

Mogućnost korištenja 360° kamere za izradu 3D modela

Radović, Anamaria

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:256:578127>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-07**



Repository / Repozitorij:

repozitorij.geof.unizg.hr/en



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Anamaria Radović

**MOGUĆNOST KORIŠTENJA 360° KAMERE ZA
IZRADU 3D MODELA**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

Anamaria Radović ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 2024.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET

Anamaria Radović

**MOGUĆNOST KORIŠTENJA 360° KAMERE ZA
IZRADU 3D MODELA**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEODETSKI FAKULTET



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

IZJAVLJUJEM

Ja, **Anamaria Radović**, (JMBAG: 0083219169), rođen/a dana 16.9.1997. u Splitu, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

AUTOR	
Ime i prezime:	Anamaria Radović
Datum i mjesto rođenja:	16. rujna 1997., Split, Republika Hrvatska
I. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	Mogućnost korištenja 360° kamere za izradu 3D modela
Broj stranica:	60
Broj tablica:	12
Broj slika:	34
Broj bibliografskih podataka:	77 + 24 URL-a
Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Mentor:	doc. dr. sc. Loris Redovniković
Komentor:	
Voditelj:	
II. OCJENA I OBRANA	
Datum zadavanja teme:	20.1.2024.
Datum obrane rada:	5.7.2024.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	doc. dr. sc. Loris Redovniković
	prof. dr. sc. Mladen Zrinjski
	prof. dr. sc. Đuro Barković

Zahvala

Posebnu zahvalnost dugujem svojoj obitelji koja je uvijek bile uz mene, u teškim i sretnim trenucima, bez kojih moj uspjeh ne bi bio moguć.

Zahvaljujem se svojim prijateljima koji su mi olakšali studentske dane..

I na kraju veliku zahvalnost dugujem svom mentoru doc. dr. sc. Lorisu Redovnikoviću koji mi je pomogao u izradi diplomskog rada.

Mogućnost korištenja 360 ° kamere za izradu 3D modela

Sažetak: *Primjena digitalnih 3D modela Zemljine površine u porastu je u geodeziji ali i u drugim znanstvenim područjima. U ovom diplomskom radu opisana je hrvatska i internacionalna terminologija i definicije digitalnih 3D modela, metode prikupljanja podataka za izradu 3D modela te njihova primjena u geodeziji i drugim znanostima. Također je opisan praktični primjer izrade 3D modela. Cilj ovog diplomskog rada je bio usporediti brzinu obrade i samu točnost podataka dobivenih iz koordinata GNSS sustava i iz koordinata akcijske kamere. Lokacije izmjere je parking ispred Geodetskog fakulteta koji se prvo izmjerila klasčnim geodetskim metodama pomoću Topcon Hiper SR GNSS RTK uređaja i Sokkia 2LS Cygnus totalne stanice. Zatim je isti postupak obavljen pomoću Insta360 akcijske kamere i Emlid Reach M2 GNSS uređaja. Dobivene fotografije s koordinatama Insta360 kamere su učitane u Agisoft Metashape softveru te je opisan postupak dobivanja trodimenzionalnih modela uz naglasak na bilježenje postignute točnosti i brzine obrade podataka. Isti postupak je ponovljen s fotografijama koje su imale koordinate dobivene iz Emlid Reach M2 GNSS uređaja. Koordinate iz GNSS uređaja su u fotografije unijete uz pomoć besplatnog softvera Exiftool. Pretpostavka je da će se bolji rezultati dobiti korištenjem fotografija s koordinatama iz GNSS uređaja.*

Ključne riječi: *Agisoft Metashape, Akcijska kamera, Exiftool, GNSS, Trodimenzionalni model*

The potential of using a 360 °camera in 3D model creation

Abstract: *The use of digital 3D models of the Earth's surface is on the rise in geodesy, but also in other scientific fields. Croatian and international terminology and definitions of digital 3D models, data collection methods for creating 3D models and their application in geodesy and other sciences are described in this thesis. A practical example of creating a 3D model is also described. The main goal of this thesis was to compare the speed of processing and the accuracy of the data obtained from the coordinates of the GNSS system and from the coordinates of the action camera. The location of the survey is the parking lot in front of the Faculty of Geodesy, which was first measured using a Topcon Hiper SR GNSS RTK device and a Sokkia 2LS Cygnus total station. Then the same procedure was performed using the Insta360 action camera and the Emlid Reach M2 GNSS device. The obtained photos with the coordinates of the Insta360 camera were loaded into the Agisoft Metashape software, and the process of obtaining three-dimensional models was described with an emphasis on recording the achieved accuracy and speed of data processing. The same procedure was repeated with photographs that had coordinates obtained from the Emlid Reach M2 GNSS device. The coordinates from the GNSS device were entered into the photos with the help of the free Exiftool software. The assumption is that better results will be obtained using photographs with coordinates from a GNSS device.*

Keywords: *Action camera, Agisoft Metashape, Exiftool; GNSS, Three-dimensional model*

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. DIGITALNI 3D MODELI ZEMLJINE POVRŠINE.....	2
2.1 Vrste 3D modela	2
2.2 Metode prikupljanja podataka i struktura 3D modela	6
2.3 Primjene 3D modela u geodeziji.....	9
2.4 Primjena 3D modela u drugim znanostima.....	10
3. INSTA 360 ONE RS KAMERA	13
3.1 Insta360 ONE RS kamera 1 - inch 360 izdanje	13
3.2 RTKcamera App	15
4. EMLID	17
4.1. Emlid Reach M2.....	18
4.2. Aplikacije Emlid Studio i Emlid Flow	19
5. IZMJERA TERENA I OBRADA PODATAKA	22
5.1 Izmjera terena klasičnom izmjerom.....	23
5.2 Snimanje Insta360 kamerom.....	27
5.3 Agisoft Metashape	29
5.4 Obrada podataka s koordinatama kamere	30
5.5 Exiftool	36
5.6 Obrada podataka s koordinatama GPS-a	38
6. ZAKLJUČAK.....	43
LITERATURA.....	44
POPIS URL-OVA	49
POPIS SLIKA	50
POPIS TABLICA.....	51
ŽIVOTOPIS	52

1. UVOD

Neprestanim razvojem tehnologije dolazi do primijene novih metoda koje se koriste za jednostavnije i brže prikupljanje podataka u svim inženjerskim područjima pa tako i u geodeziji. Modeli prostora izrađuju se na temelju prostornih podataka dobivenih različitim metodama: terestričkim mjerenjem, laserskim skeniranjem, terestričkom i aerofotogrametrijom, satelitima, dubinomjerima i iz postojećih kartografskih podataka. Točnost 3D modela ovisi o točnosti podataka od kojih se izrađuje sam model. Iz tog razloga je važno imati pouzdane ulazne podatke prikupljene na terenu kako bi se u softveru za modeliranje mogao dobiti funkcionalan 3D model (Lemaire, 2008).

Terestrička fotogrametrija se u posljednjem desetljeću sve češće koristi u različitim djelatnostima, među kojima se osim geodezije koristi i u poljoprivredi, zaštiti okoliša, arhitekturi, arheologiji, očuvanju povijesnih spomenika i artefakata te brojnim drugim područjima. Na temelju prikupljenih podataka dobiva se oblak točaka u 3D prostoru pomoću kojih se izrađuje fotorealističan 3D model. Oblak točaka se može primijeniti za izradu podloga za projektiranje, rekonstrukciju i sanaciju, izradu različitih 3D modela, praćenje pomaka objekta i brojne druge primjene. Od oblaka točaka može se dobiti i 3D model ili tzv. mesh koji objekt prikazuje ploham, a ne točkama, a takvi modeli se onda kasnije opet mogu upotrijebiti u razne svrhe. Ako se radi o manjim objektima ili predmetima oni se mogu printati i na 3D printeru (URL1).

U geodeziji terestrička fotogrametrija omogućava detaljno snimanje različitih okruženja kako bi se dobili 3D modeli. Trodimenzionalni model danas predstavlja standardan način za interpretaciju površina terena u digitalnom obliku. Površina terena se predstavlja matematičkim modelom koji se bazira na korištenju pravilne mreže visina odnosno GRID mreža ili na korištenju mreže nepravilnih trokuta odnosno TIN mreža (Rajković i dr., 2011). U softverima je moguće dobiti različite vrste digitalnih 3D modela, ovisno o tome što prikazuju a u praksi se najčešće koriste digitalni model terena i digitalni model reljefa koji će detaljnije biti opisani u narednom poglavlju.

U ovom diplomskom radu će se teorijski opisati osnovni pojmovi digitalnih trodimenzionalnih modela zemljine površine, metode prikupljanja podataka za izradu 3D modela, vrste i struktura 3D modela te primjena 3D modela u geodeziji i drugim djelatnostima. Također će se na praktičnom primjeru opisati koraci pri prikupljanju i obradi podataka, navesti korištena oprema i softveri, opisati uvjeti snimanja terena, te ispitati točnost i brzina obrade podataka.

2. DIGITALNI 3D MODELI ZEMLJINE POVRŠINE

Namjera je svakog modela što vjernije aproksimirati trenutačnu ili buduću stvarnost kako bi mogli poslužiti za mjerenje objekata na njemu, za unošenja novih objekata u njega ili predviđanje kretanja i utjecaja određenih fenomena ili pojava na njemu (Krtalić i dr., 2019). Model je u geoinformatici definiran kao apstrakcija realnog svijeta (Frančula i Lapaine, 2008). Računalna tehnologija omogućava izradu i pohranu modela stvarnosti brojčanim vrijednostima u obliku koordinata točaka u prostoru s položajnom i visinskom komponentom. Takav način izrade i pohrane modela omogućuje različite načine vizualizacije stvorenih točaka i ploha i veliku upotrebljivost u GIS aplikacijama (Rana, 2004). Iz toga proizlazi da je model matematički ili grafički prikaz stvarnosti (Frančula i Lapaine, 2008) određene pojave ili fenomena u njoj (Schneider, 2001). Takve modele nazivamo digitalnim modelima, dok se modeli izrađeni u nekom mjerilu nazivaju mjerni digitalni modeli.

Digitalno je modeliranje scene interdisciplinarno područje koje zahtijeva poznavanje geodetskih metoda prikupljanja prostornih podataka u različitim referentnim koordinatnim sustavima, geoinformatička znanja upravljanja prostornim podacima pomoću različitih programskih rješenja te specifična znanja fotogrametrije i daljinskih istraživanja potrebna za interpretaciju dobivenih rezultata (Krtalić i dr., 2019).

2.1 Vrste 3D modela

Prilikom izrade digitalnih trodimenzionalnih modela prikazuje se Zemljina površina bez umjetnih objekata ili s prirodnim i umjetnim objektima. Ovisno o tome što prikazuju, razlikuju se njihova imena i definicije, kao i sama izrada modela. Ovo potpoglavlje nudi prikaz internacionalne i hrvatske terminologije i definicija 3D modela.

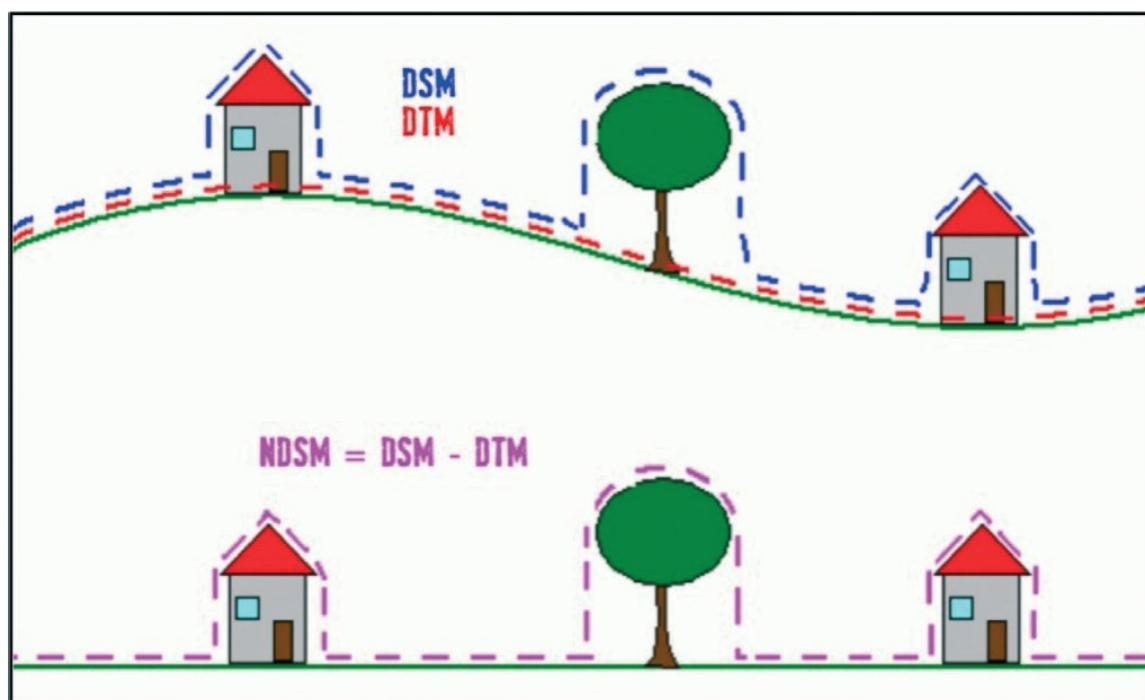
Internacionalni pojam digitalni model terena (DTM) je definiran 1950-ih je kao statistički prikaz kontinuirane površine tla velikim brojem odabranih točaka s poznatim koordinatama X, Y, Z u proizvoljnom koordinatnom sustavu (Miller i Laflamme, 1958).

Nekoliko desetljeća kasnije su definirani osnovni pojmovi modela terena i površine u Maune (2001):

- kao digitalni visinski model (eng. *Digital Elevation Model* – DEM): generički pojam koji obuhvaća digitalne topografske podatke u različitim oblicima.
- kao digitalni model terena (eng. *Digital Terrain Model* – DTM): sinonim za digitalni visinski model scene na kojoj se nalazi samo gola zemlja (prirodni reljef).
- kao digitalni model površine (eng. *Digital Surface Model* – DSM): prikazuje uzvisine vrhova reflektirajućih površina, kao što su zemljana površina, zgrade (umjetni objekti) i vegetacija.

Osim tih modela postoji i normirani digitalni model površine (eng. *Normalized Digital Surface Model* – nDSM) (Hohle, 2013), koji je definiran kao razlika između DSM-a i DTM-a. Normirani digitalni model površine naglašava objekte u relativnom odnosu prema tlu (umjetni objekti i vegetacija) ili objekte na tlu (ravna područja, ceste).

Navedene vrste digitalnih modela DSM, DTM i nDSM te njihovu razliku prikazuje slika 1.1



Slika 1.1 Prikaz DSM-a, DTM-a i nDSM-a i njihovih razlika (Burdeos i dr., 2015).

U Li i dr. (2005) još su definirani sljedeći digitalni modeli:

- Digitalni model visina (eng. *Digital height model* – DHM): rjeđe korišten sinonim za DEM,
- Digitalni model tla (eng. *Digital ground mode l* – DGM): model gole površine Zemlje, često zamjenjuje pojam DTM,
- Digitalni elevacijski model terena (eng. *Digital terrain elevation model* – DTEM).

Najvažniji su specifični elementi za prikazivanje Zemljine površine, prema Cayley (1859), Maxwell (1870), Li i dr. (2005):

- udubine, jame (eng. *pits*) – lokalni visinski minimumi (npr. udoline ili vrtače),
- vrhovi (eng. *peaks*) – lokalni maksimum (vrhovi brda i planina),
- bridovi, vododjelnice (eng. *ridge lines*) – linije koje spajaju lokalne maksimume u poprečnom presjeku,
- vodoslivnice (eng. *course line*) – linije koje spajaju lokalne minimume u poprečnom presjeku (riječne doline, linije protoka, klanci),
- prijelazi, sedla (eng. *passes*) – prijelazne točke vododjelnica i vodoslivnica,
- linije loma (engl. *break lines*) – mjesta gdje je promjena nagiba nagla,

dok se kao općenitiji elementi, u Evans i Cox (1999), Hutchinson i Gallant (2000) navode:

- slojnice (eng. *contours*) – linije jednake visine iznad referentne razine (razine mora ili geoida),
- linije nagiba (eng. *slope lines*) – linije padajućega gravitacijskog toka, pod pravim kutom prema slojnicama,
- ravnine – područja reljefa gdje su sve visinske vrijednosti jednake

U praksi se pojmovi DTM, DEM, DHM i DTEM najčešće spominju kao sinonimi. Međutim, ponekad je riječ o različitim produktima s malim razlikama između pojmova: tlo (eng.

ground), visina (eng. height), elevacija (eng. elevation) i teren (eng. terrain), zbog čega je napravljena komparativna analiza u Li (1990). Značenje terena je složenije i obuhvatnije (Schneider, 2001). Može sadržavati pojam visine i uključivanja drugih geografskih elemenata i prirodnih obilježja. Pojam DTM ima šire značenje nego DHM ili DEM i u njega se ugrađuju specifične značajke terena pa on u pravilu sadrži dodatne elemente oblikovanja terena, kao što su karakteristične visine, strukturne linije, te interpolacijsku funkciju. Pojam teren znači različite stvari stručnjacima u različitim područjima, kao i pojam DTM. Na primjer, geolozi ili građevinari trebaju prikaz terena bez vegetacije koja im je smetnja u direktnom pristupu objektu analize i ispitivanja, dok je šumarima, agronomima ili biologima upravo vegetacija ono što žele na modelu i što im je objekt istraživanja. Oboje se može svesti pod pojam teren. Geodeti istražuju DTM sa stajališta oblika Zemljine površine, s jedne strane (satelitska geodezija), odnosno prikaza Zemljine površine s naglaskom na topografiju terena i objekte koji se na njoj nalaze (inženjerska geodezija, fotogrametrija), s druge strane (Krtalić i dr., 2019).

U hrvatskoj terminologiji koristi se termin digitalni model reljefa – DMR (URL 2), koji je u Frančula i Lapaine (2008) definiran kao: skup položajno (i visinski) određenih točaka i geometrijskih elemenata (prijelomnica, linija oblika i površina isključenja) potrebnih za prikaz Zemljine površine i svojevrsni je ekvivalent inozemnom pojmu DTM, DHM i DGM. Isti izvor definira i digitalni model visina (DMV) kao izvedenicu iz DMR-a koja označava pravilnu mrežu visinskih točaka, interpoliranih na osnovi odgovarajućeg DMR-a. U hrvatskoj terminologiji nije službeno definiran pojam DEM (čiji bi doslovni prijevod glasio digitalni elevacijski model) pa ga u većini slučajeva može zamijeniti termin DMR. Službena definicija u hrvatskoj terminologiji također ne postoji za DSM, koji je danas u vrlo širokoj upotrebi (i u Hrvatskoj) zbog velikog broja softverskih rješenja za automatsku izradu trodimenzionalnih prikaza na osnovi geometrijske i radiometrijske korelacije, a bez nužnosti direktnih određivanja točaka na terenu (osim za provođenje apsolutne orijentacije). Kada se upotrebljava, prevodi se doslovno kao digitalni model površine (Krtalić i dr., 2019). U tablici 2.1 prikazan je pregled trodimenzionalnih digitalnih modela i njihove definicije.

Tablica 2.1 Odabrani pojmovi i definicije upotrebljavani u domeni digitalnog modeliranja Zemljine površine (Maltarski, 2018).

Područje upotrebe	Kratica	Puni naziv	Opis
Internacionalna terminologija	DTM	Digital terrain model	Složeniji koncept koji uz visinske podatke uključuje i druge GIS objekte poput rijeka i prijelomnica, a može uključivati i izvedene oblike poput nagiba, ekspozicije i vidljivosti. U užem smislu predstavlja reljef terena. Obično se DTM odnosi na visinu samog terena (El-Sheimy i dr., 2005)
			Digitalni opis površine terena pomoću skupa visina iznad 2D točaka koje se nalaze na referentnoj površini (Hirt, 2014).
	DSM	Digital surface model	Model koji sadrži visinske vrijednosti objekata smještenih na terenu. Opisuje prave visine svih objekata (terena, kuća, drveća) (Linder, 2016).

	DEM	Digital elevation model	Podskup DTM-a i njegova najosnovnija komponenta, a obično predstavlja visinske podatke organizirane u obliku matrice (Li i dr., 2005).
			Model koji uključuje sve maksimalne visine, uključujući krovove zgrada i krošnje drveća (El-Sheimy i dr. 2005).
			Model koji se odnosi na takozvanu topografsku površinu odnosno голу površinu Zemlje bez zgrada i vegetacije (Förstner i Wrobel, 2016).
			Općeniti naziv koji se upotrebljava za modele izrađene digitalnim modeliranjem terena (DSM i DTM) (Dowman i dr., 2012).
	DHM	Digital height model	Rjeđe korišten izraz s istim značenjem kao i DEM budući da se riječi elevacija i visina smatraju sinonimima (El-Sheimy i dr., 2005).
DGM	Digital ground model	Model gole površine Zemlje. Osim pojedinačnih točaka obuhvaća i oblik te parametre interpolacijske funkcije koja može služiti za kreiranje bilo koje točke na terenu. Ovaj termin u većoj mjeri zamjenjuje pojam DTM (El-Sheimy i dr., 2005).	
	DTED	Digital terrain elevation data	Standard razvijen u vojne svrhe od strane nacionalne geoprostorno-obavještajne agencije NGA koji predstavlja uniformiranu matricu visinskih podataka o terenu i daje osnovne kvantitativne podatke sustavima i aplikacijama koje zahtijevaju visinu terena, nagib i/ili podatke o površinskoj hrapavosti (URL 3).
Hrvatska terminologija	DMR	Digitalni model reljefa	Skup položajno (i visinski) određenih točaka i geometrijskih elemenata koji prikazuju površinu zemljišta i iz njih izračunan matematički model te plohe (Frančula i Lapaine, 2008).
	DMV	Digitalni model visina	Matematički model površine Zemlje izračunat iz digitalnog modela reljefa (URL 4).
	-	Digitalni topografski model	Prikaz reljefa prostornim koordinatama određenog broja točaka pri čemu je svakoj točki pridružen i podatak o vrsti terena (Frančula i Lapaine, 2008).
	-	Digitalni model površina	Model koji predstavlja Zemljinu površinu i obuhvaća sve objekte na njoj (Oštir i Mulažević, 2014).

2.2 Metode prikupljanja podataka i struktura 3D modela

Metode i mjerne tehnike za prikupljanje ulaznih podataka o Zemljinoj površini, a u svrhu izrade njezina digitalnog modela mogu se podijeliti:

- na vektorizaciju topografskih karata (izohipse, kote),
- na terenska mjerenja za prikupljanje položajnih i visinskih podataka (tahimetrija, GNSS, terestrički laserski skeneri),
- na fotogrametrijsku metodu izmjere (terestrička, zračna, satelitska),
- na radarske metode prikupljanja podataka (zračne, satelitske),
- na prikupljanje i obradu LiDAR podataka.

Svaka navedena metoda i način prikupljanja podataka ima svoju namjenu i svrhu u obliku tražene točnosti, pristupačnosti instrumentarija i raspoloživih sredstava, o čemu ovisi i njihov odabir (Krtalić i dr., 2019).

Svaka navedena metoda i način prikupljanja podataka ima svoju namjenu i svrhu u obliku tražene točnosti, pristupačnosti instrumentarija i raspoloživih sredstava, o čemu ovisi i njihov odabir (Krtalić i dr., 2019).

Iz podataka postojećih analognih topografskih karata moguće je izrađivati digitalni model reljefa i digitalni model terena. U tu svrhu je s analognih izvora potrebno digitalizirati izohipse i kote prikazanih karakterističnih tačaka. Izohipse su na analognoj karti prikazane kao linije sa određenom visinom. Svaka izohipsa sadrži beskonačan broj točaka na istoj visini. Kod digitalizacije izohipsa obavlja se vektorizacija određenim brojem točaka. Najčešće se radi o točkama infleksije uzduž izohipse (Ivković i Miler, 2007), a pravilo je da digitalna izohipsa ne smije odstupati od njene odgovarajuće analogne izohipse.

U terestričke metode mjerenja i prikupljanja 3D koordinata točaka u prostoru ubrajaju se: tahimetrija, GNSS i terestrički laserski skeneri. Tahimetrijska metoda podrazumijeva mjerenje kuta i dužine između stajališta i ciljne točke totalnom mjernom stanicom, a visina ciljne točke određuje se mjerenjem vertikalnog kuta ili zenitne udaljenosti (Macarol, 1978). Ova je metoda pogodna za izradu 3D modela prostora manjeg područja. Kod GPS-a najčešće se primjenjuju dvije metode: RTK (Real time Kinematic) i DGPS (Differential GPS). Kao i kod tahimetrijske, ove su metode pogodne za manja područja. U novije vrijeme za izradu 3D modela građevina i površina na manjem području koriste se terestrički laserski skeneri. Njihov princip rada temelji se na tahimetriji, odnosno mjerenju horizontalnog i vertikalnog kuta te udaljenosti do pojedine točke prostora. Rezultat je skup trodimenzijskih koordinata XYZ točaka koji se naziva oblak točaka. Ovom metodom otvorena je mogućnost prikupljanja velike količine 3D podataka o prostoru i pojedinačnih objekata i terena (Matijević i Roić, 2002).

Fotogrametrijska metoda se dijeli na terestričku, zračnu i satelitsku fotogrametriju, a za izradu 3D modela najviše se koristi zračna odnosno aerofotogrametrija. Ovom metodom podaci o prostoru se dobivaju procesom bilježenja, mjerenja i interpretacije zračnih snimaka (De Floriani i Magillo, 2003). 3D model se dobivao stereofotogrametrijskom restitucijom snimaka. Metoda je pogodna za izradu digitalnog modela reljefa većih područja. Terestrička fotogrametrija ima mogućnost provođenja izmjere unutar samih objekata (npr. prostorije zgrada), gdje se fotografski snimci prikupljaju mjernom kamerom na razini zemljine površine (Macarol, 1978) a snimcima se može prikazati vrlo visoka razina detaljnosti snimanog predmeta.

Snimanje Zemljine površine moguće je i primjenom senzora smještenih na satelitima. S obzirom na izvore energije ti uređaji mogu biti pasivni i aktivni. Pasivni uređaji registriraju emitirana ili reflektirana zračenja objekata na površini Zemlje, dok se aktivni uređaji koriste vlastitim izvorom energije koja se odašilje prema površini Zemlje, odakle se njen reflektirani dio prima i registrira (radari). Najčešće primijenjivani podaci u praksi za izradu digitalnog modela reljefa jesu podaci SRTM-a (Shuttle Radar Topography Mission). Satelitskim metodama mogu se izrađivati 3D modeli velikih područja, ali sa smanjenom točnošću (Bašić i Buble, 2007).

Lasersko skeniranje iz zraka je metoda koja je popularizirana u posljednjih desetak godina zbog svoje automatiziranosti i efikasnosti u prikupljanju prostornih podataka (Gajski, 2007). S obzirom na veliku učestalost mjerenja i do 200 kHz, u kratkom vremenu je moguće detaljno izmjeriti oblik površine terena i objekata na njoj uz pomoć LiDAR uređaja. Radi dobivanja položajnih koordinata uz laser se upotrebljava i inercijalni navigacijski sistem (Inertial Navigation System) i GPS senzor koji istovremeno određuje položaj. Prednost ove metode je direktno dobivanje digitalnog modela terena. Također treba istaknuti da je metoda puno brža od aerofotogrametrijske i pogodna je za izradu digitalnog modela terena većih područja (Tomić i dr., 2008).

Dubinomjeri se koriste za mjerenje dubina i izradu 3D modela morskog dna. Echosounder odnosno dubinomjer je uređaj koji određuje dubinu na osnovu emitiranog akustičkog transducera koji dalje putuje kroz stupac vode, reflektira se od dna i vraća natrag na hidrofon (Đapo i Medved, 2003). Ova metoda se primjenjuje na moru i na kopnu kod izmjere rijeka, jezera i dr.

U Li i dr. (2005) provedena je analiza, a tablica 2.2 prikazuje usporedbu metoda prikupljanja podataka za izradu digitalnih modela.

Tablica 2.2 Usporedba različitih metoda prikupljanja podataka za digitalno modeliranje terena (Li i dr. 2005).

<i>Metode prikupljanja</i>	<i>Točnost</i>	<i>Brzina</i>	<i>Cijena</i>	<i>Veličina područja primjene</i>
<i>Vektorizacija</i>				
<i>Ručna</i>	<i>Niska (m)</i>	<i>Sporo</i>	<i>Visoka</i>	<i>Sve veličine</i>
<i>automatska</i>	<i>Niska (m)</i>	<i>Brzo</i>	<i>Niska</i>	
<i>Terenska mjerenja</i>				
<i>Tahimetrija</i>	<i>Visoka (cm)</i>	<i>Vrlo sporo</i>	<i>Vrlo visoka</i>	<i>Mala</i>
<i>GNSS</i>	<i>Relativno visoka (cm/m)</i>	<i>Sporo</i>	<i>Relativno visoka</i>	
<i>Fotogrametrija</i>				
<i>Zračna</i>	<i>Srednja do visoka (cm/m)</i>	<i>Brzo</i>	<i>Relativno niska</i>	<i>Srednja/velika</i>
<i>Satelitska</i>	<i>Niska do srednja (m)</i>	<i>Vrlo brzo</i>	<i>Niska</i>	<i>Velika</i>
<i>Radar</i>				
	<i>Niska do vrlo niska (m/10 m)</i>	<i>Vrlo brzo</i>	<i>Niska</i>	<i>Velika</i>

LiDAR				
	Visoka (cm)	Brzo	Visoka	Srednja/velika

Interpretacijom analize u tablici 2.2 dolazi se do zaključka kako je visoka točnost metode proporcionalna s visokim troškom, odnosno niska je točnost proporcionalna s malim troškom za njezino provođenje. Ručna vektorizacija i terenska mjerenja spadaju u najsporije metode prikupljanja, dok aerofotogrametrija i LiDAR pružaju brži način prikupljanja podataka uz veće ograničenje prostornog zahvata, a satelitska stereofotogrametrija i radarske metode ističu se kao najbrže metode. Satelitska stereofotogrametrijska metoda može se smatrati optimalnom metodom jer pruža submetarsku razinu točnosti u vrlo kratkom vremenskom razdoblju (Krtalić i dr., 2019).

Struktura rezultirajućeg modela koji će se kreirati na osnovi prikupljenog skupa podataka odabire se definiranjem topoloških odnosa i odabirom odgovarajuće metode interpolacije kojom će se na temelju izmjerenih vrijednosti što vjernije aproksimirati stvarnost odnosno teren (Krtalić i dr., 2019). Prema Weibel i Heller (1991), El-Sheimy i dr. (2005), Li i dr. (2005), Čomić i dr. (2014) strukture digitalnih modela najčešće su podijeljene na dvije skupine:

- nepravilna mreža trokuta (eng. *Triangulated Irregular Network – TIN*),
- pravilna mreža točaka ili pravilna rešetka (eng. *GRID*).

TIN struktura digitalnog modela (vektorska) je eksplicitno definiranje topologije odnosno upotreba bridova i čvorova za utvrđivanje prostornih odnosa između pojedinih trokuta u mreži, dok modeliranje plohe u GRID strukturi podataka (rasterska) predstavlja interpolaciju vrijednosti između poznatih točaka prikupljenih na pravilnim razmacima čime se definira i prostorna rezolucija budućeg DMR-a odnosno minimalna površina za koju izrađeni model može pružiti rezultat. Osim tih dviju glavnih struktura u El-Sheimy i dr. (2005), Li i dr. (2005), Kumler (1994), Zhu i dr. (2001), Čomić i dr. (2014) navode se i analiziraju strukture nepravilnih mreža točaka i slojnica, odnosno podatci mjerenih visina nasumičnih (karakterističnih) točaka ili linija kao strukture podataka iz kojih se postupkom interpolacije proizvodi digitalni model koji označava plohu terena definiranu u svakoj točki za razliku od samih podataka mjerenja (Bonin i Rousseaux, 2005). U literaturi je definirana i opisana i hibridna struktura, koja istovremeno upotrebljava i pravilnu i nepravilnu mrežu (Li i dr., 2005, Hua i dr., 2007). Tablica 2.3 prikazuje prednosti i mane GRID i TIN strukture digitalnih modela.

Tablica 2. 3 Prednosti i mane GRID I TIN strukture digitalnih modela (El-Sheimy i dr., 2005)

Struktura podataka	Prednosti	Mane
GRID	-jednostavna integracija s rasterskim bazama podataka -prirodniji izgled elemenata reljefa	-neučinkovito uzimanje uzoraka mjerenja (točaka) ovisno o promjeni kompleksnosti terena (redundancija podataka) -nemogućnost upotrebe mreže različitih veličina kako bi se točnije prikazao kompleksniji teren -rijetko se unutar uzorka mjerenja nalazi najviša ili najniža točka terena

		(izgube se unutar ćelija pravilne mreže)
TIN	-prikaz reljefa u različitim rezolucijama (razinama detalja) -može uključivati najvišu/najnižu točku terena neovisno o gustoći uzoraka mjerenja -dopušta gušće uzimanje uzoraka mjerenja na određenim segmentima ovisno o kompleksnosti terena	-često zahtijeva vizualni pregled i kontrolu mreže te njeno uređivanje -zahtijeva više vremena za obradu I upotrebu (kompleksna struktura) -veći memorijski zahtjevi

2.3 Primjene 3D modela u geodeziji

3D modeli su digitalni prikazi objekata ili terena u trodimenzionalnom prostoru, a kreiraju se pomoću specijaliziranih softvera za 3D modeliranje, kao što su AutoCAD, SketchUp, Revit, Pix4D, Agisoft Metashape, Meshroom i mnogi drugi. 3D modeli prikazuju geometrijske karakteristike objekata, kao što su oblik, dimenzije, volumen i položaj u prostoru. Metode prikupljanja ulaznih podataka su opisane u prošlom potpoglavlju, a sama primjena 3D modela u geodeziji je raznolika: modeliranje prostora gdje se dobivaju gusti i precizni podaci sa zahtijevanom točnošću po želji investitora, urbano planiranje, infrastruktura za modeliranje postojeće i uspostavu nove infrastrukture, precizna poljoprivreda s izradom DTM-a za hidromelioracijske radove, kamenolomi i rudnici gdje postoje velike količine materijala i izračun kubatura, zaštita okoliša, konzervacija s analizama oštećenja, modeliranje prostora za izradu karata buke, izrada digitalnog geodetskog modela morskog dna i tako dalje.

U geodeziji, 3D modeli se najčešće koriste u sljedećim područjima:

- Topografsko modeliranje terena: 3D modeli terena omogućavaju geodetima i planerima bolje razumijevanje reljefa, visinskih razlika, padina i drugih karakteristika terena. Ovi modeli se koriste za planiranje infrastrukturnih objekata, urbanističko planiranje, zaštitu životne sredine i procjenu rizika od prirodnih katastrofa.
- Kreiranje 3D modela objekata: geodeti koriste 3D modeliranje za prikaz zgrada, mostova, puteva i drugih građevinskih objekata. Ovi modeli se koriste za analizu strukturalnih karakteristika, simulaciju i optimizaciju građevinskih procesa, kao i za procjenu troškova i korištenje resursa.
- BIM (Building Information Modeling): BIM je proces koji integrira 3D modele sa dodatnim informacijama o objektima, kao što su materijali, konstrukcija, energetska efikasnost, troškovi i vremenski okviri. Geodeti koriste BIM za bolju koordinaciju između različitih struka, što rezultira efikasnijim i ekonomičnijim građevinskim projektima.
- Računanje kubatura: 3D modeli omogućavaju precizno računanje volumena objekata, kao i količine građevinskih materijala potrebnih za izgradnju. Ovo omogućava projektantima i izvođačima da optimiziraju upotrebu resursa, smanje troškove i smanje otpad.
- Vizualne prezentacije i animacije: 3D modeli se koriste za kreiranje realističnih vizualnih prezentacija i animacija, što olakšava komunikaciju između geodeta, projektanata, investitora i drugih zainteresiranih strana. Vizualne prezentacije

pomažu u sagledavanju izgleda i funkcionalnosti objekata prije nego što se započne sa izgradnjom (URL5).

Upotreba 3D modela u geodeziji donosi brojne prednosti, uključujući:

- Bolje razumijevanje objekata i terena: Trodimenzionalni prikazi omogućavaju detaljnije razumijevanje geometrije, strukture i funkcionalnosti objekata i terena, što dovodi do boljih odluka u planiranju i projektiranju.
- Povećana efikasnost i produktivnost: 3D modeli omogućavaju brže i preciznije izračunavanje dimenzija, volumena i drugih parametara, čime se smanjuje vrijeme potrebno za ručne proračune i crtanje.
- Smanjenje grešaka i neusklađenosti: Integriranje informacija u 3D modelima omogućava bolju koordinaciju između različitih disciplina, što smanjuje greške i neusklađenosti u projektima.
- Bolja komunikacija između zainteresiranih strana: Realistični vizualni prikazi i animacije olakšavaju komunikaciju između geodeta, projekatanta, investitora i drugih zainteresiranih strana, što povećava razumijevanje i podršku za projekte.
- Održivost i smanjenje otpada: Precizno računanje kubatura i optimizacija resursa omogućava smanjenje otpada i bolje upravljanje materijalima, što doprinosi održivosti građevinskih projekata (URL5).

2.4 Primjena 3D modela u drugim znanostima

Brojne druge struke među kojima se ističu arheolozi i stručnjaci na području kulturne baštine imaju velike koristi od 3D modela zbog razvoja tehnologije, primarno računalne tomografije, laserskog skeniranja i fotogrametrije. Navedene tehnologije olakšavaju vizualizaciju i analizu 3D podataka, a kombinacija jeftinih hardvera i softvera te jednostavnost korištenja istih omogućila je prisutnost 3D modela u raznim muzejima i drugim kulturnim ustanovama (Magnani i dr., 2020). Korištenje fotogrametrije sa svrhom stvaranja 3D modela je povećano u odnosu na druge metode zbog poboljšanja računalne tehnologije, pristupačnosti, ali i zbog pada troškova koje su si prije mogle osigurati samo bogatije vlade i pojedini istraživači s većim budžetom. U usporedbi s ranijim tehnologijama koje su zahtjevale skupu i tešku opremu te stručnjake s bogatim iskustvom i znanjem, suvremena fotogrametrija zahtjeva digitalnu kameru u kombinaciji s jeftinim ili besplatnim softverom (Anderson 1982; Fussell 1982; Turpin i dr., 1979). Neki programi su pogodni za objektno modeliranje, kao što su AutoDesk ReCap, PhotoModeler Scanner, RealityCapture, a drugi se često koriste za zračne aplikacije, kao što su Altizure, AutoPilot i Pix4D. Zbog svog jednostavnog sučelja i relativno niske cijene, Agisoft Metashape pojavio se kao preferirani softver za arheologe, posebno one s pristupom obrazovnoj licenci (De Reu et al. 2013; Douglass et al. 2015; Fassi i dr. 2013.; Olson i dr. 2013; Roosevelt i dr. 2015). Fotogrametrijski modeli lubanje na temelju vremenske morfologije (Timbrell i Plomp, 2019) su predloženi kao jeftina zamjena za arheološku ilustraciju (Magnani, 2020), a u usporedbi s modelima dobivenim laserskim skenerima (Koutsoudis i dr. 2007, Evin i dr. 2016) smatraju se dostojnom zamjenom postojećih tehnologija i to ne zbog novih analiza koje tehnologija omogućuje već zbog niže cijene i poboljšane dostupnosti generiranja 3D modela. Potencijal fotogrametrije je vidljiv i pri očitavanju oštećenih i uništenih površina artefakata. Znanstvenici su koristeći 3D modele poboljšali čitljivost epigrafskih rimskih tekstova manipulirajući parametrima umjetne rasvjete (Carrero-Pazos i Espinosa-Espinosa 2018). Fotogrametrijsko modeliranje pomaže u očuvanju i dijeljenju kulturne baštine na način da omogućuje javno izlaganje predmeta u muzejima bez obzira da li se još koristi u nekim istraživanjima, u privatnom je posjedu ili se

mora ostaviti na terenu (Hirst i dr. 2018; Hollinger i dr. 2013; Katyal 2017; Kwan i Kwan 2017).

Fotogrametrija je uključena u postupke ekskavacije odnosno iskapanja (Doneus i dr. 2011; Badillo i dr. 2020; Garstki i dr. 2018; Koenig i dr. 2017; Meredith-Williams i dr. 2014; Peng i dr. 2017) u kojima se koristi kao alternativa standardnim protokolima snimanja, a uključuje mjerenja s totalnim stanicama i dokumentaciju dobivenu fotoaparatom ili zabilježenu ručno. Obzirom da se slike dobivaju relativno brzo, istraživači naglašavaju sposobnost fotogrametrije da zadrži vizualne prikaze karakterističnih sedimenta i objekte koji bi inače bili izgubljeni. Iste prednosti vrijede i za dokumentiranje i očuvanje ugroženih ili degradirajućih subjekata (Fujii i dr. 2009.), uključujući kulturno naslijeđe uličnog pločnika (Martínez i dr., 2015.) ili obilježja uništena prirodnim katastrofama, poput zgrada koje su zahvaćene požarom (Lancaster, 2018) ili arhitektura oštećena potresima (Forlin i dr., 2018). Primjene u špiljama (Grussenmeyer i dr. 2010; Strasser i dr., 2018) i nedostupnim prostorima kao što su grobnice (Pérez-García i dr., 2019) su često predstavljale vizualizaciju i analizu prostora koji su inače bili nedostupni za arheološka ispitivanja.

Fotogrametrija je omogućila rekonstrukciju baštine izgubljene tijekom ratnih sukoba ili prirodne katastrofe korištenjem javno dijeljenih slika (Grün i dr., 2004). Mape visina generirane pomoću Agisofta omogućile su povjesničarima umjetnosti da razlikuju prapovijesne i povijesne gravure na stijenama (López i dr., 2019.). Istraživanja koja integriraju snimke s GoPro kamera pokazale su održivost i fleksibilnost modeliranja čak i u uvjetima niske vidljivosti (Pacheco-Ruiz i dr., 2018.). Pierdicca (2018) je integrirao sfernu fotogrametriju s Agisoftom kako bi modelirao monumentalna arheološka nalazišta u Peruu. Fotogrametrija je korištena za procjenu obujma arheoloških zemljanih radova (Magnani i Schroder, 2015), praćenje stopa erozije sačuvanih otisaka stopala homo sapiensa (Zimmer i dr., 2018), te za procjenu troškova izgradnje i osnovno mjerenje arhitektonskih značajki (Polo i dr. 2017 ; Štuhec i dr. 2019).

Još jedno istraživanje koje pokazuje kako fotogrametrija olakšava arheološka terenska istraživanja i poboljšava tradicionalne tehnike snimanja obavili su Magnani i Schroder (2015.) te su razvili modele zemljanih humaka u Nacionalnom povijesnom parku kulture Hopewell u Ohio. Terestrička fotogrametrija odabrana je kao pristupačna i učinkovita metoda za izračunavanje volumena i potencijalno praćenje stopa erozije humaka. Istraživači su koristili DSLR fotoaparate i obrazovnu licencu Agisoft Metashapea. Odabrali su uređena područja Mound City Group i Newark Earthworks bez vegetacije kako bi olakšali fotografiranje obilježja. Snimljeno je 200 fotografija pojedinačnih obilježja s različitih visina i kutova u pravilnim razmacima oko humaka. Nakon što su modeli obrađeni pomoću Agisoft Metashapea, istraživači su odredili granice značajki na točkama infleksije s tlom. Zatim su generirani vodonepropusni modeli zatvaranjem velike rupe u podnožju humaka pomoću besplatnog softvera MeshLab, a završne analize i izračuni volumena provedeni su izvozom modela u aplikaciju Rhinoceros 3D. Preciznost je testirana generiranjem pet zasebnih modela jedne značajke s različitim serijama fotografija. Usporedba procjena volumena ovih ispitivanja pokazala je da su rezultati izvedeni fotogrametrijom daleko precizniji od drugih tradicionalnih procjena volumena izračunatih pomoću geometrijskih formula. Konačno, kako bi potvrdili točnost fotogrametrije u ovom scenariju, Magnani i Schroder (2015.) testirali su metodologiju na "lažnim" humcima koji su izgrađeni od poznate količine pijeska i mijenjani na kontrolirane načine. Rezultati su pokazali da fotogrametrija daje točne i precizne modele. Ova studija slučaja pokazuje da se fotogrametrija može koristiti za modeliranje značajki u nekontroliranim okruženjima. Što je još važnije, metoda se pokazala preciznom u otkrivanju suptilnih promjena volumena. Konačno, pristupačnost i jednostavnost metodologije sugeriraju da se fotogrametrija može koristiti i u akademskim

istraživačkim kontekstima te upravljanju kulturnim resursima za praćenje promjena u arheološkim značajkama posebno osjetljivim na eroziju, bilo zbog javne uporabe ili prijetnje okolišu.

Terestrička fotogrametrija i aerofotogrametrija se u posljednjem desetljeću sve više koriste u stvaranju digitalnih modela nadmorske visine odnosno DEM-a na zahtjevnim lokacijama koje uključuju nepristupačan teren ili povijesna nalazišta s visokim stupnjem oštećenja, a u prilog tome idu i sljedeće studije. Grund i kolege (2016.) kombinirali su fotogrametriju s GIS modeliranjem kako bi analizirali mjesta pada bizona te su predvidjeli su da bi se padovi bizona mogli očekivati u područjima sa slabom vidljivošću litica. Howland i kolege (2018.) stvorili su DEM modele erozije, predviđajući procese formiranja i degradacije mjesta. Slični postupak je korišten za razumijevanje štete koju su prouzročila terenska vozila na arheološkom nalazištu Nasca u Peruu. Nalazište je poznato i pod imenom Nasca linije jer se radi o jako dugih crtežima na tli odnosno geoglifima koji su dugi i do 20 kilometara te su imali obredno astronomsku ulogu, a većina ih je uništena djelovanjem automobilskih guma (Hesse, 2015). Druga nedavna studija u Irskoj koristila je fotogrametriju za izradu 3D modela visoke rezolucije odnosno vizualizaciju kamenih utvrda bogatih spomenicima na arheološkim nalazištima Dún Aonghas u Galwayu i Cahercommaun u Clareu koja se nalaze na popisu svjetske baštine UNESCO-a (O'Driscoll, 2019).

3. INSTA 360 ONE RS KAMERA

U geodetskoj struci, posebice u fotogrametriji, prilikom obavljanja terenskih izmjera u teško dostupnim mjestima koristile su se kamere. Nedostatak ove metode, osim visokih cijena, bila je potreba za obučavanjem operatera za rad s kamerom i restitutorima. Međutim, u novije vrijeme dolazi do razvoja softvera za obradu fotografija, a kamere su sve jednostavnije i intuitivnije za uporabu, imaju bolje specifikacije. Također je na tržištu moguće pronaći kamere sa zadovoljavajućim omjerom cijene i kvalitete. U posljednjih nekoliko godina, sve su popularnije 360° kamere, koje se osim poslova u geodeziji, arhitekturi, prodaji nekretnina, očuvanju okoliša i sličnih djelatnosti koriste i u slobodno vrijeme za potrebe objavljivanja na društvenim mrežama. Brend Insta360 je jedan od najpopularnijih brendova za 360 kamere pa je jedan od njih i korištena u ovom diplomskom radu. Tvrtka Insta360, koja je posao započela 2015. godine s imenom Arashi Vision Inc., otvorena je u gradu Shenzhen u Kini, a ima otvorene urede u Tokyu, Hong Kongu, Los Angelesu i Berlinu (URL6).



Slika 3.1 Insta360 logo(URL6)

Bavi se proizvodnjom akcijskih kamera, 360° kamera, mobilnim i računalnim softverima za uređivanje te 180° 3D kamera. Od 360° kamera, do sada su proizveli sljedeće: Insta360 Ace & Ace Pro, Insta360 GO 3, Insta360 X3, Insta360 ONE RS, Insta360 ONE X2, Insta360 ONE R i Insta360 GO 2. Od profesionalnih VR kamera imaju: Insta360 Titan i Insta360 Pro 2, a od zračnih kamera Insta360 Sphere. Jedna od 360 kamera koju su proizveli je Insta360 ONE RS 1-Inch 360, a koja je korištena u ovom diplomskom radu i bit će opisana u sljedećem potpoglavlju (URL7).

2.1. Insta360 ONE RS kamera 1 - inch 360 izdanje

Insta360 ONE RS kamera 1-Inch 360 je redizajnirani model koji ima okomiti oblik i 1-inčni 360 mod s dvostrukim senzorom s lećama s obje strane za snimanje do 6K30 videozapisa i 21MP HDR fotografija. 1-inčni 360 mod je zamijenjiv s originalnom ONE R ili RS bazom pomoću dodatnog kompleta za nadogradnju. Osnovni modul ima ekran osjetljiv na dodir s prikazom uživo, reverzibilnim za selfie/vlog snimke. Ovaj 360 modul sa senzorom od 1", pogodnim za slabo osvjetljenje, snima video razlučivosti do 6K i 30 FPS. Ima montažni nosač s 3 zupčanika, i otporan je na vodu. Kamera uključuje Core RS mod (isti kao originalni 4K Boost Core mod), dvostruki 1-inčni 360 objektiv napravljen u suradnji s Leicom, okomitu bazu baterije i nosač za montiranje. 4K Boost Lens također je dostupan zasebno i može se zamijeniti. ONE RS 1-inčna 360 kamera nudi ažuriranu ugrađenu stabilizaciju FlowState, vodootporno kućište, zaključavanje horizonta od 360 stupnjeva, snažnu integriranu bateriju od 1350 mAh, nosač koji se lako postavlja i nevidljivi selfie štapa za dobivanje još kvalitetnije POV snimke (URL8). Insta 360 ONE RS kamera i selfie štapa su vidljivi na slici 3.2.



Slika 3.2 Insta360 ONE RS kamera (lijevo) i seflie štap (desno)(URL8)

Sve gore navedene specifikacije Insta360 ONE RS kamere su vidljive u tablici 3.1.

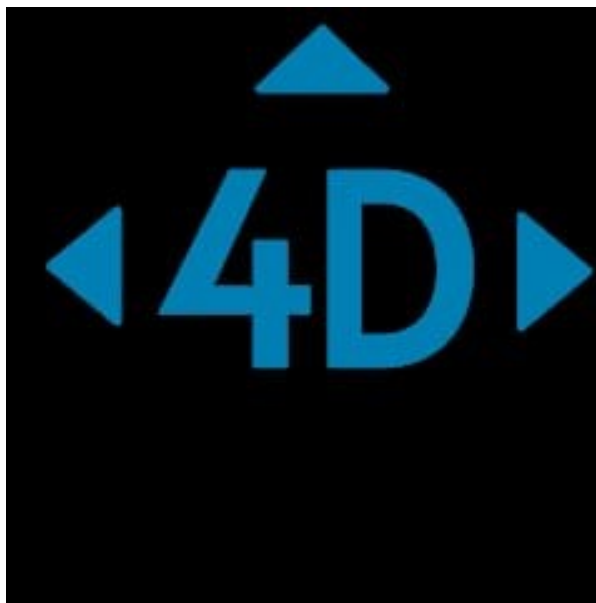
Tablica 3.1 Specifikacije Insta360 ONE RS kamere (URL8)

Dimenzije	53.2x49.5x129.3mm
Težina	239g
Operativna temperatura	-20°C to 40°C
Rezolucija fotografije	6528x3264 (2:1)
Ekspozicija	±4EV
Wi-Fi veza	5 GHz (standardni domet cca 20 metara, maksimalna brzina prijenosa 20 MB/s)
Micro-SD kartica	Preporučeno maksimalno 1 TB
Baterija	1350mAh
Žiroskop	6-osni žiroskop
Otvor	F2.2
35mm ekvivalentna žarišna duljina	6.52mm

Insta360 također nudi i dvije aplikacije Insta360 app i Insta360 Studio za pametni telefon koje su dostupne za snimanje, spremanje i uređivanje videozapisa pomoću Snap Wizarda, a Shot Lab pruža efekte kao što su starlapse, cinelapse, sky swap, shadow cline i ghost town. Insta360 redovito ažurira svoje aplikacije kako bi se korisnici što lakše i jednostavnije mogli njima koristiti. U ovim aplikacijama postoji i odjeljak za Insta360 zajednicu gdje korisnici diljem svijeta objavljuju svoje uratke i dijele svoje savjete, trikove i nude rješenja za nastale probleme pri korištenju. Iako su ove aplikacije jednostavne i lako dostupne, prilikom rada na terenu korištena je druga aplikacija koja je bila povezana s kamerom a bit će opisana u sljedećem potpoglavlju.

3.2 RTKcamera App

RTK kamera (slika 3.3) je sveobuhvatna aplikacija austrijske tvrtke REDcatch GmbH-Pointcloud engineering koja se posljednjih 9 godina bavi proizvodnjom hardvera i softvera za dronove i terestričko 3D modeliranje. Njihovim proizvodima se služe različite djelatnosti uključujući građevinu, arhitekturu, arheologiju, fotogrametriju, navigaciju i druge inženjerske djelatnosti. Ova aplikacija omogućava da se pomoću NTRIP protokola s GPS baze preko interneta dobivaju podaci u centimetarskoj točnosti dok kamera snima geotagirane fotografije duž staze kojom korisnik hoda (URL9).

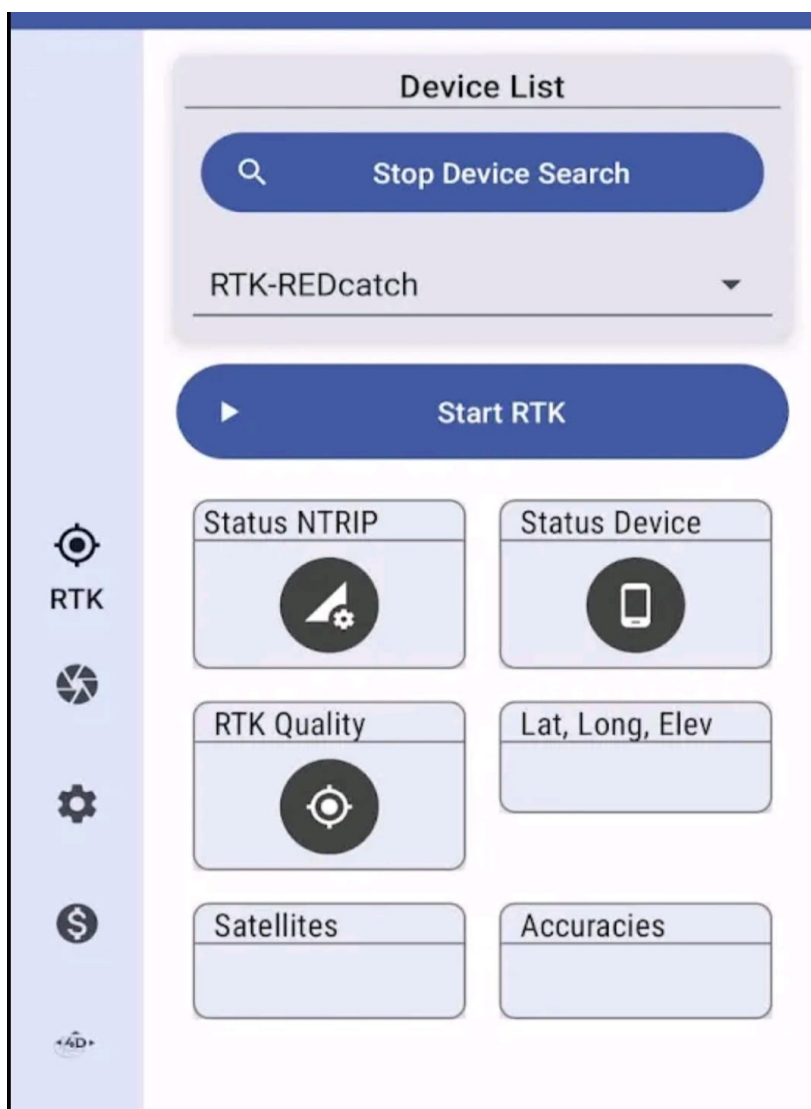


Slika 3.3 RTK camera app logo(URL10)

RTK kamera aplikacija omogućava sljedeće:

- Integrirana kamera za snimanje fotografija s geografskim oznakama
- NTRIP klijent za primanje RTCM podataka od RTK emitera
- koordinate se izravno zapisuju u EXIF podatke, a informacije o točnosti u EXIF/XMP
- Podržane su USB i Bluetooth veze
- Bilježenje RTK GNSS staze u NMEA stilu s GNGGA, GNRMC i GNGST porukom
- Potreban je Android 10+
- Potrebna je vanjska GNSS antena/čip poput u-blox ZED F9P, Septentrio mosaic x-5 i sličnih uređaja (URL10).

Na početnom zaslonu RTK camera aplikacije (slika 3.4), pritiskom na RTK gumb moguće je vidjeti listu dotada korištenih uređaja, NTRIP status, status uređaja, oznake u obliku geografske dužine, geografske širine i elevacije, broj trenutno prisutnih satelita te točnost podataka. Moguće je snimanje s mobilnim telefonom pritiskom na gumb kamere, a pritiskom na gumb premium omogućene su različite pogodnosti za pretplatnike ovisno o odabranoj opciji pretplate. Pritiskom na gumb postavke, moguće je mjenjati NTRIP postavke u smislu odabira broja točaka, postavljanja IP adrese i slično, postavke izlaznih podataka odnosno koji će podaci biti zapisani u fotografiji, postavke serijskog USB-a kao što je brzina prijenosa podataka, postavke za kameru i fotografije, postavke za otklanjanje pogrešaka aplikacije te gumb sa uvjetima korištenja aplikacije, uvjetima privatnosti i korisničkom podrškom.



Slika 3.4 Početni RTK camera aplikacije

4. EMLID

Geodetska struka učestalo koristi GNSS tehnologiju. To se posebno odnosi na GNSS RTK (eng. Real Time Kinematics), najkorišteniju metodu određivanja položaja s GNSS prijemnicima. U početku je glavni nedostatak GNSS tehnologije bio njena visoka cijena. S vremenom se to polako mijenjalo i na tržištu se osim renomiranih proizvođača geodetske opreme kao što su Leica, Topcon, Trimble i sl., počeo pojavljivati sve veći broj proizvođača (Redovniković i dr., 2022). Jedan od njih je Emlid koji svoju politiku temelji na korištenju jeftinih senzora uz moguću nadogradnju hardvera i softvera. Emlid je osnovan 2014. godine u Budimpešti s ciljem izrade GNSS RTK prijemnika niže cijene pristupačnima za veće tržište. Jedan od njihovih prvih proizvoda je Emlid Reach RS+ koji je bio funkcionalan po zamisli, ali njegove specifikacije nisu bile jednake specifikacijama konkurentskih vrhunskih prijemnika. Zbog toga su 2019. godine objavili Emlid Reach RS2 s poboljšanim specifikacijama koji je prikazan na slici 4.1.



Slika 4.1 Emlid Reach RS2 (URL 11)

Emlid Reach RS2 specifikacije su prikazane u tablici 4.1.

Tablica 4.1 Specifikacije Emlid Reach RS2 prijemnika (URL11)

Dimenzije	126x126x142 mm
Težina	950 g
Zaštita od prodora	IP67
Korekcije	NTRIP, VRS, RTCM3
Izlazna pozicija	NMEA, LLH/XYZ
Položajna točnost	7 mm + 1 ppm
Visinska točnost	14 mm + 1 ppm

GNSS signali	GPS/QZSS L1C/A, L2C, GLONASS L1OF, L2OF, BeiDou B1I, B2I, Galileo E1-B/C, E5b
Broj kanala	184

Osim dva spomenuta GNSS prijemnika Emlid nudi još proizvođača. Neki od njih su: Reach M+, Reach M2, Reach RX, Reach RS2+ (URL 12). Kroz ovaj diplomski rad detaljnije će se opisati Emlid Reach M2, GNSS modul za preciznu navigaciju i mapiranje UAV-a.

4.1. Emlid Reach M2

EMLID Reach M2 (Slika 4.2) je višepojasni RTK GNSS modul za preciznu navigaciju i mapiranje UAV-a, koji izračunava koordinate u stvarnom vremenu s centimetrskom točnošću i preusmjerava ih na uređaj u NMEA ili binarnom formatu putem UART-a, Bluetootha ili WiFi veze (URL13). Moguće ga je kombinirati s Reach RS2 kao bazom.



Slika 4.2 Emlid Reach M2 (URL 12)

Osnovni paket uz GNSS prijemnik sadrži višepojasnu spiralnu GNSS antenu za EMLID Reach M2 te vanjski LoRa radio, uključujući kabele. Specifikacije proizvođača nalaze se u tablici 4.2.

Tablica 4.2 Specifikacije Emlid Reach M2 prijemnika (URL 13)

Mehaničke	
Dimenzije	56.4 x 45.3 x 14.6 mm
Težina	35 g
Operativna temperatura	-20 do 65 °C

GNSS	
Praćeni signal	GPS/QZSS L1C/A, L2C, GLONASS L1OF, L2OF, BeiDou B1I, B2I, Galileo E1B/C, E5b
Broj kanala	184
Stope ažuriranja	10 Hz GNSS
Pozicioniranje	
Položajna točnost - statika	4 mm + 0.5 ppm
Visinska točnost - statika	8 mm + 1 ppm
Položajna točnost - kinematika	7 mm + 1 ppm
Visinska točnost - kinematika	14 mm + 1 ppm
Povezivost	
Frekvencijski raspon	868/915 MHz
Udaljenost	do 8 km
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	4.0/2.1 EDR
Priključci	USB, UART, Event
Podaci	
Ispravci	NTRIP, VRS, RTCM3
Izlazna pozicija	NMEA, LLH/XYZ
Zapisivanje podataka	RINEX s događajima s brzinom ažuriranja do 10 Hz
Interna pohrana	16 GB

Prije početka rada s Emlid Reach M2 potrebno je imati stabilnu Wi-Fi vezu, mobilni uređaj za povezivanje te napajanje. Zatim se vrši sinkronizacija vremena spajanjem antene na Reach M2 ili povezivanjem s Wi-Fi vezom. Potom se instalira mobilna aplikacija Emlid Flow koja će biti opisana u potpoglavlju 3.3. Nakon povezivanja prijemnika s baterijom, treba se povezati na Wi-Fi pomoću mobilnog uređaja i u aplikaciji odabrati prijemnike na raspolaganju. Pokazalo se da Reach M2 može biti primjenjiv u različitim situacijama, od

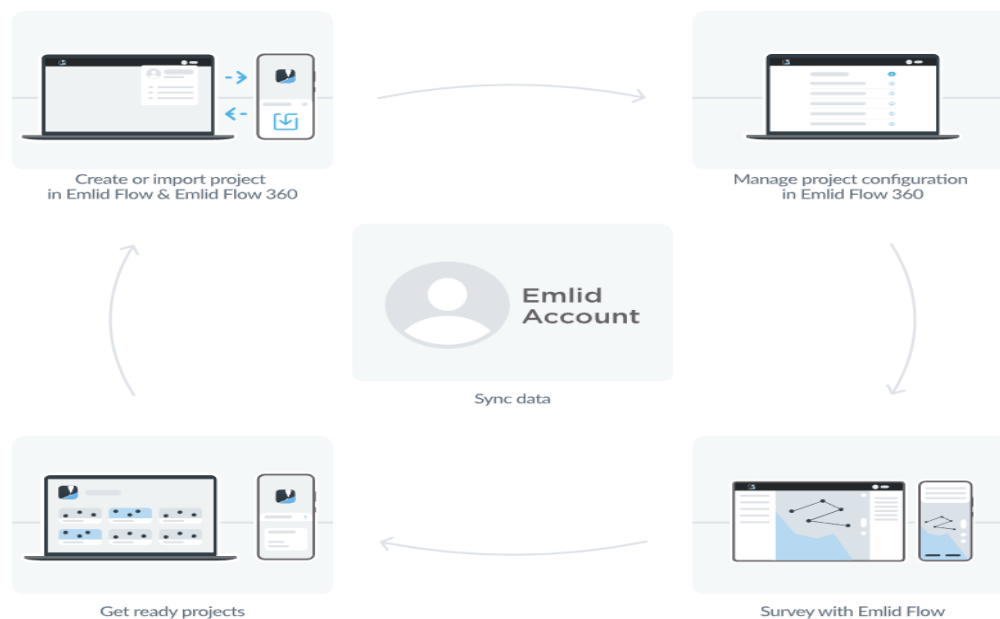
kosilica za travu do bespilotnih letjelica za podizanje teških tereta. Razlog tome je laka integracija i točnost na razini centimetra. S jednom frekvencijom Reach M+, ograničen je rad na udaljenostima do 10 km u RTK načinu rada i do 30 km u naknadnoj obradi podataka s Post-Processing Kinematikom (PPK). Reach M2 pomiče ograničenja do 60 km za RTK i do 100 km za PPK, što znači da može letjeti dalje u RTK načinu rada ili koristiti udaljene referentne stanice za PPK i dobivati ponovljive i dosljedne rezultate. Emlid Reach M2 moguće je integrirati u dron za mapiranje. Pritom Emlid Reach M2 treba biti spojen na izvor napajanja, sinkroniziran s fotoaparatom i za svaku fotografiju treba imati točne vremenske oznake. Snimke imaju vrlo visoku rezoluciju, a pohranjeni su kao neobrađeni RINEX podaci u internoj memoriji. Nakon leta se preuzma RINEX dnevnik i naknadnom obradom se dobiju geooznake za svaku fotografiju. Precizne koordinate fotografija mogu se zatim koristiti za georeferenciranje u različitim softverima za mapiranje kao što su Agisoft Metashape, Pix4d, DroneDeploy i brojni drugi. Emlid Reach M2 se kontrolira putem mobilne aplikacije Emlid Flow za iOS i Android sustave. Aplikacija omogućuje konfiguriranje RTK postavki, zapis neobrađenih podataka u RINEX formatu i upravljanje svim ostalim značajkama prijemnika (URL 14).

4.2. Aplikacije Emlid Studio i Emlid Flow

Emlid Studio (slika 4.3) je aplikacija prilagođena za Windows i macOS operacijske sustave. Besplatan je i radi s bilo kojim GNSS prijamnikom. Uz Emlid Studio, u jednoj aplikaciji je moguća pretvorba neobrađenih zapisa u RINEX format, naknadna obrada prikupljenih statičkih i kinematičkih podataka, geotagiranje fotografije iz zraka i dobivanje zasebne točke iz staze mjerenja (URL 15).



Slika 4.3 Tijek rada Emlid Studio softvera (URL 16)



Slika 4.4 Povezivanje Emlid proizvoda putem računara (URL 17)

Može se zaključiti da proizvođači jeftinih GNSS senzora rade vrlo kvalitetne uređaje te besplatno daju na raspolaganje moćan softver uz pomoću kojega je moguće izvršiti razne konfiguracije uređaja i dobivati RTK rješenja (Redovniković i dr., 2022). Emlid dizajnira RTK GNSS prijemnike visokih performansi za mjerenje i prikupljanje podataka, a pritom su cjenovno pristupačni i visoko precizni te popraćeni mobilnom aplikacijom za iOS i Android sustave. Jedna od bitnih prednosti je mogućnost odabira HTRS96 koordinatnog sustava u kojem se izvode mjerenja te željenog geoida. Konačne koordinate točaka se dobiju bez potrebe za naknadnom transformacijom u željeni koordinatni sustav.

5. IZMJERA TERENA I OBRADA PODATAKA

Izmjera terena se obavila 19.12.2023. terestričkim geodetskim metodama tahimetrije i GNSS-a te fotogrametrije ispred privremene lokacije Geodetskog fakulteta u Savskoj 144A na obližnjem parkiralištu, označeno crvenim krugom (slika 5.1.).



Slika 5.1 Lokacija terenske izmjere

Obzirom da je cilj diplomskog rada izrada trodimenzionalnog modela, kako bi dobili kvalitetan model odabrane lokacije bilo je potrebno napraviti plan izmjere odnosno fotografiranja objekta. Prilikom planiranja, bilo je potrebno obratiti pozornost na sljedeće:

- Osvjetljenost - pri dobroj osvjetljenosti se očekuju bolji rezultati obzirom da manji detalji dolaze do izražaja. Veće objekte (npr. zgrade, stambene kuće) treba fotografirati u vrijeme njihove najveće osvjetljenosti, a manje objekte je moguće dodatno osvjetliti,
- Geometrija snimka - snimanje objekta sa što više stajališta i sa svih strana da bi imali što više preklopa odnosno bolju geometriju snimke,
- Prekobrojna mjerenja - pogreške snimanja se smanjuju na minimum kada se snima više fotografija objekta, znaju se dogoditi neočekivane pogreške (npr. mutna fotografija, odsjaj Sunca na fotografiji i sl.),
- Orijentacijske markice - dodaju se radi georeferenciranja i kontrole točnosti 3D modela. Za tu svrhu mogu se koristiti i karakteristični detalji terena koji se mogu prepoznati na stvorenom 3D modelu,
- Izbjegavanje reflektirajućih površina - treba izbjegavati snimanje svih površina koje imaju reflektivnu osobinu, a ako se trebaju snimati takve površine, izmjera treba biti u vrijeme oblačnog vremena,

- Definiranje mjerila - mjerilo se definira tako da se odredi barem jedna linearnu vrijednost za model, takav model se onda naziva mjerni model,
- Kamera - treba koristiti kamere visoke rezolucije, objekt stalno treba biti u fokusu. Prilikom snimanja treba se držati navedenih uputa kako bi se broj pogrešaka sveo na minimum, iako uvijek može doći do nepredvidivih pogrešaka (zaklonjeni dijelovi i slično).

Izmjera terena je obavljena za vrijeme sunčanog i suhog vremena, međutim postojali su sljedeći nepovoljni uvjeti koji su utjecali na kvalitetu dobivenih podataka: obzirom da su u blizini bile visoke zgrade, pojavile su se sjene zbog sunca te je jedna od zgrada u blizini bila ostakljena zbog čega je njena reflektivna vanjska površina imala utjecaj pri detektiranju markera u kasnijoj obradi.

5.1 Izmjera terena mjernom stanicom

Parkiralište pokraj fakulteta prvo se izmjerio klasičnom metodom odnosno uz pomoć GNSS sustava i totalne stanice. Koordinate stajališta i orijentacije su se odredile uz pomoć GNSS RTK metode za koju se koristio Topcon HiperSR sustav. Dobivene koordinate prikazane su u tablici 5.1.

Tablica 5.1 Koordinate točaka geodetske osnove

Točka	E [m]	N [m]	h [m]
P3	457712.42	5072614.58	115.40
P4	457708.30	5072606.27	115.47

Slika 5.2 prikazuje Topcon Hiper SR GNSS uređaj, a u tablici 5.2 su prikazane specifikacije navedenog instrumenta.



Slika 5.2 Topcon Hiper SR GNSS uređaj (URL18)

Tablica 5.2: Specifikacije Topcon Hiper SR GNSS uređaja (URL18)

Preciznost	Statika/Brza statika	H: 3.0 mm + 0.4 ppm V: 5.0 mm + 0.6 ppm
	Precizna statika	H: 3.0 mm + 0.1 ppm V: 3.5 mm + 0.4 ppm
	RTK	H: 10.0 mm + 0.8 ppm V: 15.0 mm + 1.0 ppm
Težina	850 g	
Memorija	2GB, unutarnja	
Baterije	Dvije interne Li-ion za 20 sati rada	
226 kanalni uređaj	GPS L1, L2, L2C, GLONASS L1, L2	
Veza	Bluetooth, Serial, USB, LongLink do 300+ m	
Ažuriranje podataka	Do 10 Hz	
Temperatura rada	Unutarnja baterija	-20°C do 65°C
	Vanjska baterija	-40°C do 65°C
Temperatura pohrane	-40°C do 65°C	

Zatim je korištena mjerna stanica Sokkia Cygnus 2LS (slika 5.3.) čije su specifikacije dane u tablici 5.3, a obavljena je izmjera dvanaest karakterističnih točaka čije su koordinate dane u tablici 5.4.



Slika 5.3 Sokkia 2LS Cygnus totalna stanica (URL19)

Tablica 5.3 Tehničke specifikacije mjerne stanice Topcon Cygnus 2LS (URL19)

<i>Durbin</i>		<i>Duljina</i>	<i>150 mm</i>
		<i>Povećanje</i>	<i>30x</i>
		<i>Vidno polje</i>	<i>1°30'</i>
		<i>Moć razlučivanja</i>	<i>3"</i>
		<i>Maksimalni fokus</i>	<i>1.3 m</i>
<i>Mjerenje duljina</i>	<i>Prism mode</i>	<i>Prizma</i>	<i>Atmosferski uvjeti – blaga sumaglica sa vidljivošću do oko 20 km, umjerena sunčeva svjetlost</i>
			<i>2000 m</i>
		<i>Mini prizma</i>	<i>1000 m</i>
		<i>Preciznost mjerenja duljina</i>	<i>± (2mm + 2 ppm x D)</i>
	<i>Non – prism mode</i>	<i>Meta</i>	<i>Atmosferski uvjeti – u uvjetima slabog osvjetljenja i bez sunčevog blještanja na metu</i>
			<i>200 m</i>
		<i>Preciznost mjerenja duljina</i>	<i>± (3mm + 2 ppm x D)</i>
<i>Preciznost mjerenja kutova</i>			<i>5"</i>
<i>Osjetljivost libele</i>			<i>30"/2mm</i>
<i>Trajanje baterije</i>		<i>otprilike 7 h (sa mjerenjem duljine, pri 20°C)</i>	

Tablica 5.4 Koordinate karakterističnih točaka

Točka	E [m]	N [m]	h [m]
1	457714.09	5072622.94	117.09
2	457717.71	5072621.36	117.07
3	457721.33	5072619.71	117.16
4	457724.42	5072617.62	117.12
5	457723.03	5072614.98	117.12
6	457721.21	5072611.48	117.15
7	457717.42	5072604.31	117.29
8	457712.36	5072623.77	117.25
9	457724.69	5072618.09	117.34
10	457715.37	5072600.48	117.32
11	457704.23	5072634.69	119.81
12	457688.97	5072600.33	118.82

Postupak snimanja parkinga je prikazan na slici 5.4. i slici 5.5.



Slika 5.4 Snimanje terena s GNSS uređajem



Slika 5.5 Izmjera terena mjernom stanicom

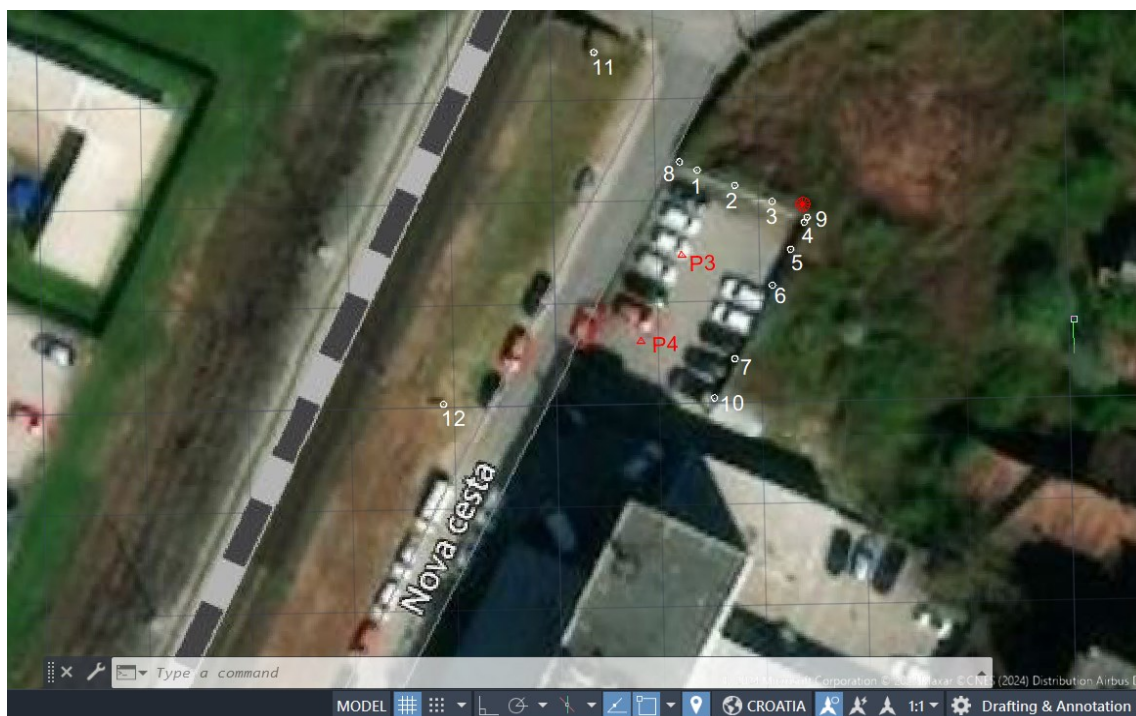
5.2 Snimanje Insta360 kamerom

Nakon što je parkiralište snimljeno pomoću mjerne stanice, parking i područje oko njega je snimljeno i s Insta360 kamerom, koja je detaljno opisana u trećem poglavlju. Osim kamere, na ručno izrađenom postolju postavljeni su još i Emlid Reach M2, GNSS multi-band antena, selfie štap i jedna prijenosna baterija. Nakon povezivanja s RTK camera aplikacijom potrebno je sačekati nekoliko sekundi da se dobije dovoljan broj satelita, i može se krenuti šetati s kamerom koja je visoko uzdignuta. Nakon svaka tri koraka se stalo kako bi se dobila koordinata za snimljenu fotografiju. Iako je moguće povećati udaljenost između snimanja fotografija, ova udaljenost se odabrala na temelju uputa proizvođača softvera, kako bi se moglo dobiti dovoljno preklopa za kreiranje 3D modela u Agisoft programu. Postupak snimanja je prikazan na slici 5.6.



Slika 5.6 Snimanje terena s Insta360 kamerom

Nakon što je obavljen terenski dio posla, bilo je potrebno snimljene podatke prebaciti na računalo i obraditi ih. Prvo su u AutoCAD program unesene snimljene točke goodetske osnove i karakteristične točke terena (grafički prikaz je vidljiv na slici 5.7), dok je ostatak obrade i dobivanje 3D modela obavljeno u Agisoft Metashape programu koji je detaljnije opisan u sljedećem potpoglavlju.



Slika 5.7 Snimljene karakteristične točke parkirališta

5.3 Agisoft Metashape

Agisoft Metashape (slika 5.8) je samostalni programski proizvod tvrtke Agisoft LLC koja je osnovana 2006.godine u St.Petersburgu u Rusiji. Program obavlja fotogrametrijsku obradu digitalnih slika (fotografije iz zraka i iz neposredne blizine kao i satelitske snimke) i generira 3D prostorne podatke koji se koriste u GIS aplikacijama, dokumentaciji kulturne baštine i proizvodnji vizualnih efekata kao i za neizravna mjerenja objekata raznih dimenzija. Tehnologija također omogućuje rad s oblacima točaka i kombinira podatke s LiDAR-a i kamere u istom projektu (URL20).



Agisoft Metashape Professional Edition

Slika 5.8 Agisoft Metashape (URL21)

Softver omogućuje obradu slika s RGB, termalnih ili multispektralnih kamera, uključujući sustave s više kamera, kao i strukturiranih terestričkih laserskih skenova kao i nestrukturiranih laserskih skenova u prostorne informacije u obliku oblaka točaka (point cloud), teksturiranih poligonalnih modela, georeferenciranih ortomozaika i DSM/DTM-a. Daljnja obrada omogućuje uklanjanje sjena i artefakata tekstone iz modela, izračunavanje vegetacijskih indeksa i brojne druge. Metashape je sposoban obraditi više od 50 000 fotografija putem lokalnih klastera, zahvaljujući funkcionalnosti distribuirane obrade. Prilikom obrade, projekt se može poslati na Cloud kako bi se ulaganje u hardver svelo na najmanju moguću mjeru, pri čemu su sve mogućnosti obrade i dalje dostupne.

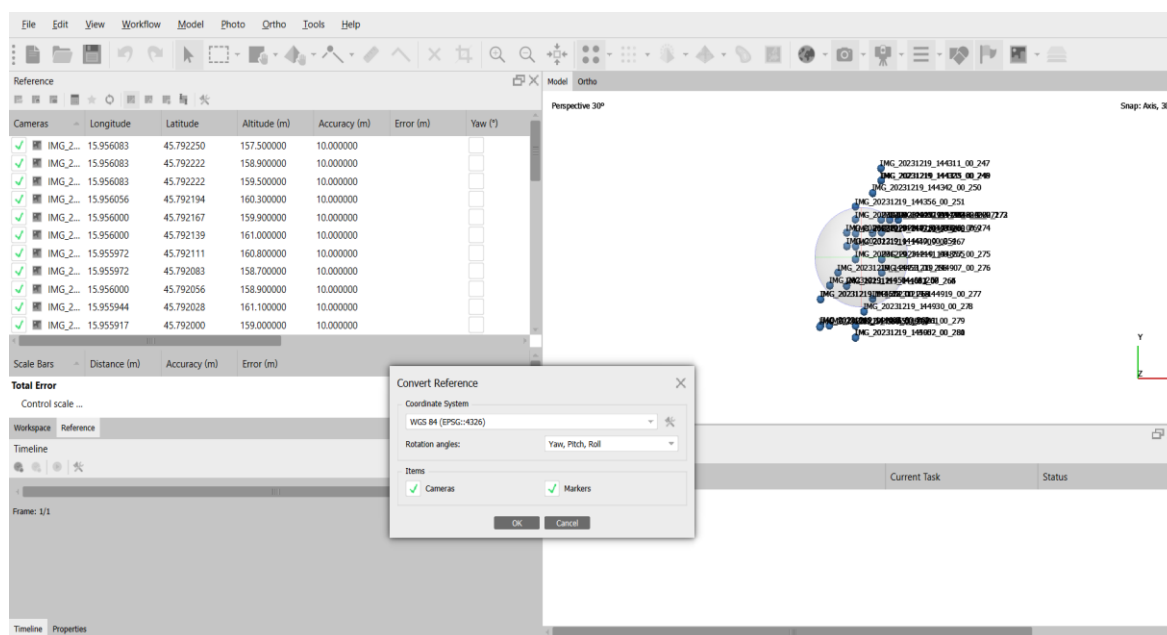
Mudro implementirana tehnika digitalne fotogrametrije pojačana metodama računalnog vida rezultira pametnim automatiziranim sustavom obrade kojim, s jedne strane, može upravljati početnik u području fotogrametrije, ali s druge strane, ima puno toga za ponuditi stručnjaku, koji može imati koristi od naprednih značajki poput stereoskopskog načina rada i potpune kontrole nad točnosti rezultata (URL20). Iz tog razloga, osim geodeta koji se u svom radu bave izradom različitih 3D modela, sve je više znanstvenika koji se unutar okvira svog područja odlučuju za fotogrametrijsku metodu izmjere objekta i obradu u ovom softveru jer s početnim znanjem mogu dobiti zadovoljavajuće rezultate pri izradi modela, a s vremenom mogu doći do naprednijih razina.

Fotogrametrija je tehnika mjerenja pomoću koje se iz fotografskih snimaka izvodi oblik, veličina i položaj snimljenog predmeta, a snimci su zabilježeni iz zraka ili sa Zemlje. Terestrička fotogrametrija se primjenjuje u kriminalistici, arhitekturi i zaštiti spomenika kulture, pa čak i u medicini i zabavnoj industriji. U geodeziji se aerofotogrametrija koristi pri izmjeri zemljišta i izradi karata, dok se u inženjerstvu primjenjuje pri trasiranju prometnica, u hidrotehnici, urbanizmu i prostornom planiranju. Aerosnimke se često rabe i u arheologiji, geologiji, geografiji i za vojne namjene.

Obzirom da se u projektima najčešće koristi aerofotogrametrija kao odabrana metoda izmjere, u uputama samog softvera (Agisoft Metashape Manual) dane su kratke smjernice za izradu 3D modela. Početak rada u programu započinje sa učitavanjem snimki s terena a potom slijedi aeroatriangulacija snimki. Aerotriangulacija je određivanje položaja terenskih točaka s pomoću lanaca trokuta koji povezuju te točke. Upotrebljava se pri fotogrametrijskoj izradbi zemljopisnih karata i planova prema fotografijama snimljenima iz zraka, kad na terenu nema unaprijed određenih i obilježenih orijentacijskih točaka. Rezultat aerotriangulacije je Tie model koji se sastoji od točaka iz svih fotografija. Prilikom aerotriangulacije preporučljivo je postaviti visoku točnost kako bi veći broj identičnih točaka iz svih fotografija bio korišten za spajanje fotografija u jedan model. Potom slijedi izrada oblaka točaka, a rezultat jest oblak točaka koji se sastoji od točaka s x, y i z koordinatama koje vjerno prikazuju prostor. Prilikom izrade oblaka točaka može se koristiti visoka ili srednja točnost obzirom da je rezultat kod geodetskih radova zadovoljavajući s oba odabira. Sljedeći korak je izraditi 3D model, a rezultat izrade 3D modela jest prikaz prostora bez teksture, tj. 3D model bez prikaza fotografija snimljenih pomoću drona koje služe za izradu teksture. Teksturu je moguće stvoriti na temelju analize učitanih fotografija i dodati višu razinu detalja. Rezultat je tekturirani 3D model koji daje stvarnu sliku prostora. Na temelju fotogrametrijskih snimaka, moguće je kao gotove proizvode dobiti: 3D model (eng. 3D Reality Mesh), oblak točaka (eng. Point cloud), digitalni model reljefa DMR, ortofoto i ortofoto kartu. Postoji nekoliko načina vizualizacije 3D modela, osim teksturiranog modela moguće je prikazati žičani model (eng. Wireframe), plošni (eng. surface) i čvrsti (eng. solid) model. Navedeni modeli će biti opisani i prikazani u narednim potpoglavljima obrade podataka.

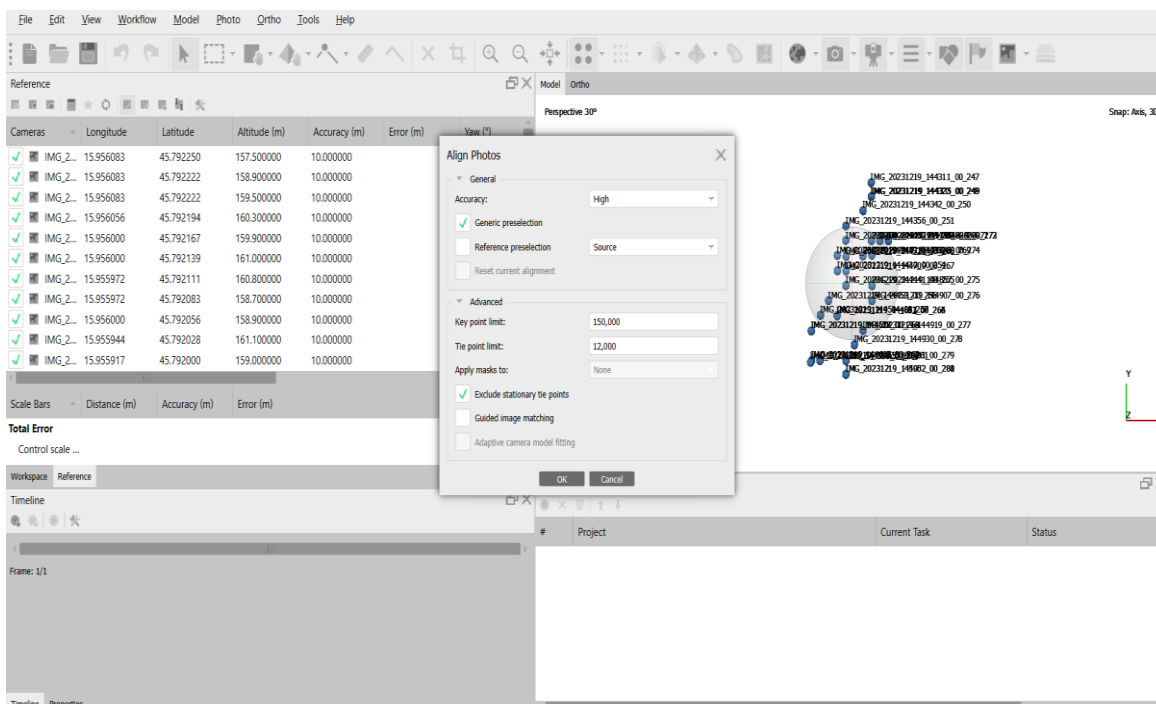
5.4 Obrada podataka s koordinatama kamere

Snimljene fotografije u Agisoft program ubacujemo tako što na korisničkoj traci kliknemo na *Workflow* i odaberemo opciju *Add photos*. Na slici 5.9. vidljivo je s desne strane kako izgledaju učitane fotografije, a s lijeve strane se vidi popis učitanih slika s geografskom širinom, dužinom i visinom te procjenjenom točnošću od 10 metara. Učitane fotografije se nalaze u WGS84 sustavu.



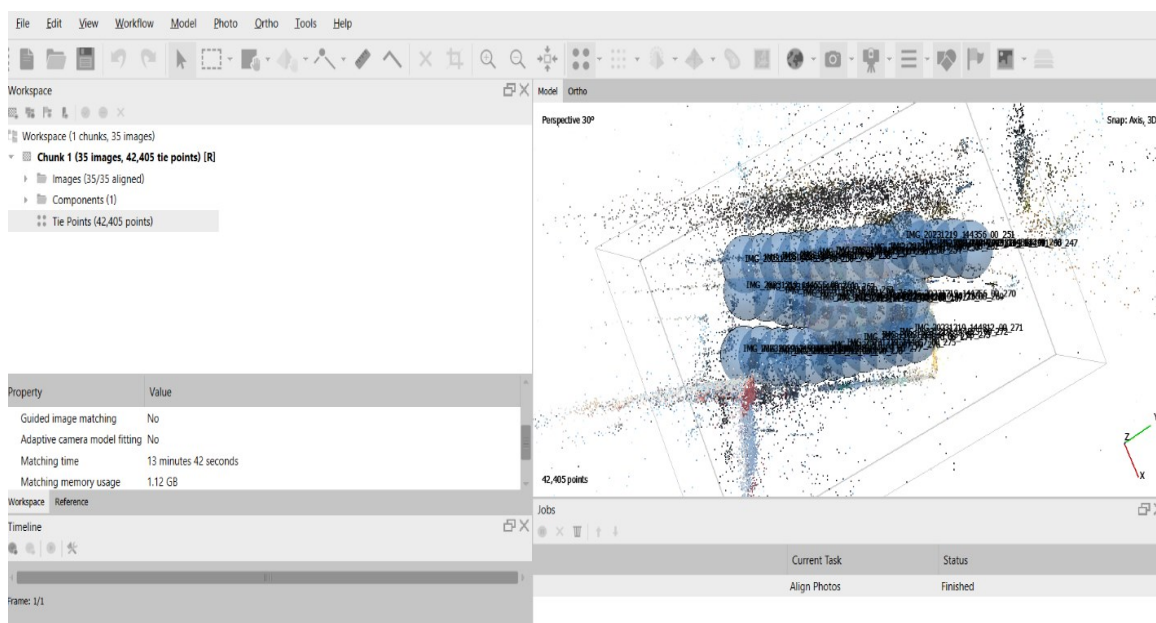
Slika 5.9 Učitane fotografije u Agisoftu

Nakon što su fotografije učitane, potrebno je u izborniku *Tools* u kalibraciji kamere promijeniti vrstu kamere u sfernu kameru kako bi se mogle poravnati slike. Ponovno se odabire *Workflow* i tu se bira opcija *Align photos* gdje se odabire visoka točnost te se povećava broj točaka koje se traže na 150 000 i vezanih točaka na 12 000 kako bi se dobio bolji rezultat (slika 5.10.).



Slika 5.10 Align photos postavke

Dobiveni rezultat je tie model koji se sastoji od točaka iz svih fotografija. U postavkama je korištena visoka točnost što znači da je veći broj identičnih točaka iz svih fotografija korišten za spajanje fotografija u jedan model. Sam proces poravnanja fotografija je trajao različit vremenski period ovisno na kojem se uređaju obavljao. Na prijenosnom računalu i na stolnom dobiven je isti rezultat vidljiv na slici 5.11.



Slika 5.11 Dobiven rezultat nakon align photos

Na slici su vidljive sfere koje su zapravo pozicije kamere za snimljene točke, dok je točnost sada oko 3.5 metara što je još uvijek prilično velik broj. Za isti rezultat dobiven prijenosnim računalom trebalo je 13 minuta i 42 sekunde, dok je na stolnom računalu trebalo upola manje vremena odnosno 6 minuta i 27 sekundi.

U radu su korištena sljedeća računala (URL22): jedno prijenosno računalo konfiguracije: CPU Intel 1135g7 2,4ghz, RAM 16GB ddr4 2667mhz te je bez grafičke kartice, a drugo je stolno računalo konfiguracije: CPU ryzen 7 2700x, RAM 32GB ddr4 3000mhz te GPU Nvidia gtx 1070. Prilikom benchmarka procesora utvrđeno je da ryzen 7 2700x sa svojih 8 jezgara, u odnosu na Intelov 1135g7 sa 4 jezgre, ostvaruje i do 32% bolje rezultate. Razlog tome je dvojak; Ryzen 7 2700x ima duplo više jezgara i samim time duplo više threadova, također takt rada Ryzen 7 2700x procesora je veći (4.15Ghz prema 2.4Ghz na Intelovom procesoru).

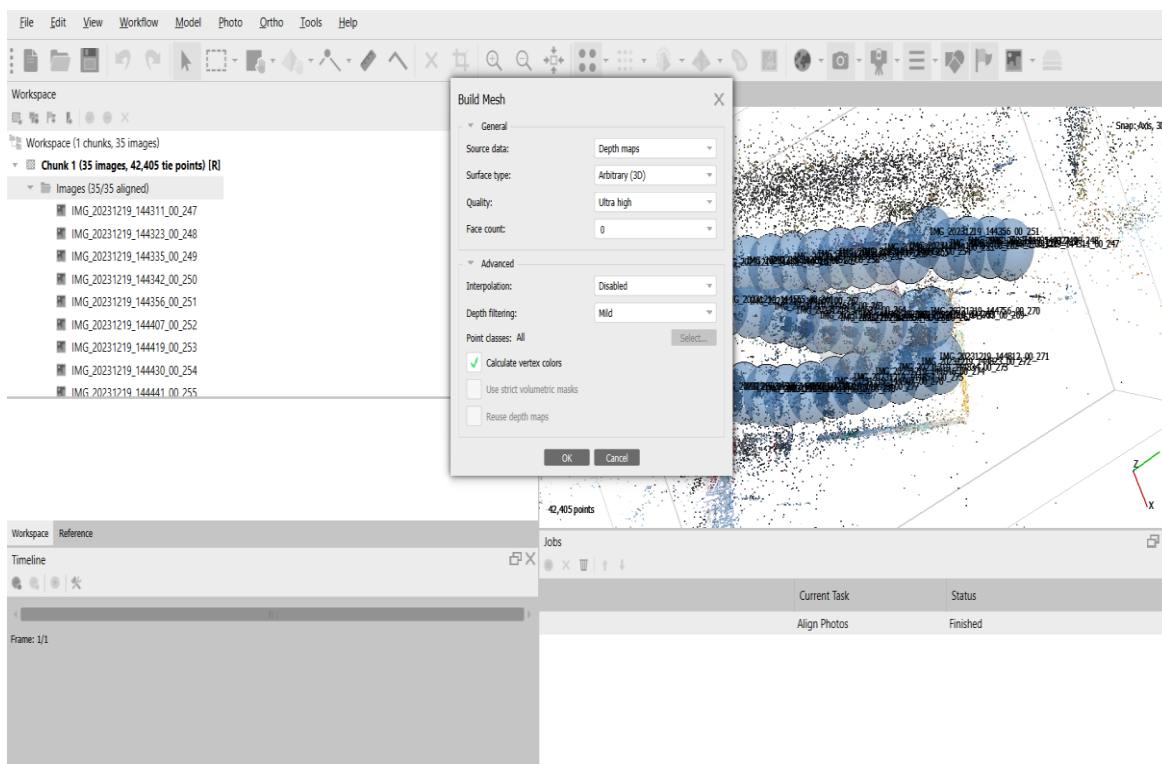
Zadaci obrade podataka prednost procesorima sa više jezgri kao što su AMD-ov Threadripper ili Intelov Core i9, te veće količine RAM-a. Što se tiče radne memorije (RAM), takt rada ne čini veliku razliku (2667Mhz vs 3000Mhz) ali razlika između 16GB i 32GB je osjetna u brzini obrade podataka u Agisoft-u.

Iako se za obradu podataka ovom prilikom koristi isključivo CPU, treba naglasiti da kod zadataka grafičkog/3D modeliranja dobra grafička kartica dodatno može pospješiti vrijeme trajanja obrade podataka. Stolno računalo, iako konfiguracijom namijenjeno za gaming, puno bolje je svladalo rad u Agisoft-u zahvaljujući boljem procesoru i većom količinom radne memorije. Valja naglasiti da "Workstation" računala namijenjena za rad u ovakvim i sličnim programima imaju i do 128GB radne memorije te specijalizirane procesore sa do 64 jezgre što operacije koje su računala korištena u ovom projektu radila satima ili desecima minuta, odrade u svega par minuta. Specifikacije navedenih računala su prikazane u tablici 5.5.

Tablica 5.5 Tehničke specifikacije stolnog i prijenosnog računala (URL22)

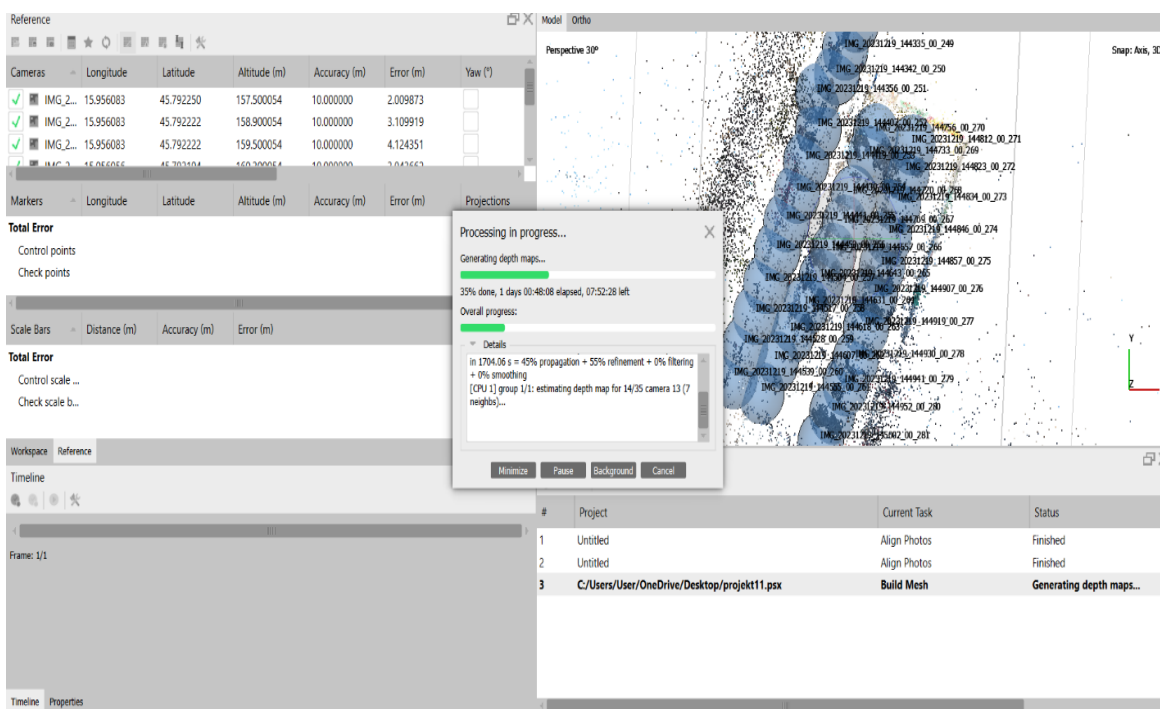
	Stolno računalo	Prijenosno računalo
Konfiguracija	CPU ryzen 7 2700x	CPU Intel 1135g7
Radna memorija	32GB ddr4 3000mhz	16GB ddr4 2667mhz
Grafička kartica	GPU Nvidia gtx 1070	-
Procesor	ryzen 7 2700x sa 8 jezgara	Intel 1135g7 sa 4 jezgre
Takt rada radne memorije	3000Mhz	2667Mhz
Takt rada procesora	4.15Ghz	2.4Ghz

Sljedeći korak je bio izrada modela tj mesha, i to na način da se ponovno odabire Workflow i opcija Build Mesh sa sljedećim postavkama: kao izvor podataka je postavljena karta dubine, kao tip površine je postavljeno proizvoljno tj 3D, kvaliteta je ultra visoka, brojanje lica je postavljeno na nulu, interpolacija je isključena a filtriranje dubine je blago (slika 5.12.).

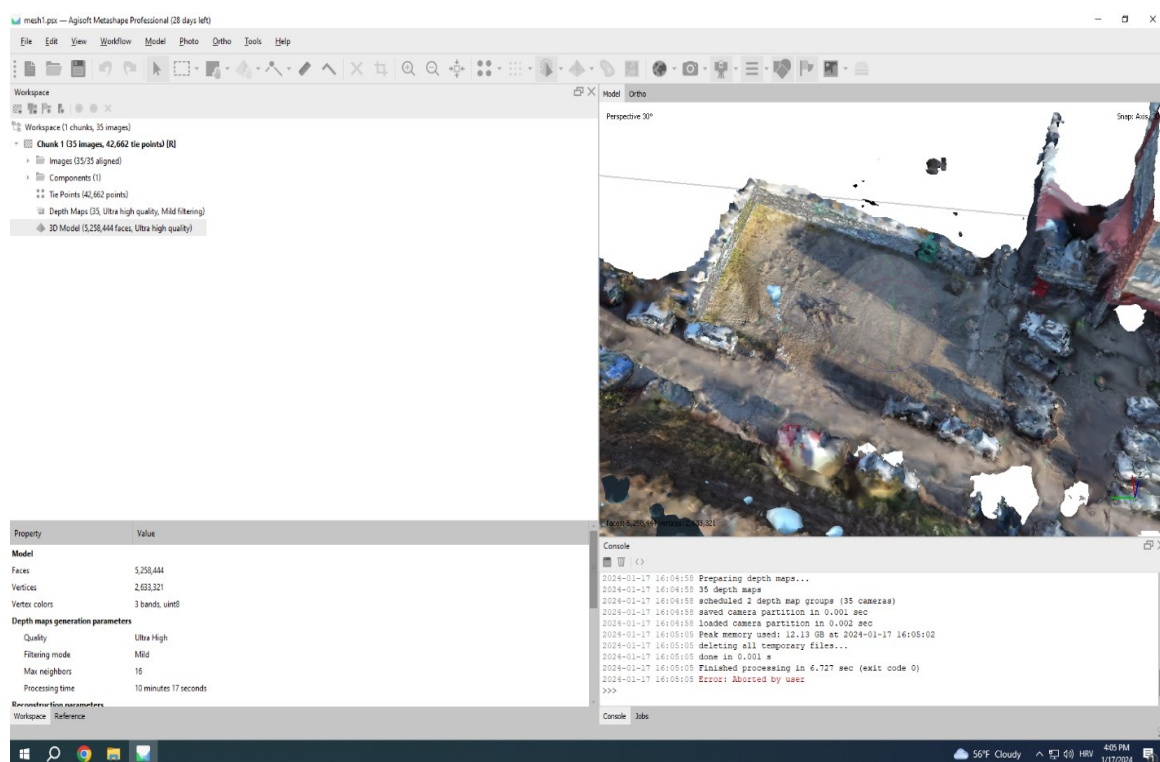


Slika 5.12 Postavke za izgradnju mesha

Na prijenosnom računalu proces dobivanja mesha nije išao glatko te na kraju nije ni finaliziran jer je u nekoliko navrata planirano vrijeme izvođenja produljeno, čak i nakon 24 sata rada (slika 5.13.), dok je na stolnom računalu mesh dobiven za svega 10 minuta i 17 sekundi (slika 5.14.). Dobiveni mesh nije zadovoljavajućeg izgleda te je točnost i dalje ostala na istoj razini od 3.5 metara. Nakon mesha, podaci su prebačeni u HTRS96/TM, te je ponovljen posljednji korak radi ažuriranja podataka ali značajan pomak nije zabilježen. Poboljšanje točnosti je planirano obaviti postavljanjem markera koji bi zapravo bili karakteristične točke snimljenje na parkingu ispred fakulteta klasičnim metodama.



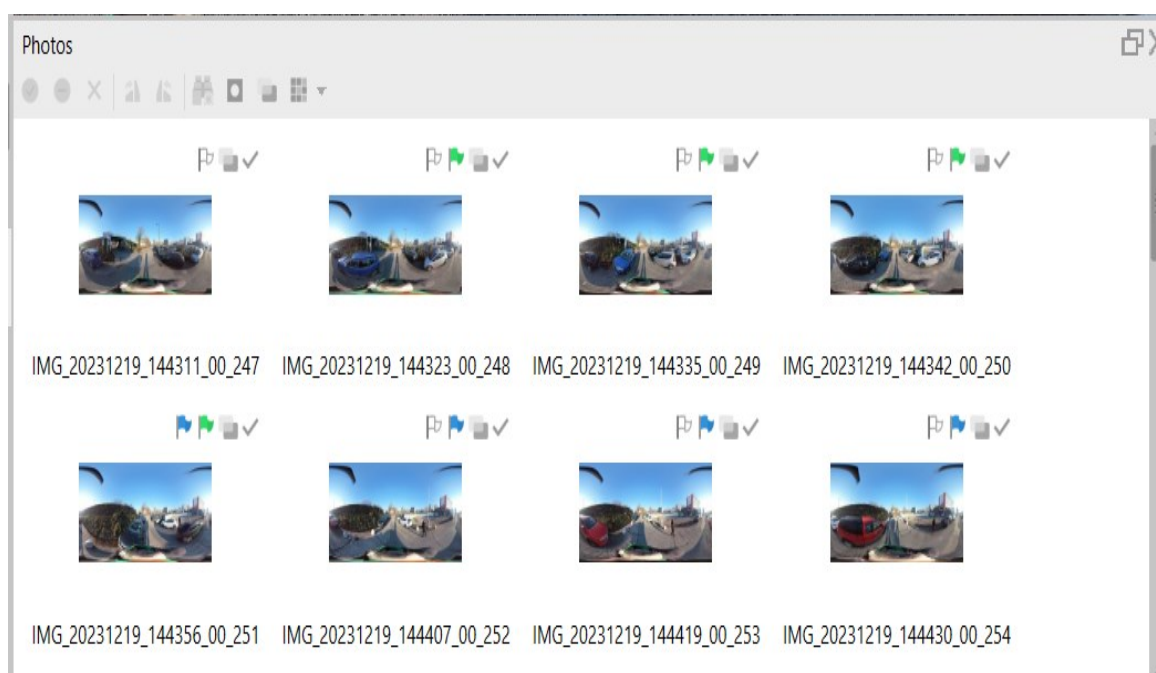
Slika 5.13 Dobivanje mesha na prijenosnom računalu



Slika 5.14 Dobiveni mesh na stolnom računalu

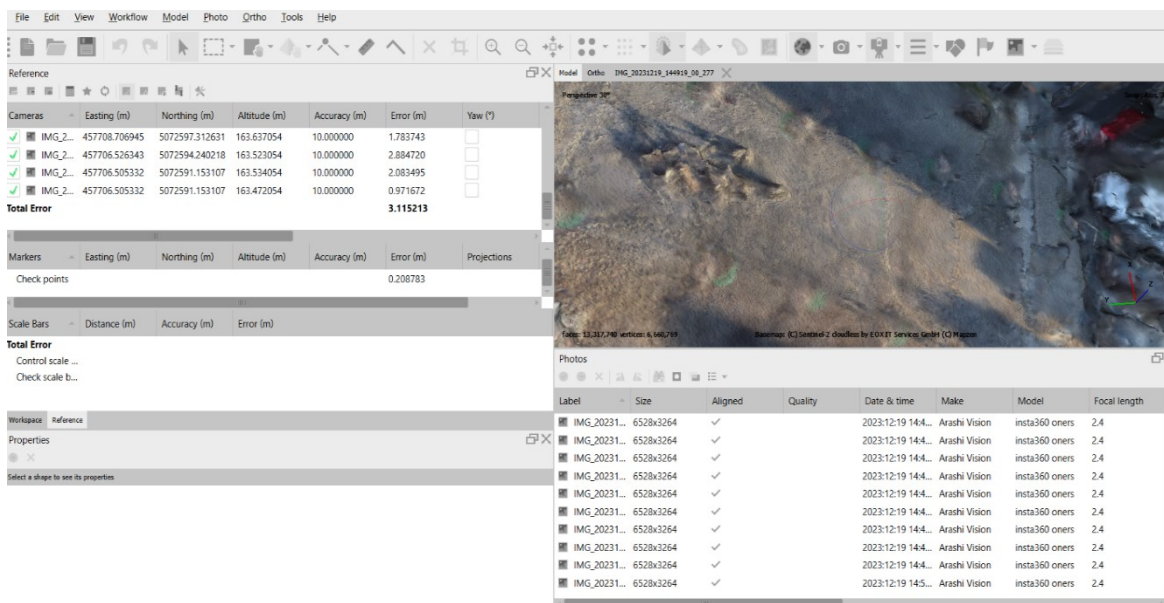
Markere postavljamo tako što sliku približimo na željenu točku i desnim klikom imamo dvije opcije: add marker i place marker. Pri odabiru add marker odabranom markeru se pridodaje koordinata s fotografije na koju je postavljen dok se kod place marker opcije koordinate ne pridodaju markeru. Osim koordinata markera, prikazani su eror u pikselima i metrima te projekcija odnosno broj fotografija na kojima se marker još može vidjeti. Porebno je imati

minimalno tri fotografije s istim markerom, a bitno je ne preskakati korak ručnog postavljanja markera kako bi se postigla što bolja točnost. Prilikom postavljanja markera odnosno odobrenja markera od strane korisnika, softver označava marker sa zelenom zastavicom. Potom se radi filtriranje markera odabirom opcije filter by marker pomoću koje softver ostavlja samo one fotografije s kojih se vidi marker te približi na njoj lokaciju markera kako bi ubrzao proces postavljanja markera. Markeri dodjeljeni na drugim fotografijama mogu biti označeni kao bijela ili plava zastava. Bijela zastavica signalizira da je softver pridodao marker na fotografiji ali postoji mogućnost da lokacija nije točna odnosno da se iz nekog razloga marker ne vidi, npr. zaklonjen je nekim predmetom ili je prisutan odsjaj zbog sunca i slično. Takve markere koji imaju lošu vidljivost je bolje preskočiti, kako softver s pogrešno dodjeljenom lokacijom markera ne bi prenio pogrešku određivanja lokacije i na ostale automatski dodjeljene softvere. Dok god je zastavica bijela, marker se ne koristi se u izračunu pogreške u metrima. Plava zastavica ima lokaciju koju joj je dodjelio softver ali nije ručno postavljena odnosno odobrena od strane korisnika programa, a zelena postaje tek kad se prihvati njena lokacija (slika 5.15).



Slika 5.15 Markeri dodjeljeni fotografijama kao zastavice

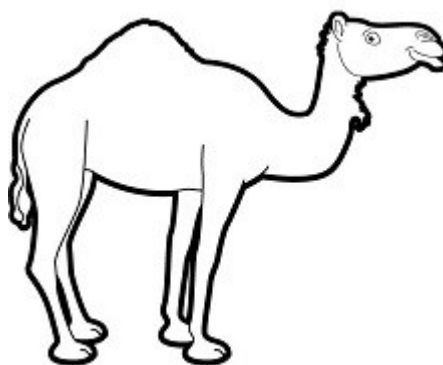
Nakon što su postavljani markeri, dobivena je točnost koja iznosi 3.11 m što još uvijek nije zadovoljavajuća točnost koja se očekuje pri ovakvim radovima. Slika 5.16 prikazuje dobivene rezultate na kraju obrade navedenih podataka. Iz tog razloga će se uz pomoć exiftool softvera promijeniti koordinate fotografija i unijeti koordinate koje su dobivene Emlid Reach M2 GNSS uređajem.



Slika 5.16 Dobivena točnost nakon dodavanja markera

5.5 Exiftool

Exiftool je besplatni softverski program otvorenog koda za čitanje, pisanje i manipuliranje slikovnim, audio, video i PDF metapodacima. Njen tvorca je Phil Harvey koji je pustio program u primjenu 2003. godine. Napisan je u Perl programskom jeziku i dostupan je za Linux, Windows i macOS operacijske sustave. Softver je neovisan o platformi a dostupan je kao Perl knjižnica i kao aplikacija naredbenog retka. ExifTool implementira vlastiti otvoreni format metapodataka. Dizajniran je za implementaciju metainformacija iz mnogih izvora, u binarnom ili tekstualnom obliku, i njihovo spajanje s bilo kojom vrstom datoteke. To može biti jedna datoteka koja sadrži postojeće raspakirane podatke ili se koristiti kao pomoćna datoteka koja u sebi ima Exif ili XMP metapodatke (URL23). Logo softvera prikazuje slika 5.17.



Slika 5.17 Logo exiftool softvera(URL23)

Najčešći metapodaci koji se mogu pročitati pomoću exiftool softvera su: datum i vrijeme nastanka i zadnje promjene fotografije, originalno ime, GPS koordinate lokacije uključujući geografsku duljinu, širinu u stupnjevima, autorovo ime i copyright detalje, informacije o uređaju uključujući proizvođača i model te informacije kao što su vrsta leće, žarišni raspon, otvor blende, postavke bljeskalice i slično. Samo korištenje softvera je jako jednostavno. Za

čitanje podataka je dovoljno preuzeti softver sa internet stranice i raspakirati ga na radnoj površini. Ispis podataka pomoću exiftoola prikazuje slika 5.18.

```

---- ExifTool ----
ExifTool Version Number      : 12.70
Warning                      : [minor] Unrecognized MakerNotes
---- System ----
File Name                    : IMG_20231219_144311_00_247.jpg
Directory                   : C:/exiftool
File Size                   : 11 MB
File Modification Date/Time  : 2024:05:10 18:54:56+02:00
File Access Date/Time       : 2024:06:07 15:10:28+02:00
File Creation Date/Time     : 2024:06:07 15:10:26+02:00
File Permissions            : -rw-rw-rw-
---- File ----
File Type                   : JPEG
File Type Extension         : jpg
MIME Type                   : image/jpeg
Exif Byte Order             : Little-endian (Intel, II)
Image Width                 : 6528
Image Height                : 3264
Encoding Process           : Baseline DCT, Huffman coding
Bits Per Sample            : 8
Color Components            : 3
Y Cb Cr Sub Sampling       : YCbCr4:2:0 (2 2)
---- JFIF ----
JFIF Version                : 1.01
Resolution Unit             : inches
X Resolution                : 96
Y Resolution                : 96
---- IFD0 ----
Image Width                 : 6528
Image Height                : 3264
Bits Per Sample            : 8
Compression                 : JPEG (old-style)
Image Description           : IMG_20231219_144311_00_247.insp
Make                       : Arashi Vision
Camera Model Name          : insta360 oners
X Resolution                : 96
Y Resolution                : 96
Resolution Unit             : inches
Software                    : v2.0.11_build3
Modify Date                 : 2023:12:19 14:43:11
Ln 1, Col 1                5.831 znak

```

Slika 5.18 Metapodaci otvoreni pomoću exiftool softvera

Kada se koristi komandna linija, kao što je bio slučaj u ovom radu, potrebno je preimenovati naziv softvera iz "exiftool(-k).exe" u "exiftool.exe", prebaciti ga u C direktorij zajedno s mapom odabranih fotografija i u komandnu liniju upisati sljedeću naredbu:

```
exiftool -all -csv *.jpg > export.csv
```

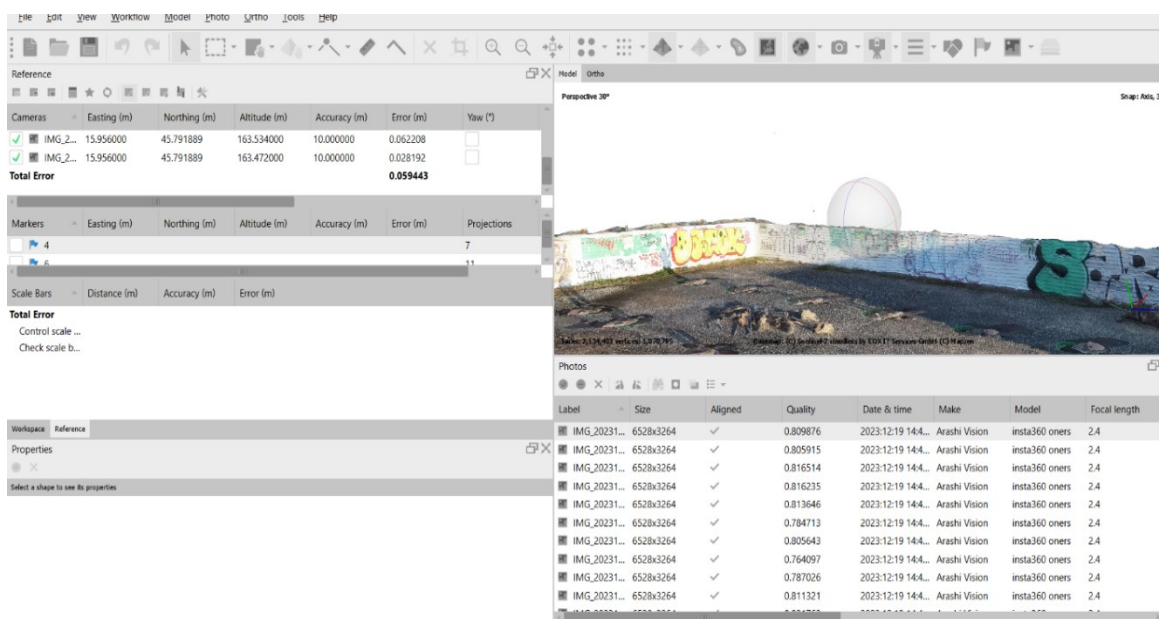
Nakon toga je kreirana export.csv datoteka koju je bilo potrebno ručno popuniti s željenim podacima (GPSLatitude, GPSLongitude, GPSPosition itd.) Potom je ta uređena export.csv datoteka pohranjena kao import.csv datoteka koja u sebi sadržava podatke koje želimo učitati. Učitavanje EXIF podataka iz datoteke import.csv na sve slike u folderu obavljena je putem sljedeće naredbe:

```
exiftool -csv=import.csv *.jpg
```

Nakon toga sve su slike popunjene željenim EXIF podacima. Također je bitno napomenuti da program čuva nepromijenjene odnosno originalne slike tako da im daje ekstenziju "_original".

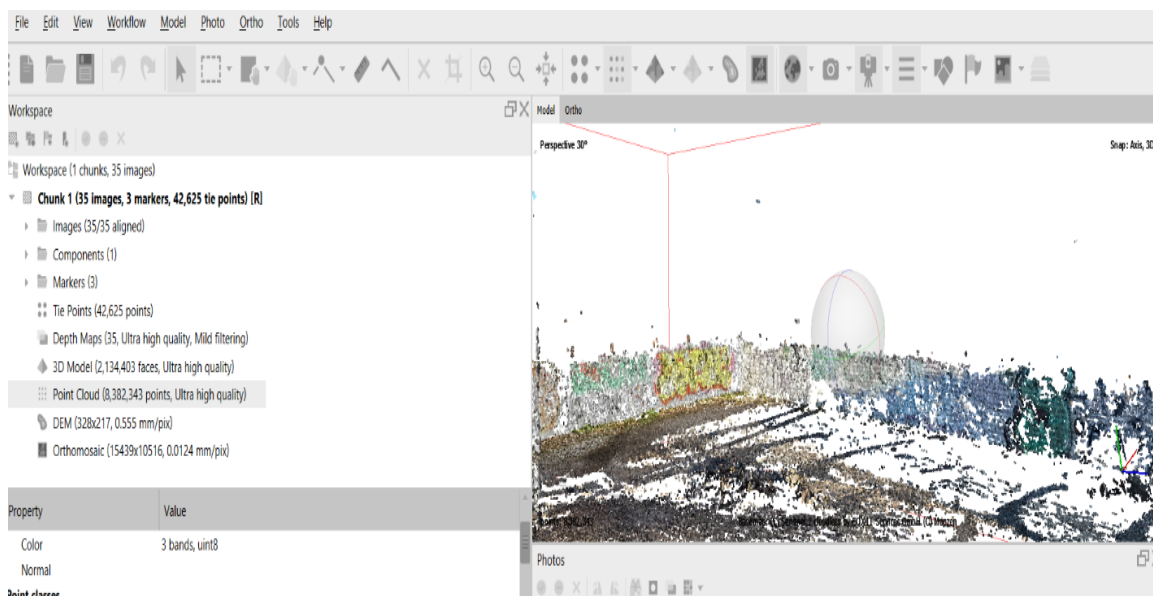
5.6 Obrada podataka s koordinatama GPS-a

Nakon što su promijenjene koordinate fotografija, ponovno unosimo fotografije Agisoft naredbom *Add photos*. Odabire se opcija sfernih fotografija i one se ponovno poravnavaju uz *Align photos*. Kada se učitaju fotografije, moguće je pogledati njihovu kvalitetu tako da nakon desnog klika mišem odaberemo opciju *estimate image quality* i u detaljima fotografije ispod stupca *quality* se mogu vidjeti vrijednost od nula do jedan, koje su dodijeljene fotografiji (slika 5.19.). Ako je kvaliteta fotografije loša odnosno bliže nuli, takva će fotografija vjerojatno biti mutna pa je bolje onemogućiti korištenje takve fotografije u daljnjoj izradi modela.

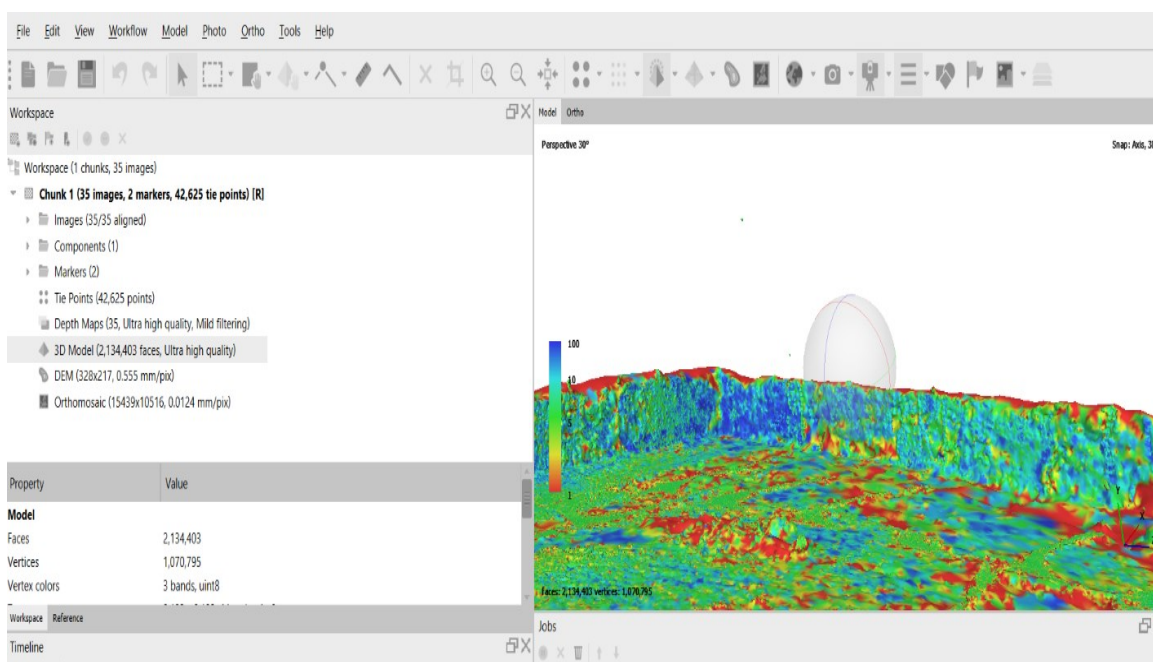


Slika 5.19 Kvaliteta fotografija

Zatim slijedi filtriranje točaka kako bi se postigao što bolji 3D model. U izborniku *model* se odabire *Gradual selection* i mijenjaju se sljedeće opcije: pod *Reprojection error* se bira *level 0.5* što je broj piksela koji se računa i uvijek se uzima vrijednost od barem 0.5 ili manje, zatim *Reconstruct uncertainty* treba postaviti na 20, a što je kamera bolja, moguće je postaviti i niži broj te se pod *Projection accuracy* postavlja vrijednost 5.5 jer se želi postići 10% najboljih aktivnih točaka dok ostale treba izbrisati. Između svakog od ovih odabira potrebno je optimirati kalibraciju kamere. Nakon toga se izrađuje oblak točaka uz visoku točnost koji se potom filtrira uz opciju *filter by confidence*. Prilikom prikupljanja fotografija na terenu, potrebno je zaustaviti se na terenu koju sekundu kako bi se izbjegli mutni detalji. Oblak točaka i model dobiven *filterom by confidence* prikazani su na slika 5.20 i slika 5.21.

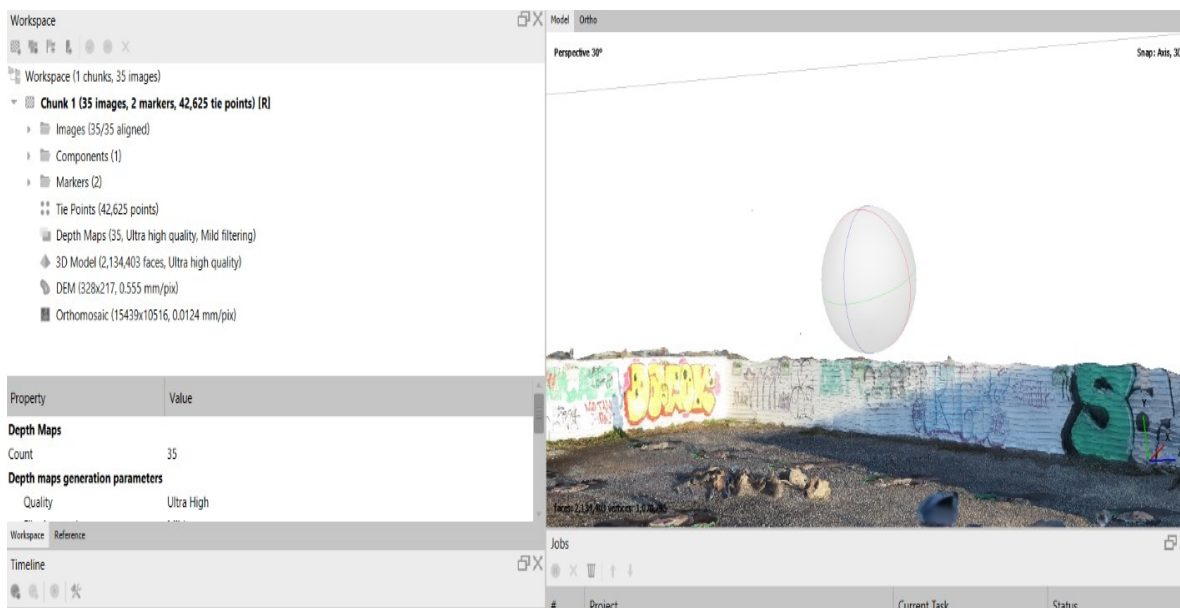


Slika 5.20 Oblak točaka



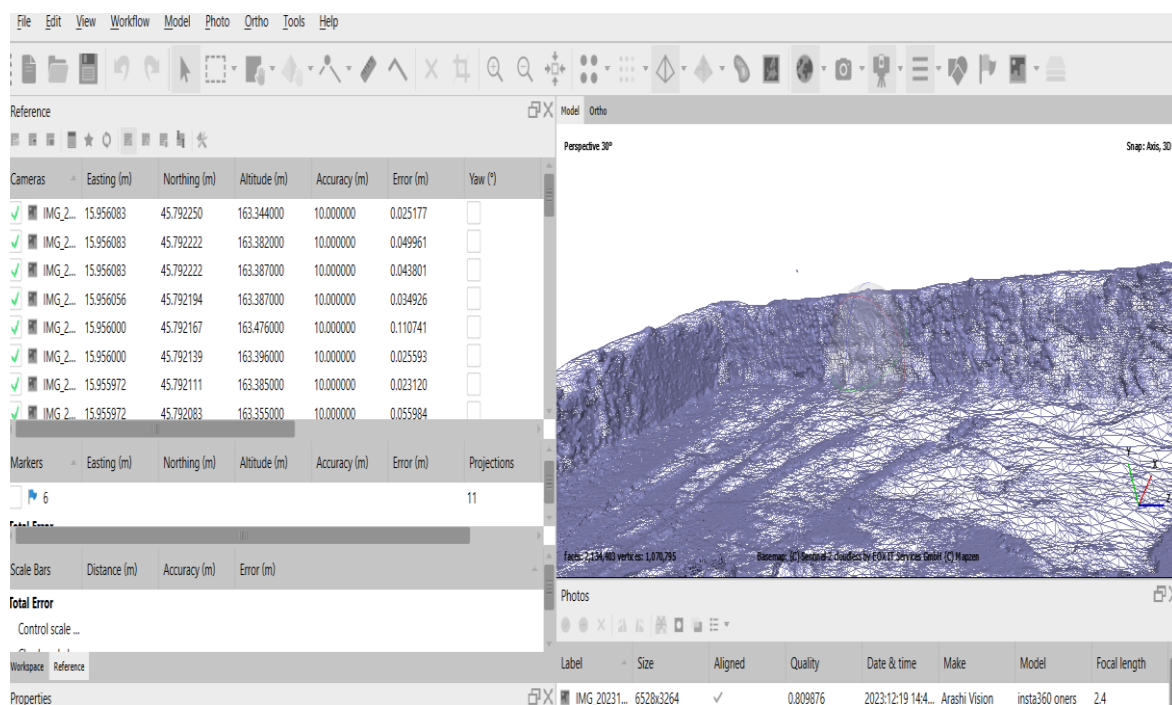
Slika 5.21 Filter by confidence

Tu se odabiru najlošije točke u rasponu od 0 do 3 kako bi se mogle izbrisati i ostaviti samo kvalitetne točke. Crvene točke se brišu jer nisu dobre kvalitete, dok su plave točke dobre i one se zadržavaju. Zatim se radi 3D model odnosno mesh koji se može napraviti na temelju oblaka točaka ili mape dubina. Prvo izrađujemo model na temelju oblaka točaka uz visoku točnost koja je nužna iako se tim odabirom koristi puno memorije, ali u suprotnom se gubi na kvaliteti. Ostale postavke su iste, osim što je *face count* promjenjen s nula na visoko. Dobiveni model je bolje kvalitete od prethodnog, ali je mutan jer još nema teksture. Nakon što dodamo teksturu (slika 5.22), postupak je potrebno ponoviti na temelju mape dubine kako bi dobili još bolji rezultat. U slučaju da je model još uvijek mutan, moguće je povećati rezoluciju kako bi dobili još veću kvalitetu 3D modela.

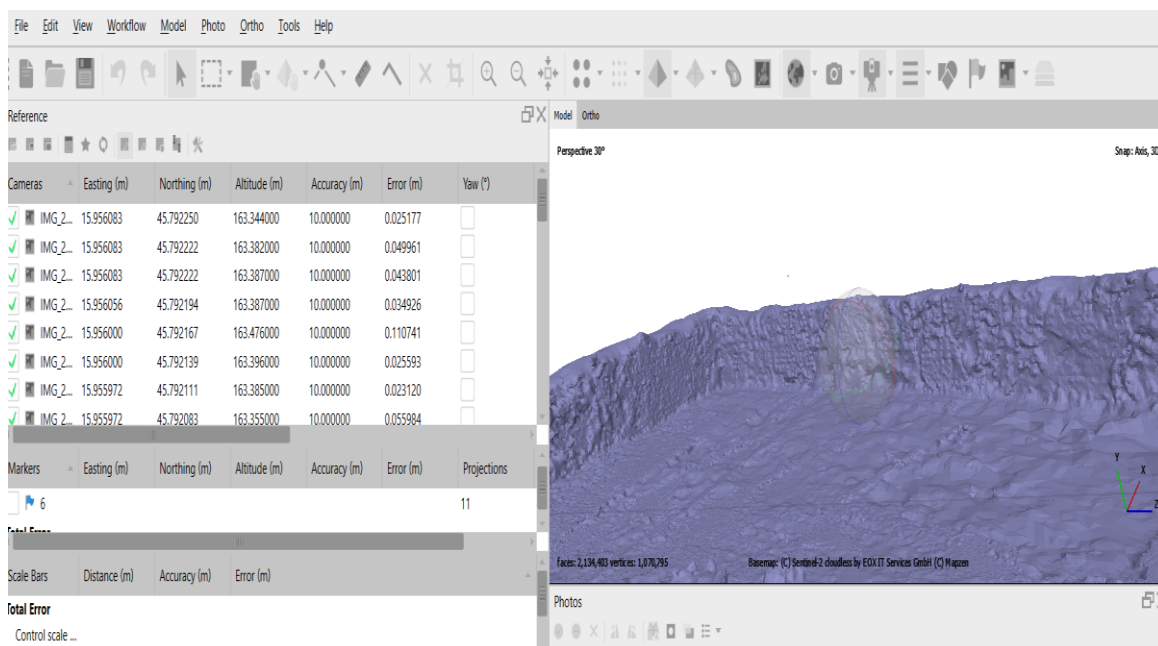


Slika 5.22 Teksturiran model

Osim oblaka točaka i navedenih modela koji su prikazani u ovom potpoglavlju, možemo teren još prikazati i pomoću žičanog modela (eng. *Wireframe*) i čvrstog modela (eng. *Solid*). Slika 5.23 prikazuje žičani model, dok slika 5.24 prikazuje čvrsti model.



Slika 5.23 Žičani model



Slika 5.24 Čvrsti model

Dobiveni model nakon postavljanja markera ostvaruje točnost od 5.9 cm (slika 5.25), a sam model je dobiven unutar 5 minuta i 22 sekunde, što je signifikatno bolji rezultat od onog postignutog kod fotografija s koordinatama dobivenim iz Insta360 kamere.

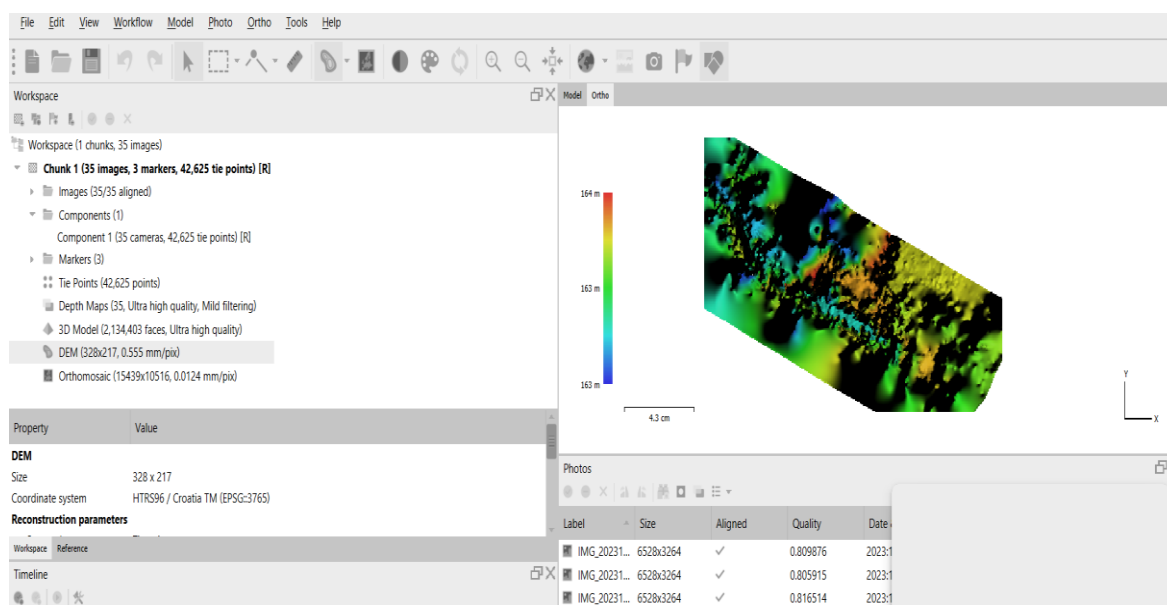
Cameras	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw (°)	Pitch (°)
✓ IMG_2...	15.956083	45.792250	163.344000	10.000000	0.025177	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓ IMG_2...	15.956083	45.792222	163.382000	10.000000	0.049961	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓ IMG_2...	15.956083	45.792222	163.387000	10.000000	0.043801	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓ IMG_2...	15.956056	45.792194	163.387000	10.000000	0.034926	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓ IMG_2...	15.956000	45.792167	163.476000	10.000000	0.110741	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓ IMG_2...	15.956000	45.792139	163.396000	10.000000	0.025593	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓ IMG_2...	15.955972	45.792111	163.385000	10.000000	0.023120	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
✓ IMG_2...	15.955972	45.792083	163.355000	10.000000	0.055384	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Total Error					0.059443		

Slika 5.25 Dobivena točnost modela

Osim navedenog modela, u Agisoftu je moguće dobiti digitalni model površine iz oblaka točaka koji je u konkretnom slučaju prikazan u HTRS sustavu i sadrži sve točke odnosno uključene su zgrade, drveća, tlo i automobili. Automatski proizveden DEM sadrži mnoge elemente koje DTM ili DMR ne bi trebali sadržavati zbog čega treba obaviti dodatnu obradu u smislu otklanjanja određenih objekata (umjetnih objekata, visoke vegetacije), a da glavna svojstva Zemljine površine i dalje ostaju očuvana (El-Sheimy i dr., 2005). U tu se svrhu provodi filtriranje DEM-a. Filtriranje digitalnog modela može se usporediti s pojmom kartografske generalizacije Zemljine površine. U digitalnim modelima dolazi do regionalnih promjena (definiiraju osnovne oblike površine) i lokalnih promjena (ovisno o mjerilu

prikazuju traženu razinu detalja), te nasumičnih šumova (prisutni su u obje navedene pojavnosti) (Li i dr., 2005). Osim generalizacije i uklanjanja šumova, u praktičnoj se primjeni danas filtriranje u digitalnom modeliranju terena najčešće upotrebljava u svrhu pretvorbe DSM-a u DTM, odnosno za uklanjanje svih prirodnih i umjetnih objekata poput vegetacije ili građevina kako bi se dobila samo ploha terena (Linder, 2016).

Za dobivanje digitalnog modela terena potrebno je resetirati oblak točaka tako da se u klasifikaciji točaka ostave samo točke tla. Nakon što je izrađen DEM, moguće je dobiti i konture desnim klikom na DEM i odabirom opcije *generate contours*. Također, moguće je napraviti ortomozaik uz pomoć 3D modela i na taj način se dobiju brži, ali lošiji rezultati. Za optimalne rezultate potrebno je napraviti 2.5D model i tek onda preći na izradu ortomozaika. Obzirom da je lokacija izmjere parkiralište, visinski prikaz navedenog modela nije razveden kao što bi to bio slučaj da je odabrana neka druga lokacija koja sadrži objekte različitih visina (slika 5.26). Iz tog razloga je najviša točka područja približno 164 m, a najniža približno 163 m.



Slika 5.26 Dobiveni DEM

Analizom dobivenih rezultata potvrđena je pretpostavka u kojoj se predviđalo da će bolju točnost i brže vrijeme obrade podataka postići fotografije s koordinatama Emlid GNSS-a u odnosu na fotografije s koordinatama iz 360 kamere. Usporedba dobivenih rezultata je prikazana u tablici 5.6.

Tablica 5.6 Usporedba dobivenih rezultata

	Fotografije s koordinatama iz 360 kamere	Fotografije s koordinatama Emlid GNSS-a
Točnost podataka (m/cm)	3.11 m	5.9 cm
Brzina obrade podataka	10 min 17 sek	5 min 17 sek

6. ZAKLJUČAK

Fotogrametrijom su se do posljednjeg desetljeća uglavnom bavile specijalizirane tvrtke koje su raspolagale velikim kapitalom te su si mogle priuštiti nabavu skupocjene opreme i softvera. Razvojem računalnog inženjerstva te usavršavanjem fotoaparata započinje kontinuirani razvoj koji karakterizira dostupnost, pristupačnost i jednostavnost korištenja novih uređaja i softvera za puno širu geodetsku populaciju. Osim geodezije i drugih inženjerskih znanosti, brojne struke se također koriste fotogrametrijskom metodom za prikupljanje podataka kako bi mogli izraditi 3D modele različitih objekata. Trodimenzionalni modeli se kreiraju pomoću specijaliziranih softvera za 3D modeliranje, kao što su AutoCAD, SketchUp, Revit, Pix4D, Agisoft Metashape i mnogi drugi. Prikazuju geometrijske karakteristike objekata, kao što su oblik, dimenzije, volumen i položaj u prostoru. Ovi modeli se koriste za analizu, simulaciju i predstavljanje objekata u inženjerskim znanostima prije nego što se pristupi stvarnoj izgradnji ili rekonstrukciji. U drugim znanostima, fotogrametrijska metoda prikupljanja podataka s ciljem izrade 3D modela se koristi kako bi olakšala ili ubrzala vizualizaciju i analizu objekta jer je često jeftinija, brža i jednostavnija od drugih standardnih metoda u tim strukama, a za samu provedbu nije potrebno obimno predznanje. U ovom diplomskom radu obrađeni su Emlidovi senzori koji su na tržištu lako dostupni i cjenovno pristupačni. Osim njih je također obrađena i Insta360 kamera koja predstavlja jednostavan i lako dostupan uređaj koji se može koristiti u inženjerskim poslovima, ali i u slobodno vrijeme. Cilj ovog rada bio je napraviti 3D modele i usporediti njihovu točnost i brzinu obrade podataka ovisno o tome jesu li koordinate zapisane u fotografijama dobivene iz kamere ili GNSS uređaja. Pritom su korišteni besplatni softveri Exiftool i Agisoft Metashape. Pretpostavka je bila da će se bolji rezultati ostvariti koristeći fotografije s koordinatama iz dvofrekventnog GNSS uređaja što je, nakon obrade podataka, na koncu i potvrđeno. Prilikom obrade fotografija s koordinatama iz Emlid GNSS uređaja, postignuta je gotovo dvostruko brža obrada podataka uz centimetarsku točnost u odnosu na točnost u metrima kada su korištene koordinate iz Insta360 kamere. Iako 360 kamere i softveri na današnjem stupnju razvoja još uvijek ne mogu zadovoljiti potrebe kod visoko preciznih geodetskih radova, daljnjim razvojem tehnologije i računalnih softvera pretpostavlja se da će u budućnosti i pomoću 360 kamere biti moguće postići zadovoljavajuću točnost za većinu svakodnevnih geodetskih poslova.

LITERATURA

- Anderson, R. C. (1982): Photogrammetry: The Pros and Cons for Archaeology. *World Archaeology* 14, 200–205
- Badillo, E. (2020): SfM Photogrammetric Field Methods for Historic Burial Excavations: The Case of Bethel Cemetery. *Advances in Archaeological Practice* 8, 151–161.
- Bašić, T. i Buble, G. (2007): Usporedba globalnog modela visina SRTM3 s postojećim digitalnim modelima reljefa na području Hrvatske, *Geodetski list*, 2, str. 93.-111.
- Bonin, O. i Rousseaux, F. (2005): Digital Terrain Model Computation from Contour Lines: How to Derive Quality Information from Artifact Analysis, *Geoinformatica*, Vol. 9, Issue 3, 253–268
- Burdeos, M. D. A. i dr. (2015): Automated building footprints extraction from DTM and DSM in ArcGIS, 36th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2015), Quezon City, Philippines, Volume 6, 4797–4802.
- Carrero-Pazos, M. i Espinosa-Espinosa D. (2018): Tailoring 3D Modelling Techniques for Epigraphic Texts Restitution: Case Studies in Deteriorated Roman Inscriptions. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 10:e00079.
- Čomić, L. i dr. (2014): Morphological Modeling of Terrains and Volume Data, *SpringerBriefs in Computer Science*.
- Đapo, A. i Medved, I. (2003): Trodimenzionalni geodetski model jezera šljunčare Novo Čiče, *Ekscentar* 5, 13-18.
- De Florian L. i Magillo, P. (2003): Algorithms for Visibility Computation on Terrains: a Survey, *Environment and Planning B, Planning and Design*, 30(5), str. 709-728
- De Reu, J. i dr. (2013): Towards a Three-Dimensional Cost-Effective Registration of the Archaeological Heritage. *Journal of Archaeological Science* 40, 1108–1121.
- Doneus, M. i dr. (2011): From Deposit to Point Cloud—A Study of Low-Cost Computer Vision Approaches for the Straightforward Documentation of Archaeological Excavations. *Geoinformatics FCE CTU* 6, 81–88.
- Douglass, M. i dr. (2015): The Application of 3D Photogrammetry for In-Field Documentation of Archaeological Features. *Advances in Archaeological Practice* 3, 136–152.
- El-Sheimy i dr. (2005): *Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation and Applications*, Artech House, USA.
- El-Sheimy, N., Valeo, C., Habib, A. (2005): *Digital Terrain Modeling: Acquisition,*
- Evans, I. S. i Cox, N. J. (1999): Relations between land surface properties: altitude, slope and curvature, In: Hergarten, S., Neugebauer, H. J. (Eds.), *Process Modelling and Landform Evolution*, Springer Verlag, Berlin, 13–45.
- Evin, A. (2016): The Use of Close-Range Photogrammetry in Zooarchaeology: Creating Accurate 3D Models of Wolf Crania to Study Dog Domestication. *Journal of Archaeological Science: Reports* 9, 7–93.
- Fassi, F. i dr. (2013): Comparison between Laser Scanning and Automated 3D Modelling Techniques to Reconstruct Complex and Extensive Cultural Heritage Areas. *International*

Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences XL-5/ W1, 73–80.

Forlin, P. i dr. (2018): Assessing Earthquake Effects on Archaeological Sites Using Photogrammetry and 3D Model Analysis. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 9:e00073.

Förstner, W., Wrobel, B. (2016): *Photogrammetric Computer Vision - Statistics, Geometry, Orientation and Reconstruction*, Springer, Cham, Switzerland.

Frančula, N. i Lapaine, M. (2008): *Geodetsko-geoinformatički riječnik*, Državna geodetska Uprava, Zagreb.

Fujii, Y. i dr. (2009): Digital Photogrammetry for the Documentation of Structural Damage in Earthen Archaeological Sites: The Case of Ajina Tepa, Tajikistan. *Engineering Geology* 105, 124–133.

Fussell, A. (1982): Terrestrial Photogrammetry in Archaeology. *World Archaeology* 14, 157–172.

Gajski, D. (2007): Osnove laserskog skeniranja iz zraka, *Ekscentar*, 10, str. 16.-22.

Garstki, K. i dr. (2018): Practical Application of Digital Photogrammetry for Fieldwork in the American Midwest: An Example from the Middle Ohio Valley. *Midcontinental Journal of Archaeology* 43, 133–150.

Grün, A. i dr. (2004): Photogrammetric Reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan. *Photogrammetric Record* 19, 177–199.

Grussenmeyer, P. i dr. (2010): High Resolution 3D Recording and Modelling of the Bronze Age Cave “Les Fraux”, Perigord (France), *Proceedings of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVIII*. Newcastle upon Tyne, UK.

Hesse, R. (2015): Combining Structure-from-Motion with High and Intermediate Resolution Satellite Images to Document Threats to Archaeological Heritage in Arid Environments. *Journal of Cultural Heritage* 16, 192–201.

Hirt, C. (2014): *Digital Terrain Models*, Encyclopedia of Geodesy, Springer International Publishing, Switzerland.

Hirst, C. S. i dr. (2018): Standardisation in 3D Geometric Morphometrics: Ethics, Ownership, and Methods. *Archaeologies* 14, 272–298.

Hohle, J. (2013): Generation of Land Cover Maps Using High-Resolution Multispectral Aerial Cameras, *GEOProcessing 2013: The Fifth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services*, February 24 – March 1, Nice, France, 133–138.

Hollinger, E. R. i dr. (2013): Tlingit-Smithsonian Collaborations with 3D Digitization of Cultural Objects. *Museum Anthropology Review* 7 (1–2), 201–253.

Howland, M. D. i dr. (2018): Quantifying the Effects of Erosion on Archaeological Sites with Low-Altitude Aerial Photography, Structure from Motion, and GIS: A Case Study from Southern Jordan. *Journal of Archaeological Science* 90, 62–70.

Hua, Z. D. i dr. (2007): 3D integrated modeling approach to geo-engineering objects of hydraulic and hydroelectric projects, Vol. 50, Issue 3, 329–342.

- Hutchinson, M. F. i Gallant, J. C. (2000): Digital elevation models and representation of terrain shape, In: Wilson, J. P., Gallant, J. C. (Eds.), *Terrain Analysis: Principles and Applications*, Wiley, 29–50.
- Ivković, M. i Miler, M. (2007): Pretvorba analognih topografskih planova u digitalni oblik, Zbornik radova Simpozija o inženjerskoj geodeziji, Beli Manastir, str. 283.-292., 2007.
- Katyal, S. K. (2017): Technoheritage. *California Law Review* 105(4), 1111–1172.
- Koenig, C. W. i dr. (2017): Beyond the Square Hole: Application of Structure from Motion Photogrammetry to Archaeological Excavation. *Advances in Archaeological Practice* 5:54–70.
- Koutsoudis, A. (2007): On 3D Reconstruction of the Old City of Xanthi: A Minimum Budget Approach to Virtual Touring Based on Photogrammetry. *Journal of Cultural Heritage* 8, 26–31.
- Krtalić, A. i dr. (2009): Digitalni trodimenzionalni prikazi scene i satelitska stereofotogrametrija, *Geodetski list* 2019, 2, 147–164
- Kumler, M. (1994): An intensive comparison of triangulated irregular networks (TINs) and digital elevation models (DEMs), *Cartographica*, Vol. 31, Iss. 2, 1–99.
- Kwan, D. H. i Kwan J. M. (2017): Empowering Cultural Preservation in China through Participatory Digitization. *Journal of Archaeological Science: Reports* 12, 161–164.
- Lancaster, J. (2018): Pre- and Post-Arson Three-Dimensional Reconstructions of the Lichtenwalter Schoolhouse, Green, Ohio. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 8, 1–9.
- Lemaire, C. (2008): Aspects of the DSM Production with High Resolution Images, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B4, Beijing.
- Li, Z. i dr. (2005): *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*, CRC PRESS, Boca Raton, USA.
- Linder, W. (2016): *Digital Photogrammetry*, Springer, Netherlands.
- López, J. F. i dr. (2019): Tool Mark Analyses for the Identification of Palaeolithic Art and Modern Graffiti: The Case of Grottes d’Agneux in Rully (Saône-et-Loire, France). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 1, :e00107.
- Macarol, S. (1978): *Praktična geodezija, Tehnička knjiga*, Zagreb
- Magnani i dr. (2020): *The Digital Revolution to Come: Photogrammetry in Archaeological Practice*, Cambridge University Press, Vol. 85, No. 4, 737–762.
- Maltarski, M. (2018): *Izrada digitalnog trodimenzionalnog prikaza scene upotrebom satelitskih stereo snimki*, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Manipulation and Applications*, Artech House, USA.
- Martínez, S. i dr. (2015): Geometric Documentation of Historical Pavements Using Automated Digital Photogrammetry and HighDensity Reconstruction Algorithms. *Journal of Archaeological Science* 53, 1–11.
- Matijević, H., Roić, M. (2002): Terestrički laserski skeneri, *Geodetski list*, 3, str. 171.-178.

- Maune, D. F. (Ed.) (2001): *Digital Elevation Model Technologies and Applications: DEM Users Manual*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD, 539.
- Meredith-Williams, M. G. i dr. (2014): Mapping, Modelling and Predicting Prehistoric Coastal Archaeology in the Southern Red Sea Using New Applications of Digital-Imaging Techniques. *World Archaeology* 46, 10–24.
- Miller, C. i Laflamme, R. A. (1958): The Digital Terrain modelling-theory and Applications, *Photogrammetric Engineering*, 24(3), 433–442.
- O'Driscoll, J. (2019): Picture Perfect: Using Drone Technology and Photogrammetry Techniques to Map the Western Stone Forts of Ireland. *Journal of Field Archaeology* 44, 126–146.
- Olson, B. R. i dr. (2013): The Tel Akko Total Archaeology Project (Akko, Israel): Assessing the Suitability of Multi-Scale 3D Field Recording in Archaeology. *Journal of Field Archaeology* 38, 244–262.
- Oštir, K., Mulahusić, A. (2014): *Daljinska istraživanja, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo*.
- Pacheco-Ruiz, R. i dr. (2018): 4D Modelling of Low Visibility Underwater Archaeological Photogrammetry in the Bulgarian Black Sea. *Journal of Archaeological Science* 100, 120–129.
- Peng, F. i dr. (2017): The Application of SfM Photogrammetry Software for Extracting Artifact Provenience from Paleolithic Excavation Surfaces. *Journal of Field Archaeology* 42:326–336.
- Pérez-García, J. L. i dr. (2019): Photogrammetric Studies of Inaccessible Sites in Archaeology: Case Study of Burial Chambers in Qubbet el-Hawa (Aswan, Egypt). *Journal of Archaeological Science* 102, 1–10.
- Pierdicca, R. (2018): Mapping Chimú's Settlements for Conservation Purposes Using UAV and Close Range Photogrammetry: The Virtual Reconstruction of Palacio Tschudi, Chan Chan, Peru. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 8, 27–34.
- Polo, M. i dr. (2017): Metric Properties of Sundials Using 3-D Models from Digital Photography. *Historical Archaeology* 51, 557–562.
- Rajković i dr. (2011): Digitalni model 3d terena, *Rudarski radovi, Bor*, 2011, br. 3, str. 25-40
- Rana, S. (Ed.) (2004): *Topological Data Structures for Surfaces: An Introduction for Geographical Information Science*, Wiley, New York, 214.
- Redovniković, L. i dr. (2022.): Mogućnosti primjene jeftinog GNSS senzora za geodetsku izmjeru, *Zbornik radova, 15. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, Opatija 2022*.
- Roosevelt, C. H. i dr. (2015): Excavation Is Destruction Digitization: Advances in Archaeological Practice. *Journal of Field Archaeology* 40, 325–346.
- Schneider, B. (2001): Phenomenon-based Specification of the Digital Representation of Terrain Surfaces, *Transactions in GIS*, 5(1), 39–52.
- Strasser, T. F. i dr. (2018): Palaeolithic Cave Art from Crete, Greece. *Journal of Archaeological Science: Reports* 18, 100–108.

Štuhec, S. i dr. (2019): Modelling Building Costs from 3D Building Models: Estimating the Construction Effort from ImageBased Surface Models of Dry-Stone Shepherd Shelters (Kras, Slovenia). *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 42, 691–698.

Timbrell, L. i Plomp K.A. (2019): Using the Shape of the Basicranial Portion of the Temporal Bone to Distinguish between Relatively Closely-Related Human Populations. *Journal of Archaeological Science: Reports* 26, 101885.

Tomić, H. i dr. (2009): Specifičnosti modela prostora za izradu karata buke, *Građevinar* 61, 4, 331-338

Turpin, S. A. i dr. (1979): Stereophotogrammetric Documentation of Exposed Archaeological Features. *Journal of Field Archaeology* 6, 329–337.

Weibel, R. i Heller, M. (1991): Digital terrain modeling, In: Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W. (Eds.), *Geographical Information Systems*, Vol. 1, Longman, London, 269–297.

Zhu, H. i dr. (2001): Triangulated irregular network optimization from contour data using bridge and tunnel edge removal, *International Journal of Geographical Information Science*, 15(3), 271–286.

Zimmer, B. i dr. (2018): Using Differential Structure-from-Motion Photogrammetry to Quantify Erosion at the Engare Sero Footprint Site, Tanzania. *Quaternary Science Reviews* 198, 226–241.

POPIS URL-OVA

- URL 1: <https://geozavod-st.hr/djelatnosti/3d-point-cloud/> , (15.1.2024.).
- URL 2: <https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/podaci-topografske-izmjere/168> , (15. 1. 2024.).
- URL 3: <https://www.nga.mil/ProductsServices/TopographicalTerrestrial/Pages/DigitalTerrainElevationData.aspx> , (15.1. 2024.).
- URL 4: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_07_65_1616.html , (15. 1. 2024.).
- URL 5: <https://geometriks.rs/3d-modeli-razumevanje-i-primena-u-geodeziji/> , (7.6.2024.).
- URL 6: <https://www.insta360.com/about> , (22.12.2023.).
- URL 7: <https://www.insta360.com/> (22.12.2023.) .
- URL 8: <https://www.insta360.com/product/insta360-oners/1inch-360> (18.01.2023.).
- URL 9: <https://www.redcatch.at/rtkcamera/> (22.12.2023.).
- URL 10: <https://redcatch.freshdesk.com/support/solutions/articles/103000084215-rtk-camera-user-manual-read-me-> , (22.12.2023.).
- URL 11: <http://www.arcgeo.hr/usluge/emlid/reach-rs2/> , (15.1.2024.).
- URL 12: <https://www.apglos.eu/gnss/emlid/> , (15.1.2024.).
- URL 13: <https://topodrone.com/product/gnss/190/253/1051/> , (15.1.2024.).
- URL 14: <https://www.caddy-geomatics.de/hr/proizvod/pokretni-geodet-koji-pokre%C4%87e-emlid-doseg-m2/> , (15.1.2024.).
- URL 15: <https://blog.emlid.com/reach-m2-is-here/> , (12.1.2024.).
- URL 16: <https://blog.emlid.com/emlid-studio-ppk-in-a-few-steps/> , (12.1.2024.).
- URL 17: <https://docs.emlid.com/emlid-studio/> , (13.1.2024.).
- URL 18: <https://geocentar.com/proizvod/gnss-topcon-hiper-sr/> , (15.1.2024.).
- URL 19: <https://eu.sokkia.com/sokkia-care-products/cygnus-reflectorless-total-station-2ls-group> , (14.1.2024.).
- URL 20: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_1_en.pdf , (14.1.2024.)
- URL 21: <https://geocentar.com/proizvod/agisoft-metashape-fotogrametrijski-program/> , (15.1.2024.).
- URL 22: <https://cpu.userbenchmark.com/Compare/Intel-Core-i5-9600K-vs-Group-/4031vs10> , (15.1.2024.).
- URL 23: <https://github.com/exiftool/exiftool> , (7.6.2024.).

POPIS SLIKA

Slika 1.1 Prikaz DSM-a, DTM-a i nDSM-a i njihovih razlika.....	3
Slika 3.1 Insta360 logo	13
Slika 3.2 Insta360 ONE RS kamera (lijevo) i selfie štap (desno)	14
Slika 3.3 RTK camera app logo.....	15
Slika 3.4 Početni RTK camera aplikacije.....	16
Slika 4.1 Emlid Reach RS2	17
Slika 4.2 Emlid Reach M2.....	18
Slika 4.3 Tijek rada Emlid Studio softvera.....	19
Slika 5.1 Lokacija terenske izmjere.....	22
Slika 5.2 Topcon Hiper SR GNSS uređaj.....	23
Slika 5.3 Sokkia 2LS Cygnus totalna stanica	24
Slika 5.4 Snimanje terena s GNSS uređajem	26
Slika 5.5 Snimanje terena s totalnom stanicom.....	27
Slika 5.6 Snimanje terena s Insta360 kamerom.....	28
Slika 5.7 Snimljene karakteristične točke parkinga.....	28
Slika 5.8 Agisoft Metashape.....	29
Slika 5.9 Učitane fotografije u Agisoftu.....	30
Slika 5.10 Align photos postavke	31
Slika 5.11 Dobiven rezultat nakon align photos.....	31
Slika 5.12 Postavke za izgradnju mesha.....	33
Slika 5.13 Dobivanje mesha na prijenosnom računalu.....	34
Slika 5.14 Dobiveni mesh na stolnom računalu	35
Slika 5.15 Marker dodjeljeni fotografijama kao zastavice.....	35
Slika 5.16 Dobivena točnost nakon dodavanja markera.....	36
Slika 5.17 Logo exiftool softvera	36
Slika 5.18 Metapodaci otvoreni pomoću exiftool softvera.....	37
Slika 5.19 Kvaliteta fotografija	38
Slika 5.20 Oblak točaka.....	39
Slika 5.21 Filter by confidence.....	39
Slika 5.22 Teksturiran model.....	40
Slika 5.23 Žićani model.....	40
Slika 5.24 Čvrsti model	41
Slika 5.25 Dobivena točnost modela	41

<u>Slika 5.26 Dobiveni DEM</u>	<u>42</u>
--------------------------------------	-----------

POPIS TABLICA

<u>Tablica 2.1 Odabrani pojmovi i definicije upotrebljavani u domeni digitalnog modeliranja Zemljine površine(Maltarski, 2018)</u>	<u>4</u>
<u>Tablica 2.2 Usporedba različitih metoda prikupljanja podataka za digitalno modeliranje terena (Li i dr. 2005)</u>	<u>5</u>
<u>Tablica 2.3 Prednosti i mane GRID I TIN strukture digitalnih modela (El-Sheimy i dr., 2005)</u>	<u>8</u>
<u>Tablica 3.1 Specifikacije Insta360 ONE RS kamere (URL8)</u>	<u>14</u>
<u>Tablica 4.1 Specifikacije Emlid Reach RS2 prijemnika (URL11)</u>	<u>17</u>
<u>Tablica 4.2 Specifikacije Emlid Reach M2 prijemnika (URL 13)</u>	<u>18</u>
<u>Tablica 5.1 Koordinate točaka geodetske osnove</u>	<u>23</u>
<u>Tablica 5.2 Specifikacije Topcon Hiper SR GNSS uređaja (URL19)</u>	<u>24</u>
<u>Tablica 5.3 Tehničke specifikacije mjerne stanice Topcon Cygnus 2LS (URL20)</u>	<u>25</u>
<u>Tablica 5.4 Koordinate karakterističnih točaka</u>	<u>26</u>
<u>Tablica 5.5 Tehničke specifikacije stolnog i prijenosnog računala(URL23)</u>	<u>32</u>
<u>Tablica 5.6 Usporedba dobivenih rezultata</u>	<u>42</u>

ŽIVOTOPIS



OSOBNJE INFORMACIJE Anamaria Radović

 Trogir 21220, Republika Hrvatska



 radovic.anamaria@gmail.com

 Spol Žensko |  Datum rođenja 16/09/1997 |  Državljanstvo Hrvatsko

RADNO ISKUSTVO

Disa d.o.o., Split
Administrativni djelatnik (2024. -)

Graditeljsko-geodetska tehnička škola, Split
Student pripravnik (2021.)

Bows and arrows, Trogir
Studentski posao, Djelatnik u streličarskom kampu i suvenimici (2018. - 2023.)

Privatni instruktor, Trogir
Studentski posao, Pomoć pri učenju (2017.-)

Hotel De Chiudi, Trogir
Studentski posao, Radnik na recepciji (2016.)

OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

Magistra geodezije i geoinformatike, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Diplomski studij (2021. - 2024.)

Pedagoško- psihološko-didaktičko-metodička izobrazba, cjeloživotno učenje, Filozofski fakultet u Osijeku (2021.)

Sveučilišna prvostupnica inženjerka geodezije i geoinformatike, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, Preddiplomski studij (2016. - 2021.)

OSOBNJE VJEŠTINE

Materinski jezik Hrvatski

Ostali jezici	RAZUMJEVANJE		GOVOR		PISANJE
	Slušanje	Čitanje	Govorna interakcija	Govorna produkcija	
Engleski jezik	C1	C1	C1	C1	C1
Talijanski jezik	A1	A1	A1	A1	A1

Komunikacijske vještine ▪ Primjeren način komuniciranja u radu s klijentima.

Digitalne vještine

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

Vozačka dozvola

B