections

Obs Type	PPM
Chord Dist	0.00000
Horiz Dist	0.00000

Stations	Observations	SD	Resid	Stan Res
		SD	Resid SD	Resid/SD
AT O14	Direct 0-00-00.000	5.0000	-0.6422	-0.3865
	Corrected 0-00-00.000	5.0000		
TO O15	Adjusted 359-59-59.358	4.1793	1.6614	-0.1284
		Redundancy		0.14

AT	O14	Direct	44-06-51.500	5.0000	0.6422	0.3865
		Corrected	44-06-51.500	5.0000		
TO	O19	Adjusted	44-06-52.142	4.1793	1.6614	0.1284
				Redundancy		0.14
AT	O15	Direct	94-33-43.000	5.0000	-1.0066	-0.5929
		Corrected	94-33-43.000	5.0000		
TO	O14	Adjusted	94-33-41.993	4.1647	1.6977	-0.2013
				Redundancy		0.14
AT	O15	Direct	0-00-00.000	5.0000	1.0066	0.5929
		Corrected	0-00-00.000	5.0000		
TO	O16	Adjusted	0-00-01.007	4.1647	1.6977	0.2013
				Redundancy		0.14
AT	O16	Direct	120-26-14.000	5.0000	0.6734	0.3974
		Corrected	120-26-14.000	5.0000		
TO	O15	Adjusted	120-26-14.673	4.1659	1.6946	0.1347
				Redundancy		0.14
AT	O16	Direct	0-00-00.000	5.0000	-0.6734	-0.3974
		Corrected	0-00-00.000	5.0000		
TO	O17	Adjusted	359-59-59.327	4.1659	1.6946	-0.1347
				Redundancy		0.14
AT	O17	Direct	0-00-00.000	5.0000	0.2696	0.9962
		Corrected	0-00-00.000	5.0000		
TO	O10	Adjusted	0-00-00.270	4.4893	0.2706	0.0539
				Redundancy		0.00
AT	O17	Direct	184-04-46.500	5.0000	2.5341	1.3550
		Corrected	184-04-46.500	5.0000		
TO	O16	Adjusted	184-04-49.034	4.0901	1.8702	0.5068
				Redundancy		0.17
AT	O17	Direct	106-04-34.500	5.0000	-2.8036	-1.4933
		Corrected	106-04-34.500	5.0000		
TO	O18	Adjusted	106-04-31.696	4.0868	1.8775	-0.5607
				Redundancy		0.17
AT	O18	Direct	0-00-00.000	5.0000	-3.6079	-2.1072
		Corrected	0-00-00.000	5.0000		
TO	O14	Adjusted	359-59-56.392	4.1588	1.7122	-0.7216
				Redundancy		0.14
AT	O18	Direct	171-02-10.000	5.0000	1.8617	1.2714
		Corrected	171-02-10.000	5.0000		
TO	O17	Adjusted	171-02-11.862	4.2524	1.4642	0.3723
				Redundancy		0.11
AT	O18	Direct	63-31-17.000	5.0000	1.7462	0.9226
		Corrected	63-31-17.000	5.0000		
TO	O19	Adjusted	63-31-18.746	4.0798	1.8926	0.3492
				Redundancy		0.18
AT	O19	Direct	0-00-00.000	5.0000	2.0357	1.1730
		Corrected	0-00-00.000	5.0000		
TO	O14	Adjusted	0-00-02.036	4.1491	1.7354	0.4071
				Redundancy		0.15
AT	O19	Direct	275-22-04.500	5.0000	-2.0357	-1.1730
		Corrected	275-22-04.500	5.0000		
TO	O18	Adjusted	275-22-02.464	4.1491	1.7354	-0.4071
				Redundancy		0.15
Stations		Observations		SD	Resid	Stan Res
				SD	Resid SD	Resid/SD
AT	O14	Zenith	91-51-44.000	5.0000	2.9922	0.8107
		Corrected	88-32-54.042	5.0000		
TO	O18	Adjusted	88-32-57.034	2.5702	3.6907	0.5984
				Redundancy		0.67
AT	O14	Zenith	92-03-21.000	5.0000	-4.7346	-1.3072
		Corrected	88-22-11.636	5.0000		
TO	O19	Adjusted	88-22-06.901	2.6660	3.6221	-0.9469

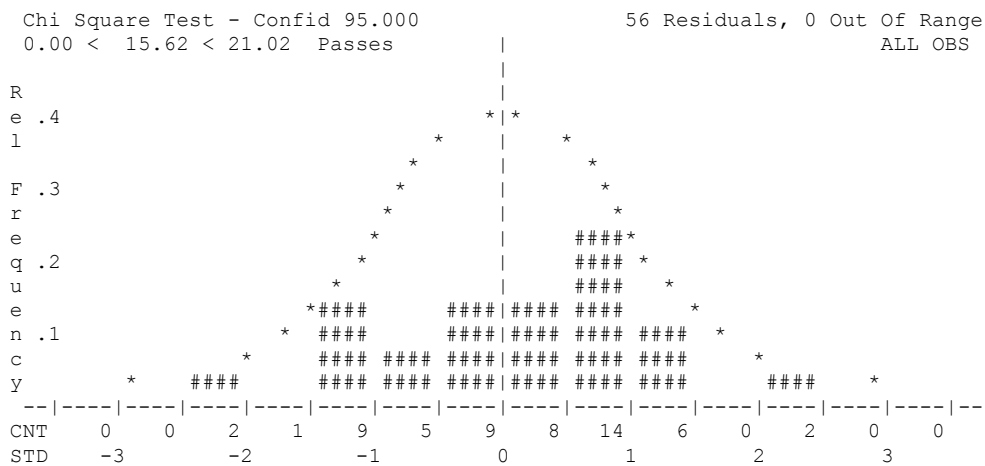
				Redundancy	0.65	
AT	O15	Zenith	91-06-23.000	5.0000	2.4424	0.8940
		Corrected	88-21-19.775	5.0000		
TO	O14	Adjusted	88-21-22.217	3.5725	2.7321	0.4885
				Redundancy		0.37
AT	O15	Zenith	91-44-33.000	5.0000	-2.5596	-0.9682
		Corrected	88-54-03.625	5.0000		
TO	O16	Adjusted	88-54-01.066	3.6384	2.6436	-0.5119
				Redundancy		0.35
AT	O16	Zenith	96-51-44.000	5.0000	4.9256	1.4744
		Corrected	93-12-44.915	5.0000		
TO	O17	Adjusted	93-12-49.840	3.0109	3.3408	0.9851
				Redundancy		0.55
AT	O17	Zenith	93-01-21.000	5.0000	-0.2038	-1.0385
		Corrected	90-42-54.938	5.0000		
TO	O10	Adjusted	90-42-54.734	4.4931	0.1963	-0.0408
				Redundancy		0.00
AT	O17	Zenith	90-29-04.000	5.0000	6.8994	2.0652
		Corrected	86-47-04.079	5.0000		
TO	O16	Adjusted	86-47-10.979	3.0109	3.3408	1.3799
				Redundancy		0.55
AT	O17	Zenith	86-04-07.000	5.0000	0.4887	0.1468
		Corrected	84-21-08.935	5.0000		
TO	O18	Adjusted	84-21-09.423	3.0228	3.3301	0.0977
				Redundancy		0.55
AT	O18	Zenith	96-31-04.000	5.0000	2.0459	0.6144
		Corrected	95-38-49.317	5.0000		
TO	O17	Adjusted	95-38-51.362	3.0228	3.3301	0.4092
				Redundancy		0.55
AT	O18	Zenith	96-37-19.000	5.0000	-2.1247	-0.6361
		Corrected	89-58-13.845	5.0000		
TO	O19	Adjusted	89-58-11.721	3.0117	3.3401	-0.4249
				Redundancy		0.55
AT	O19	Zenith	95-40-28.000	5.0000	-3.6481	-1.0072
		Corrected	91-37-57.487	5.0000		
TO	O14	Adjusted	91-37-53.839	2.6660	3.6221	-0.7296
				Redundancy		0.65
AT	O19	Zenith	96-53-11.000	5.0000	-2.7700	-0.8293
		Corrected	90-01-51.487	5.0000		
TO	O18	Adjusted	90-01-48.717	3.0117	3.3401	-0.5540
				Redundancy		0.55
Stations		Observations		SD	Resid	Stan Res
				SD	Resid SD	Resid/SD
AT	O14	Chord	33.88300	0.0020	-0.0001	-0.0688
		Corrected	33.80866	0.0021		
TO	O15	Adjusted	33.80855	0.0011	0.0015	-0.0504
PPM	2.00000			Redundancy		0.67
AT	O14	Chord	25.49100	0.0020	-0.0013	-0.8096
		Corrected	25.48569	0.0021		
TO	O18	Adjusted	25.48437	0.0008	0.0016	-0.6465
PPM	2.00000			Redundancy		0.79
AT	O14	Chord	22.91900	0.0020	0.0002	0.1202
		Corrected	22.91355	0.0020		
TO	O19	Adjusted	22.91375	0.0008	0.0017	0.0971
PPM	2.00000			Redundancy		0.81
AT	O15	Chord	33.80300	0.0020	-0.0020	-1.3489
		Corrected	33.81060	0.0021		
TO	O14	Adjusted	33.80855	0.0011	0.0015	-0.9897
PPM	2.00000			Redundancy		0.67
AT	O15	Chord	32.73350	0.0020	0.0012	0.8269

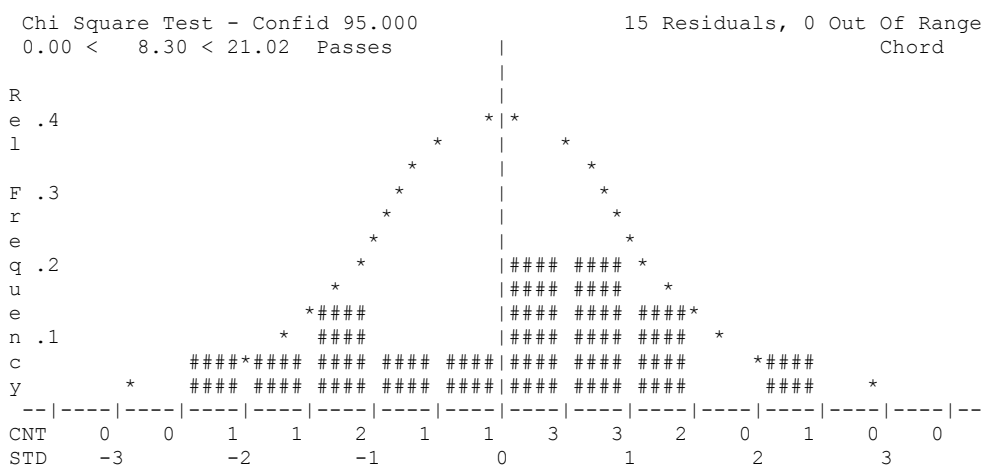
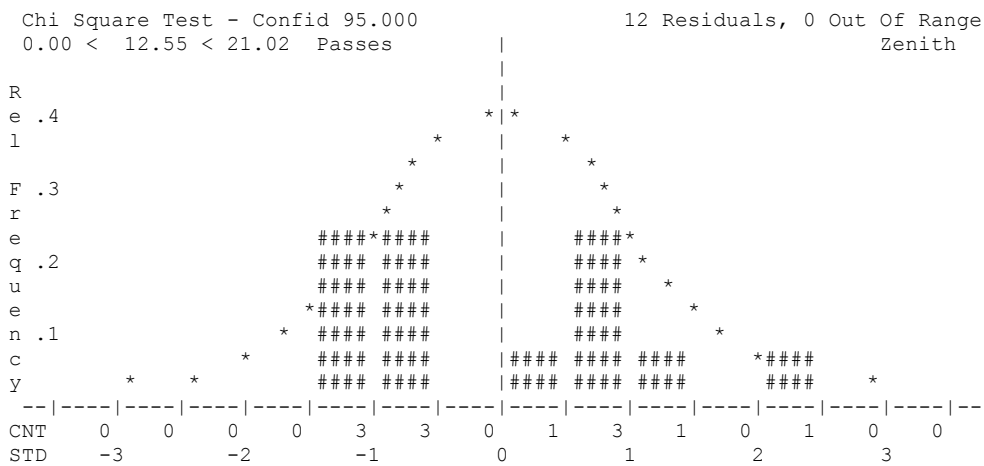
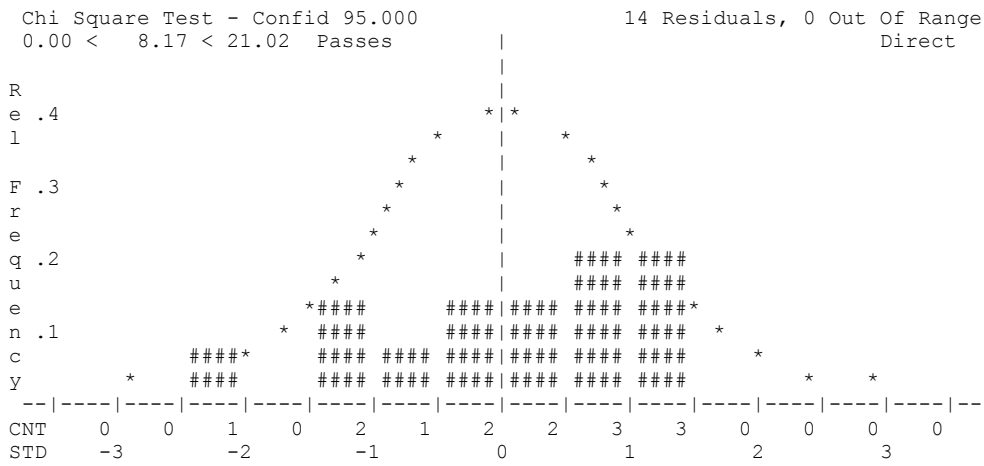
TO O16		Corrected	32.72440	0.0021		
PPM	2.00000	Adjusted	32.72565	0.0011	0.0015	0.6049
				Redundancy		0.66
AT O16		Chord	32.80000	0.0020	-0.0030	-2.0047
TO O15		Corrected	32.72868	0.0021		
PPM	2.00000	Adjusted	32.72565	0.0011	0.0015	-1.4665
				Redundancy		0.66
AT O16		Chord	25.45600	0.0020	0.0036	2.3823
TO O17		Corrected	25.31337	0.0021		
PPM	2.00000	Adjusted	25.31692	0.0011	0.0015	1.7322
				Redundancy		0.65
AT O17		Chord	40.58500	0.0020	-0.0005	-1.3845
TO O10		Corrected	40.53170	0.0021		
PPM	2.00000	Adjusted	40.53124	0.0018	0.0003	-0.2228
				Redundancy		0.03
AT O17		Chord	25.28100	0.0020	-0.0030	-1.9956
TO O16		Corrected	25.31990	0.0021		
PPM	2.00000	Adjusted	25.31692	0.0011	0.0015	-1.4511
				Redundancy		0.65
AT O17		Chord	24.39050	0.0020	0.0010	0.6460
TO O18		Corrected	24.45179	0.0020		
PPM	2.00000	Adjusted	24.45276	0.0011	0.0015	0.4735
				Redundancy		0.66
AT O18		Chord	25.57200	0.0020	0.0007	0.4156
TO O14		Corrected	25.48369	0.0021		
PPM	2.00000	Adjusted	25.48437	0.0008	0.0016	0.3319
				Redundancy		0.79
AT O18		Chord	24.49100	0.0020	0.0014	0.9321
TO O17		Corrected	24.45136	0.0020		
PPM	2.00000	Adjusted	24.45276	0.0011	0.0015	0.6831
				Redundancy		0.66
AT O18		Chord	13.58900	0.0020	0.0022	1.3477
TO O19		Corrected	13.49836	0.0020		
PPM	2.00000	Adjusted	13.50060	0.0007	0.0017	1.1049
				Redundancy		0.83
AT O19		Chord	23.01700	0.0020	0.0002	0.1285
TO O14		Corrected	22.91354	0.0020		
PPM	2.00000	Adjusted	22.91375	0.0008	0.0017	0.1038
				Redundancy		0.81
AT O19		Chord	13.59700	0.0020	0.0017	1.0061
TO O18		Corrected	13.49893	0.0020		
PPM	2.00000	Adjusted	13.50060	0.0007	0.0017	0.8248
				Redundancy		0.83
Stations		Observations		SD	Resid	Stan Res
				SD	Resid SD	Resid/SD
AT O10		Latitude N	43-10-06.05421	0.0100	-0.0109	-1.4019
		Adjusted N	43-10-06.05386	0.0045	0.0078	-1.0919
				Redundancy		0.75
AT O14		Latitude N	43-10-08.00866	0.0100	0.0044	0.6260
		Adjusted N	43-10-08.00881	0.0055	0.0071	0.4432
				Redundancy		0.62
AT O15		Latitude N	43-10-08.82271	0.0100	0.0016	0.2059
		Adjusted N	43-10-08.82277	0.0042	0.0079	0.1634
				Redundancy		0.78
AT O16		Latitude N	43-10-08.17849	0.0100	-0.0022	-0.2878
		Adjusted N	43-10-08.17842	0.0045	0.0078	-0.2234
				Redundancy		0.74
AT O17		Latitude N	43-10-07.36520	0.0100	0.0071	0.9016
		Adjusted N	43-10-07.36543	0.0044	0.0079	0.7087
				Redundancy		0.76

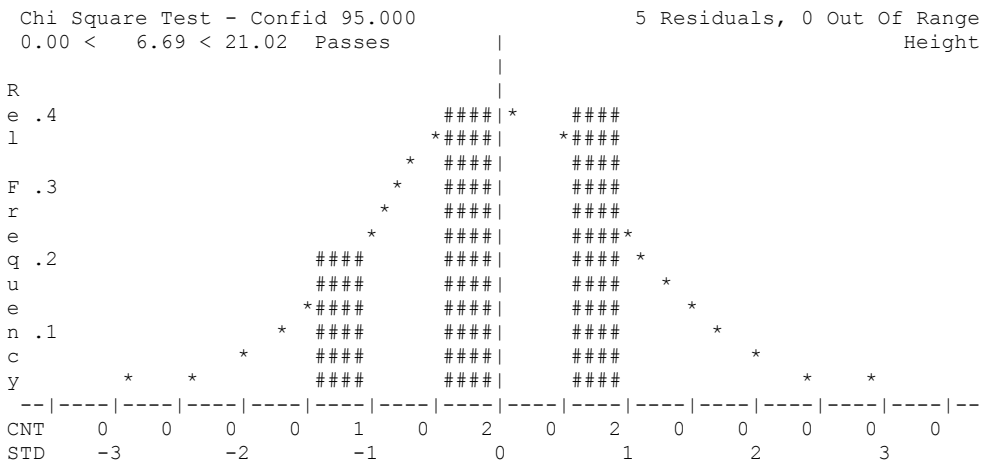
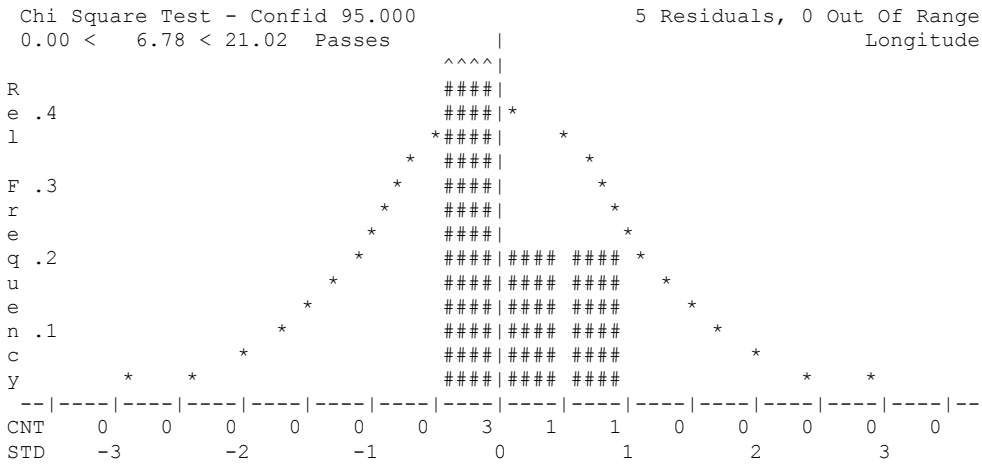
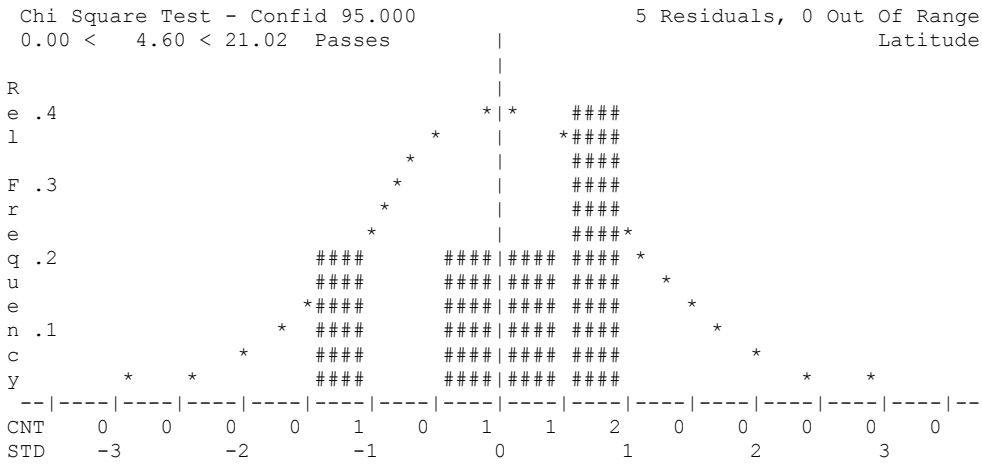
Stations	Observations	SD	Resid	Stan Res
		SD	Resid SD	Resid/SD
AT 010	Longitude E	16-57-06.34791	0.0100	0.9076
	Adjusted	16-57-06.34813	0.0072	0.4940
			Redundancy	0.37
AT 014	Longitude E	16-57-04.42433	0.0100	-0.4793
	Adjusted	16-57-04.42417	0.0043	-0.3797
			Redundancy	0.78
AT 015	Longitude E	16-57-05.42489	0.0100	0.3723
	Adjusted	16-57-05.42500	0.0058	0.2565
			Redundancy	0.59
AT 016	Longitude E	16-57-06.57543	0.0100	-0.3235
	Adjusted	16-57-06.57532	0.0044	-0.2533
			Redundancy	0.76
AT 017	Longitude E	16-57-06.43922	0.0100	-0.1479
	Adjusted	16-57-06.43917	0.0042	-0.1175
			Redundancy	0.78

Stations	Observations	SD	Resid	Stan Res
		SD	Resid SD	Resid/SD
AT 010	Ortho Hgt	118.01500	0.0200	-1.0657
	Adjusted	117.99787	0.0081	-0.8564
			Redundancy	0.80
AT 014	Ortho Hgt	120.25200	0.0200	0.7908
	Adjusted	120.26472	0.0081	0.6360
			Redundancy	0.80
AT 015	Ortho Hgt	119.28400	0.0200	0.6708
	Adjusted	119.29479	0.0081	0.5395
			Redundancy	0.80
AT 016	Ortho Hgt	119.92400	0.0200	-0.0651
	Adjusted	119.92295	0.0081	-0.0524
			Redundancy	0.80
AT 017	Ortho Hgt	118.50900	0.0200	-0.3315
	Adjusted	118.50367	0.0081	-0.2667
			Redundancy	0.80

- 1 - Exceeds Standardized Residual Rejection Constant
- 2 - Exceeds Residual / A Priori SD Rejection Constant
- 3 - Exceeds Observation Residual Rejection Constant







Station 2D Error Ellipses

Confidence Level	0.950		
Expansion 1D	Chi Square	1.959	
Expansion 2D	Chi Square	2.448	(1st row)
Expansion 2D	'F'	2.580	(2nd row)

AT	Semi-Major	Semi-Minor	Azimuth	Height
O10	0.0178	0.0105	77.0	0.0158
O10	0.0188	0.0111	77.0	0.0158
O14	0.0139	0.0101	16.8	0.0158
O14	0.0146	0.0106	16.8	0.0158
O15	0.0144	0.0100	75.1	0.0158
O15	0.0152	0.0105	75.1	0.0158
O16	0.0119	0.0100	139.4	0.0158
O16	0.0126	0.0105	139.4	0.0158
O17	0.0110	0.0099	34.6	0.0158
O17	0.0116	0.0105	34.6	0.0158
O18	0.0104	0.0100	157.8	0.0158
O18	0.0109	0.0106	157.8	0.0158
O19	0.0109	0.0100	52.9	0.0158
O19	0.0115	0.0106	52.9	0.0158

All Station Pairs 2D Error Ellipses

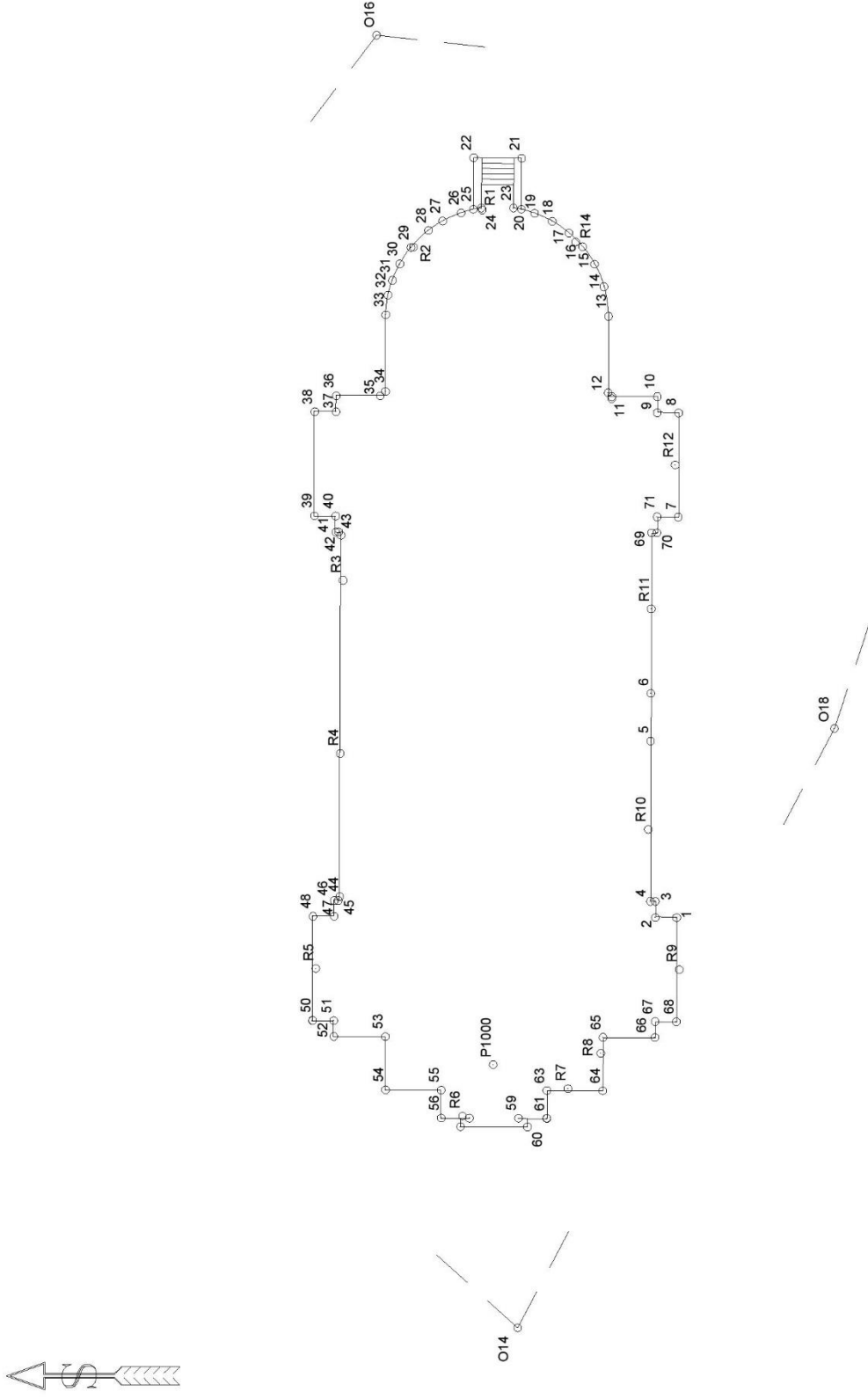
Confidence Level 0.950
 Expansion 1D Chi Square 1.959
 Expansion 2D Chi Square 2.448 (1st row)
 Expansion 2D 'F' 2.580 (2nd row)

AT	TO	Semi-Major	Semi-Minor	Azimuth	Height	Chord	PPM	Ratio
O10	O14	0.0215	0.0048	53.6	0.0020	74.3888	288.8393	1:3462
		0.0226	0.0050	53.6	0.0020	74.3888	304.4038	1:3285
O10	O15	0.0253	0.0051	76.2	0.0021	87.9671	287.3167	1:3480
		0.0266	0.0054	76.2	0.0021	87.9671	302.7991	1:3303
O10	O16	0.0190	0.0052	95.1	0.0019	65.7939	288.2862	1:3469
		0.0200	0.0055	95.1	0.0019	65.7939	303.8209	1:3291
O10	O17	0.0118	0.0045	93.8	0.0017	40.5312	290.7641	1:3439
		0.0124	0.0047	93.8	0.0017	40.5312	306.4323	1:3263
O10	O18	0.0154	0.0046	66.2	0.0019	52.8140	291.0461	1:3436
		0.0162	0.0049	66.2	0.0019	52.8140	306.7295	1:3260
O10	O19	0.0189	0.0049	71.3	0.0019	65.2942	289.2874	1:3457
		0.0199	0.0051	71.3	0.0019	65.2942	304.8760	1:3280
O14	O15	0.0099	0.0026	131.6	0.0011	33.8086	293.9875	1:3402
		0.0105	0.0028	131.6	0.0011	33.8086	309.8294	1:3228
O14	O16	0.0144	0.0026	173.4	0.0011	48.8737	293.8932	1:3403
		0.0151	0.0028	173.4	0.0011	48.8737	309.7300	1:3229
O14	O17	0.0144	0.0028	23.2	0.0009	49.6893	289.5323	1:3454
		0.0152	0.0030	23.2	0.0009	49.6893	305.1341	1:3277
O14	O18	0.0075	0.0021	27.7	0.0006	25.4844	293.3402	1:3409
		0.0079	0.0022	27.7	0.0006	25.4844	309.1472	1:3235

014		019					
0.0068	0.0020	175.0	0.0006	22.9138	295.6078	1:3383	
0.0071	0.0021	175.0	0.0006	22.9138	311.5370	1:3210	
015		016					
0.0095	0.0026	37.3	0.0011	32.7257	291.5674	1:3430	
0.0101	0.0028	37.3	0.0011	32.7257	307.2789	1:3254	
015		017					
0.0146	0.0027	63.1	0.0012	50.4788	289.9101	1:3449	
0.0154	0.0029	63.1	0.0012	50.4788	305.5323	1:3273	
015		018					
0.0110	0.0023	90.2	0.0012	37.0937	295.8137	1:3381	
0.0116	0.0025	90.2	0.0012	37.0937	311.7540	1:3208	
015		019					
0.0073	0.0022	87.2	0.0012	23.6193	309.0063	1:3236	
0.0077	0.0023	87.2	0.0012	23.6193	325.6575	1:3071	
016		017					
0.0073	0.0027	97.6	0.0007	25.3169	289.5098	1:3454	
0.0077	0.0028	97.6	0.0007	25.3169	305.1105	1:3278	
016		018					
0.0094	0.0024	146.5	0.0010	31.2471	302.1875	1:3309	
0.0100	0.0025	146.5	0.0010	31.2471	318.4713	1:3140	
016		019					
0.0080	0.0026	171.5	0.0010	26.0203	307.2041	1:3255	
0.0084	0.0027	171.5	0.0010	26.0203	323.7582	1:3089	
017		018					
0.0071	0.0026	18.3	0.0007	24.4528	288.7648	1:3463	
0.0074	0.0027	18.3	0.0007	24.4528	304.3253	1:3286	
017		019					
0.0092	0.0025	43.7	0.0008	31.2726	293.7326	1:3404	
0.0097	0.0027	43.7	0.0008	31.2726	309.5608	1:3230	
018		019					
0.0040	0.0018	92.2	0.0004	13.5006	294.3149	1:3398	
0.0042	0.0019	92.2	0.0004	13.5006	310.1744	1:3224	

Prilog 2 – Prikaz tlocrta crkve u mjerilu

PRIKAZ IZMJERENOG STANJA



Životopis

OSOBNNE INFORMACIJE

Stipe Sanseović

Kuničića dvor 4, 21460 Stari Grad, Hrvatska

021 / 765 - 605 +385 91 169 0293

sanseovics@geof.hr

Spol M | Datum rođenja 24/05/1993 | Državljanstvo hrvatsko

RADNO ISKUSTVO

06/2015 – 10/2015

Izrada elaborata za evidentiranje nelegalno izgrađenih objekata
PODLOGA d.o.o., Dr. Franje Tuđmana 3a, 21210 Solin

▪ Terenski rad

Studentska praksa

OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

09/2015 - danas

Magistar inženjer geodezije i geoinformatike (mag. ing. geod. et geoinf.)
Sveučilište u Zagrebu; Geodetski fakultet

▪ Položeni svi predmeti, ostvareno 120 ECTS bodova

09/2011 - 09/2015

Sveučilišni prvostupnik (baccalaureus) inženjer geodezije i geoinformatike (univ. bacc. geod. et geoinf.)
Sveučilište u Splitu; Geodetski fakultet

▪ Položeni svi predmeti, ostvareno 180 ECTS bodova

09/2007 – 09/2011

Srednja stručna sprema

Opća gimnazija Jelsa, Hrvatska

▪ Završena 4 razreda

OSOBNNE VJEŠTINE

Materinski jezik hrvatski

Ostali jezici

	RAZUMJEVANJE		GOVOR		PISANJE
	Slušanje	Čitanje	Govorna interakcija	Govorna produkcija	
engleski	izvrsno	izvrsno	izvrsno	izvrsno	izvrsno
talijanski	dobro	dobro	osnovno	osnovno	dobro

Računalne vještine

korištenje CAD alata, Microsoft Office paketa, GIS programa, Panda i Columbus programa za izjednačenje geodetskih mreža, TBC GNSS programskog paketa te Pix4D računalnog programa (s posebnim naglaskom na korištenje AutoCAD, Microsoft Excel i Pix4D programa)

Stručne vještine

iskustvo korištenja svih uobičajenih geodetskih alata i uređaja, solidna teorijska znanja u okviru fotogrametrije, inženjerske geodezije te preciznog pozicioniranja, osnovna znanja u okviru geoinformatike te fizikalne geodezije

Vozačka dozvola

B kategorija