

Dobivanje prometnih geoinformacija zasnovano na fuziji GNSS podataka i video sadržaju

Kotromanović, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:830631>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Luka Kotromanović

DOBIVANJE PROMETNIH GEOINFORMACIJA ZASNOVANO
NA FUZIJI GNSS PODATAKA I VIDEO SADRŽAJA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2021.

Zagreb, 10. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Prometni geoinformacijski sustavi**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6108

Pristupnik: **Luka Kotromanović (0083209225)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**


Zadatak: **Dobivanje prometnih geoinformacija zasnovano na fuziji GNSS podataka i video sadržaju**

Opis zadatka:

Objasniti postupak dodjeljivanja geografskih koordinata video zapisu kao i mogućnosti integracije putanje snimanja video zapisa na različitim GIS slojevima podataka. Presentirati na primjeru snimljenih video sadržaj uporabom zrakoplova mogućnosti kreiranja zasebnog sloja podataka (skupom točkastih objekata postavljenih u prostoru) georeferenciranog videa te mogućnosti povezivanja je s drugim GIS slojevima nad kojima je moguće izvršavati različite upite. Posebice analizirati visinsku komponentu georeferenciranog video sadržaja (točkastih objekata) jer je najviše izložena pogrešci pozicioniranja, a onda i što se može popraviti fuzijom preciznih GNSS podataka u procesu georeferenciranja. Dakle, pokazati da je dobivanje prometnih geoinformacija na temelju video sadržaja dobivenog s objekata u pokretu usko povezana s pozicioniranjem video zapisa u odnosu na trajektoriju (u sve četiri dimenzije), te da omogućava uspoređivanja veličina koje se promatraju u odnosu na dobivenu trajektoriju.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



doc. dr. sc. Damir Budimir

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**DOBIVANJE PROMETNIH GEOINFORMACIJA ZASNOVANO
NA FUZIJI GNSS PODATAKA I VIDEO SADRŽAJA**

**OBTAINING TRAFFIC GEOINFORMATION BASED ON THE
FUSION OF GNSS DATA AND VIDEO CONTENT**

Mentor: doc.dr.sc. Damir Budimir

Student: Luka Kotromanović

JMBAG: 0083209225

Zagreb, rujan 2021.

Zahvale

Veliku zahvalnost dugujem svom mentoru, profesoru doc. dr. sc. Damiru Budimiru na pruženoj prilici i kvalitetnim i pravovremenim savjetima pri izradi diplomskog rada. Ne smijem ne spomenuti kolegu Matka Vukovića koji mi je u ime geodetske tvrtke GEO DRONE pružio svu potrebnu pomoć prilikom izrade praktičnog dijela rada. Budući da ovime završava moje studiranje na diplomskom studiju, koristim priliku zahvaliti svim ostalim profesorima i asistentima, kao i kolegama studentima na srdačnoj susretljivosti i izuzetnoj suradnji. Ipak, najveće zahvale pripadaju Onome koji na dobro surađuje sa svima koji ga ljube, mojoj obitelji, supruzi i kćeri zbog bezrezervne ljubavi, podrške i pomoći kada je bilo najpotrebnije.

Sažetak

Naslov: Dobivanje prometnih geoinformacija zasnovano na fuziji GNSS podataka i video sadržaja

Kao odgovor na zahtjev današnjeg svijeta za što bržim i efikasnijim prikupljanjem što veće količine prostornih podataka neprestano se razvijaju nove metode. Georeferencirani video predstavlja brzi i efikasni način prikupljanja statičkih i dinamičkih podataka u prometne svrhe, dok aerofotogrametrija omogućava prikupljanje velike količine svih podataka od interesa s visokom razinom točnosti, ali bez dinamičkih obilježja. Aerofotogrametrijska metoda znatno je ubrzala prikupljanje podataka prelaskom sa zrakoplova specijaliziranih za te svrhe na bespilotne letjelice. U ovom radu detaljno je predložen cjelokupan proces aerofotogrametrijskog snimanja, a za predmet snimanja odabrana je lokalna cesta. Razlog tome je prikupljanje prometnih geoinformacija koje bi se mogle nadodati georeferenciranom videu, te posljedično istaknuti potencijalne prednosti oba pristupa prikupljanja podataka u prometne svrhe. Primjerice, prednost aerofotogrametrijskog prikupljanja podataka nad georeferenciranim videom su visokoprecizni GNSS podaci koji se koriste za pozicioniranje bespilotne letjelice u letu, a to omogućava različite predstave snimljenog područja s visokom razinom točnosti. Na tim predstavama omogućena su trodimenzionalna mjerenja, odnosno određivanja dimenzija i udaljenosti svakog snimljenog detalja s ciljem evidencije stanja cesta, što je jedna od čestih primjena georeferenciranog videa.

Ključne riječi: georeferencirani video; geoinformacije; GNSS; aerofotogrametrija; bespilotna letjelica

Summary

Title: Obtaining traffic geoinformation based on the fusion of GNSS data and video content

In response to the demand of today's world for faster and more efficient collection of as much spatial data as possible, new methods are constantly being developed.

Georeferenced video is a fast and efficient way to collect dynamic traffic data, while aerial photogrammetry allows the collection of a large amount of all data of interest with a high level of accuracy, but without dynamic features. The aerial photogrammetric method has significantly accelerated data collection by switching from aircraft specialized for this purpose to drones. In this paper, the entire process of aerial photogrammetric surveying is presented in detail, and the local road was chosen as the subject of the survey. The reason for this is the collection of traffic geoinformation that could be added to the georeferenced video, and consequently highlight the potential benefits of both approaches to collecting data for traffic purposes. For example, the advantage of aerial photogrammetric data collection over georeferenced video is the high-precision GNSS data used to position the drone in flight, and this allows for different representations of the surveyed area with a high level of accuracy. In these performances, three-dimensional measurements are enabled, respectively determining the dimensions and distances of each recorded detail with the aim of recording the condition of roads, which is one of the frequent applications of georeferenced video.

Keywords: georeferenced video; geoinformation; GNSS; aerial photogrammetry; drone

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1 UVOD..... | 3 |
| 2 PROSTORNI PODACI I GEOINFORMACIJSKI SUSTAV..... | 6 |
| 2.1 Prostorni podaci..... | 6 |
| 2.1.1 Prikaz i tip podataka..... | 6 |
| 2.1.2 Prikupljanje podataka..... | 7 |
| 2.2 Geoinformacijski sustav (GIS)..... | 9 |
| 2.2.1 Komponente GIS-a..... | 10 |
| 2.2.2 Motivacija za GIS i nedostaci sustava..... | 13 |
| 2.2.3 Primjena GIS-a..... | 14 |
| 3 GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SUSTAV (GNSS)..... | 15 |
| 3.1 Zemljine orbite i efemeride satelita..... | 16 |
| 3.2 Globalni pozicijski sustav (GPS)..... | 18 |
| 3.3 GLONASS..... | 20 |
| 3.4 Galileo..... | 21 |
| 3.5 BeiDou..... | 22 |
| 3.6 Princip rada GNSS-a..... | 24 |
| 3.7 Tehnike opažanja GNSS-om..... | 26 |
| 3.7.1 Tehnike apsolutnog pozicioniranja..... | 27 |
| 3.7.2 Tehnike relativnog pozicioniranja..... | 27 |
| 3.8 GNSS pogreške..... | 29 |
| 4 GEOREFERENCIRANI VIDEO..... | 31 |
| 4.1 Sustav za prikupljanje podataka pokretnim osjetilima..... | 32 |
| 4.2 Bespilotna letjelica kao pokretno osjetilo..... | 34 |
| 4.2.1 Razvoj bespilotnih letjelica..... | 35 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.2.2 | Bespilotne letjelice za aerofotogrametriju..... | 36 |
| 5 | AEROFOTOGRAMETRIJSKO SNIMANJE CESTE..... | 42 |
| 5.1 | Cesta za aerofotogrametrijsko snimanje..... | 42 |
| 5.2 | Pripremni radovi..... | 45 |
| 5.3 | Let..... | 50 |
| 5.4 | Obrada prikupljenih podataka..... | 52 |
| 5.4.1 | Princip rada softvera Pix4Dmapper..... | 53 |
| 5.4.2 | Oblak točaka i teksturirani plošni model..... | 54 |
| 5.4.3 | Ortofoto prikaz..... | 55 |
| 5.4.4 | Postupak obrade prikupljenih podataka snimljene ceste..... | 56 |
| 6 | REZULTATI AEROFOTOGRAMETRIJSKOG SNIMANJA I USPOREDBA S GEOREFERENCIRANIM VIDEOM..... | 70 |
| 6.1 | Pogodnosti sirovih fotografija dobivenih snimanjem iz zraka..... | 70 |
| 6.2 | Pogodnosti ortofoto prikaza..... | 75 |
| 6.3 | Pogodnosti oblaka točaka..... | 78 |
| 6.4 | Pogodnost teksturiranog plošnog modela..... | 82 |
| 6.5 | Usporedba aerofotogrametrijskog snimanja i georeferenciranog videa..... | 84 |
| 7 | ZAKLJUČAK..... | 87 |
| | LITERATURA..... | 89 |
| | POPIS SLIKA..... | 91 |
| | POPIS TABLICA..... | 94 |

1 UVOD

Prostorni podaci kao informacije povezane s položajem u prostoru, odnosno informacije s prostornom komponentom (referencom) predstavljaju standard današnjeg društva. Gotovo da nema gospodarske grane i znanstvene discipline koja ne zahtijeva prostornu komponentu za podatke kojima se služi. Također su i u svakodnevnoj civilnoj upotrebi, a iz svega toga proizlazi da je zahtjev današnjeg svijeta što brže i efikasnije prikupljanje što veće količine prostornih podataka.

Kao odgovor na taj zahtjev stalno se pojavljuju nove tehnologije prikupljanja podataka, a jedna od tih obrađena je u ovom rada. Primjer nove tehnologije koja se koristi za prikupljanje prometnih podataka je georeferencirani video gdje je video kao novi sloj u strukturi geoinformacijskog sustava (GIS) nositelj dinamičkih podataka, ali i „svjedok promjena“ u prostoru. Georeferencirani video upravo je brzi i efikasni način prikupljanja prostornih podataka u prometne svrhe. Prometnica se sa svojim popratnim sadržajem prikazuje iz perspektive vozača, pa se prometne geoinformacije dobivaju vizualnim pregledom ili primjenom računalnog vida. Pritom su prostorne komponente geoinformacija pretežito relativne, tj. položaj jedne geoinformacije određuje se u odnosu na drugu.

Aerofotogrametrija, geodetska metoda koja podrazumijeva posebna znanja i tehnike kako bi se iz snimaka iz zraka prikupili podaci s preciznom prostornom komponentom, metoda je koja je obrađena u ovom radu za potrebe usporedbe s georeferenciranim videom. Snimke iz zraka se prikupljaju zrakoplovom ili bespilotnom letjelicom koji prilikom snimanja lete unaprijed definiranom rutom, koja se naziva trajektorija leta. Kvaliteta dobivenih geoinformacija ovisi o kvaliteti pozicioniranja letjelice tijekom leta. Taj postupak se najčešće obavlja geodetskom metodom zvanom GNSS, što je skraćenica za globalni navigacijski satelitski sustav. S obzirom na sofisticiranost opreme koja se koristi, promjenjiva je točnost i preciznost pozicioniranja dobivenog GNSS metodom. Povećanjem točnosti pozicioniranja, podaci dobiveni ovom metodom postaju kvalitetniji i mogu se upotrebljavati za specifičnije svrhe.

Ovaj rad podijeljen je u šest cjelina (poglavlja):

1. Uvod
2. Prostorni podaci i GIS
3. Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS)
4. Georeferencirani video
5. Aerofotogrametrijsko snimanje ceste
6. Rezultati aerofotogrametrijskog snimanja i usporedba s georeferenciranim videom
7. Zaključak

Drugo poglavlje opisuje pojam prostornog podatka, odnosno prostornu komponentu podatka. Osim izraza prostorni, koristi se još i georeferencirani ili kraće geopodatak ili geoinformacija. Skup tih podataka s popratnom softverskom podrškom čini geoinformacijski sustav, skraćeno GIS. Pobrajane su funkcionalnosti i dobrobiti GIS-a koji je danas neizostavan dio gotovo svake gospodarske grane i znanstvene discipline.

U trećem poglavlju pojašnjen je pojam koji prožima cijeli ovaj rad - GNSS ili globalni navigacijski satelitski sustav. Odnosi se na skup satelitskih sustava u svijetu, čije su osnovne funkcije pozicioniranje i navigacija. Najvažniji dio poglavlja odnosi se na detaljno pojašnjenje osnovnih funkcija sustava, s naglaskom na princip rada i tehnike opažanja GNSS-a.

U četvrtom poglavlju pod nazivom *Georeferencirani video* pobliže je opisan je ovaj pojam te je navedena njegova svrha. Ova tehnika prikupljanja geoinformacija u prometne svrhe uobičajeno koristi automobil kao pokretno osjetilo, a u sklopu ovog rada ispitana je mogućnost korištenja bespilotne letjelice umjesto automobila. Pritom je pojašnjen pojam, povijesni razvoj i rad bespilotne letjelice na primjeru one korištene za potrebe ovog rada.

Poglavljje pod nazivom *Aerofotogrametrijsko snimanje ceste* predstavlja geodetsku metodu aerofotogrametrijskog prikupljanja geoinformacija, i to tako da je prvo obrađena teoretska podloga metode. Potom je dan praktični primjer na način da je dio lokalne ceste snimljen ovom metodom u svrhu dobivanja prometnih geoinformacija. Također je predstavljen softver za obradu prikupljenih geoinformacija i njegov princip rada kroz postupak obrade.

Rezultati aerofotogrametrijskog snimanja i mogućnosti njihove primjene u prometne svrhe detaljno su predstavljani u šestom poglavlju ovog rada. Dobiveni rezultati poslužili su kao podloga za usporedbu ove metode s georeferenciranim videom kako bi se naglasile mogućnosti fuzije podataka.

Upravo je ta usporedba zanimljivost i izazov ovog rada, a posljedica usporedbe su prednosti i nedostaci korištenja aerofotogrametrijske metode u odnosu na georeferencirani video te osvrt na mogućnosti izrade modela integracije i fuzije tih podataka. To je ujedno cilj ovog rada, a potencijalne prednosti i mogućnosti bile su motivacija za ovo istraživanje.

2 PROSTORNI PODACI I GEOINFORMACIJSKI SUSTAV

2.1 Prostorni podaci

Podatak je pojam koji ima mnogo definicija, a najjednostavnije se definira kao poznata ili pretpostavljena činjenica na osnovu koje se oblikuje informacija. Oblikovanje informacije pretpostavlja obradu podataka. Ako se činjenici na osnovu koje se oblikuje informacija odredi položaj, odnosno ako se podatku dodijeli prostorna komponenta, dobije se prostorni podatak.

2.1.1 Prikaz i tip podataka

Stvarnost koja nas okružuje obiluje bogatstvom različitih oblika pa njezin prikaz za različite stručnjake odavno predstavlja pravi izazov. Ti oblici stoljećima su interpretirani i prikazivani (vizualizirani) na analognim kartama koje su donedavno bile glavno pomoćno sredstvo percepcije, razumijevanja i orijentacije u prostoru. Razvojem digitalizacije analogni prikazi pali su u drugi plan, a zamijenili su ih planovi nove generacije - digitalni.

Glavna podjela oblika koji nas okružuju je na diskretne (objekti) i kontinuirane (reljef). Iz tog razloga prostorni podaci podijeljeni su u dvije vrste (tipa): vektorski i rasterski.¹

Vektorski tip podataka koristi tri osnovna prostorna elementa kojim prikazuje stvarnost, a to su: točka, linija i poligon (područje). Pomoću njih diskretne oblike (objekte) definira točkama na mjestima na kojima objekt mijenja oblik (lomne točka ili verteksi), dok lomne točke povezuje linijom. Zatvorena linija, odnosno izlomljena linija kojoj je početna i završna točka identična zove se poligon ili područje. Za prikaz kontinuiranih oblika vektorski tip podataka koristi linije, primjerice za prikazivanje visine ili drugih nepromjenjivih vrijednosti (izolinije).

¹ Tutić, D. Vučetić, N. Lapaine, M.: *Uvod u GIS*, Predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet; Zagreb, HR;2002.

Rasterski tip podataka interpretira oblike koji nas okružuju kroz pravilnu mrežu ćelija (piksela) jednakog oblika, te svakoj ćeliji pridružuje jednu vrijednost koja predstavlja atribut za područje te ćelije. Pozicija ćelije određena je retkom i stupcem, a njezina veličina određuje razlučivost samog rastera (veća ćelija manja razlučivost).²

Jedan i drugi tip podataka imaju prednosti i nedostatke. Prednost rasterskog tipa podataka jest što zapisuje vrijednosti svih točaka područja koji prikazuje, ali zato takvi podaci zahtijevaju veću količinu memorije za pohranu. Glavna prednost vektorskog tipa podataka je što preciznije prikazuje vektorsku geometriju, posebno linijske objekte, npr. granice.

2.1.2 Prikupljanje podataka

Kao što je spomenuto u uvodu ovog rada, zahtjev današnjeg svijeta je što brže i efikasnije prikupljanje što veće količine prostornih podataka. Kroz povijest su razvijane razne metode prikupljanja prostornih podataka, ali najveći razvoj događa se naglim razvojem digitalne tehnologije. Prikupljanje prostornih podataka zadaća je kojom se bavi više znanstvenih disciplina, što znači da ova problematika zahtijeva multidisciplinarni pristup. Primjerice, geodezija koja se prema definiciji bavi izmjerom i prikazom Zemljine površine zadužena je za prikupljanje statičkih podataka, dok se za prometne znanosti veže prikupljanje dinamičkih podataka o prometnim mrežama i tokovima.

Jedan od načina prikupljanja dinamičkih prometnih podataka jest uz pomoć georeferenciranog videa. Ova metoda uključuje integraciju više tehnologija, i to sustave satelitskog pozicioniranja, bežične komunikacije te geografske informacijske sustave. Osnovni princip sastoji se u tome da se vozilo kreće po prometnoj mreži i prikuplja podatke u prometni centar. Kada se govori o prikupljanju statičkih prostornih podataka, među visokoprecizne geodetske metode mjerenja spadaju: tahimetrija, nivelman, fotogrametrija (terestrička i aerofotogrametrija) i GNSS. Prikupljanje podataka ovim metodama naziva se primarno prikupljanje podataka, jer se do njih dolazi neposredno, tj. mjerenjem. Mjerenje podrazumijeva skup postupaka kojima se

² Tutić, D. Vučetić, N. Lapaine, M.: *Uvod u GIS*, Predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet; Zagreb, HR;2002.

matematički određuje vrijednost nekom predmetu (objektu) u prirodi. Mjerenjem se podaci pozicioniraju, tj. određuje im se položaj i visina. Numeričke vrijednosti kojima se izražava pozicioniranje su koordinate. One podrazumijevaju da se nalaze u uređenom sustavu (koordinatnom) gdje svaka točka dobiva pripadajuće koordinate.³

S obzirom na to da je Zemlja zbog svog nepravilnog oblika, a radi matematičkih proračuna, aproksimirana rotacijskim elipsoidom, svjetski (globalni) koordinatni sustav sadrži elipsoidne (geodetske) koordinate - elipsoidna širina, dužina i visina. Elipsoidna širina je kut koji zatvara normala u nekoj točki s ravninom ekvatora, elipsoidna dužina je kut koji zatvara ravnina meridijana promatrane točke s proizvoljno određenom početnom (0 - nultom) ravninom meridijana, a elipsoidna visina je najkraća udaljenost točke na fizičkoj površini Zemlje od plohe elipsoida. Ishodište globalnog koordinatnog sustava nalazi se u centru Zemljinih masa (centar elipsoida), X os prolazi sjecištem ravnine ekvatora i nultog meridijana, Z os se poklapa s osi rotacije elipsoida, a Y os je okomita na osi X i Z.

Globalni koordinatni sustav koji je najviše u uporabi je World Geodetic System iz 1984. godine, skraćeno WGS84. Razvijen je od strane Ministarstva obrane Sjedinjenih Američkih Država, primarno za vojne potrebe, da bi kasnije prešao u civilnu uporabu. Ishodište koordinatnog sustava WGS 84 nalazi se u središtu mase Zemlje, os Z prolazi središtem sjevernog pola, os X leži u ekvatorijalnoj ravnini i prolazi srednjim Greenwich- meridijanom, a os Y okomita je na osi X i Z i usmjerena je na istok. Osim WGS84, razvijeni su i drugi globalni koordinatni sustavi (npr. GRS80), ali i drugi koordinatni sustavi određeni za potrebe pojedine države ili skupine država, kojima su prilagođeni svojim datumom. Datum je skup parametara kojima je koordinatni sustav "vezan", odnosno referenciran za Zemlju, a koji definiraju položaj ishodišta koordinatnog sustava, mjerilo i orijentaciju koordinatnih osi.

Za našu državu, odlukom Vlade Republike Hrvatske od 4. kolovoza 2004., uveden je novi službeni položajni referentni koordinatni sustav Republike Hrvatske pod nazivom Hrvatski Terestrički Referentni Sustav za epohu 1995.55 - skraćeno HTRS96. Karakteristike ovog sustava su sljedeće:

³ Budimir, D. *Metoda procjene prostorno-vremenskih indikatora javnog gradskog prijevoza zasnovana na pokretnim osjetilima*, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, HR;2016.

- datum je ETRS89,
- projekcija preslikavanja je poprečna Mercatorova (konformna, poprečna, cilindrična),
- elipsoid je GRS80,
- srednji meridijan je 16°30,
- projekcija ekvatora predstavlja os E (istočno),
- projekcija srednjeg meridijana os N (sjeverno),
- da bi se izbjegle negativne ordinate dodaje se svim ordinatama 500 000 metara, odnosno os E ima koordinatu E = 500 000 metara.

Osim neposrednog prikupljanja podataka, podaci se prikupljaju i posredno, i to pomoću karata i drugih dokumenata. Takvo prikupljanje podataka naziva se sekundarno. Za rasterske podatke koristi se tehnika skeniranja, dok je prikupljanje vektorskih podataka složenija stvar. Tehnike digitalizacije pomoću tableta, ekranska digitalizacija i stereofotogrametrija kao neke od metoda koje omogućuju prikupljanje vektorskih podataka u prvom koraku uspostavljaju relaciju između podloge za vektorizaciju i referentnog koordinatnog sustava. To se omogućuje pomoću nekoliko kontrolnih točaka poznatih koordinata. Točnost georeferenciranja ima važnu ulogu u pripremi podloge za vektorizaciju zato što utječe na točnost geoprostornih podataka i rezultata njihove analize.⁴

2.2 Geoinformacijski sustav (GIS)

Pojavom računala pojavljuju se informacijski sustavi koji prikupljaju, pohranjuju, čuvaju, obrađuju, i isporučuju potrebne informacije na način da su dostupne svim korisnicima. Ukoliko se informacijama doda prostorna komponenta, postaju geoinformacije, a sustav postaje geoinformacijski. Američka tvrtka Esri, svjetski lider u softveru i tehnologijama za modeliranje i kartiranje unutar geoinformacijskog sustava (u daljnjem tekstu: GIS-a) osnovana davne 1969., definira GIS kao sustav koji stvara, upravlja, analizira i kartira sve vrste podataka na način da ih povezuje s

⁴ Budimir, D. *Metoda procjene prostorno-vremenskih indikatora javnog gradskog prijevoza zasnovana na pokretnim osjetilima*, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, HR;2016.

kartama, integrirajući podatke o lokaciji (gdje se nalaze) sa svim vrstama opisnih informacija (kakve su).

Ronald Francis Abler, američki geograf, slikovito je definirao GIS kao istovremeno teleskop, mikroskop, računalo, fotokopirni aparat regionalne analize i sinteze prostornih podataka.

2.2.1 Komponente GIS-a

Temeljne komponente GIS-a prikazane su na sljedećoj slici:



Slika 1 Temeljne komponente GIS-a⁵

Hardver predstavlja fizičku računalnu opremu, i dijeli se u dvije skupine - računala i ostali uređaje. Računala se, s obzirom na veliku količinu podataka koju najčešće zahtijeva GIS, dalje dijele na terenska (namijenjena prikupljanju podataka

⁵ Lacković, P.: *Primjena GIS-a u prostornom planiranju - određivanje optimalne lokacije novih studentskih domova u Gradu Zagrebu*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet; Zagreb, HR;2020.

na terenu) i velika računala ili radne stanice. Radne stanice su slične klasičnim računalima, ali ih svojim performansama višestruko nadmašuju što ih čini pogodnima za primjenu u GIS-u. Velika računala su višeprosorska računala velikih brzina rada i velikog memorijskog prostora koja služe kao serveri. Zbog velikih količina podataka nužna su za GIS, a najpogodnija su za korištenje u institucijama gdje više ljudi radi nad jednim skupom podataka istovremeno ⁶.

U ostale hardverske uređaje ubrajaju se:

- GPS prijemnik, mjerna stanica, digitalna fotogrametrijska kamera, bespilotna letjelica kao geodetski uređaji za prikupljanje podataka na terenu,
- različite vrste skenera i ručni digitalizatori kao uređaji za digitalizaciju,
- CD, DVD, Blu-ray, tvrdi diskovi (vanjski), USB, SD kartice kao uređaji za spremanje podataka i
- monitori, pisari, ploteri, projektori i mrežni uređaji kao uređaji za prikaz i ispis podataka.⁷

Softver ili programska podrška je skup programa (naredbi) i podataka koji su neophodni za ispravan rad računala, radi izvršavanja GIS operacija koje omogućuju upravljanje podacima, prostorne analize i vizualizaciju. Najčešća podjela softverskih komponenti je na⁸:

- alate za unos i manipulaciju prostornih podataka,
- alate za prostorne analize i vizualizaciju,

⁶ Tutić, D. Vučetić, N. Lapaine, M.: *Uvod u GIS*, Predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet; Zagreb, HR;2002.

⁷ Lacković, P.: *Primjena GIS-a u prostornom planiranju - određivanje optimalne lokacije novih studentskih domova u Gradu Zagrebu*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet; Zagreb, HR; 2020.

⁸Ibid.

- korisničko grafičko sučelje (GUI – Graphic User Interface) za jednostavan pristup alatima i
- sustav upravljanja bazom podataka (DBMS – Database Management System).

Brojni su komercijalni (ESRI ArcGIS, MapInfo, IDRISI, itd.) i otvoreni, slobodni softveri (QGIS, GRASS GIS, SAGA, itd.) razvijeni specijalno u svrhu GIS-a, odnosno za provođenje osnovnih metoda GIS-a koji su našli široku primjenu kod korisnika.

Unutar GIS-a postoji šest osnovnih *metoda* koje ga prožimaju i omogućuju da sve komponente funkcioniraju, a dijele se na:

- prikupljanje podataka,
- pohranu podataka,
- upravljanje podacima,
- dohvat podataka,
- analizu podataka i
- prikaz podataka.

Metode uključuju definirane standarde, procedure i smjernice kojih se potrebno pridržavati kako bi se osigurala funkcionalnost, učinkovitost i objektivnost sustava.

Komponenta *podaci* odnosi se na prostorne podatke, a o tome je detaljnije napisano u potpoglavlju ovog rada po nazivom *2.1. Prostorni podaci*.

Ipak je najvažnija komponenta GIS-a ona pod nazivom *ljudski resursi*, jer najmoderniji i najbolji hardver i softver za GIS nemaju učinka bez adekvatnih stručnjaka koji njime upravljaju. Stručnjaci se dijele s obzirom na dio posla koji obavljaju unutar GIS-a, od prikupljanja podataka, pregledavanja i unosa istih, manipulacije podacima do održavanja i razvoja sustava. Za kvalitetnu provedbu projekata temeljenih na GIS-u potreban je širi krug stručnjaka, uključujući korisnike

koji ga primjenjuju u svakodnevnom poslu (informatičari, planeri, programeri, analitičari, itd.).⁹

2.2.2 Motivacija za GIS i nedostaci sustava

Brojni su motivi koji su utjecali na brzi razvoj GIS-a kroz prošlost, a neki od njih su sljedeći:

- automatizacija radnji koje su povezane s prostornom komponentom, kao što je spremanje i sortiranje prikupljenih podataka, upravljanje podacima kao što je izračun udaljenosti, površine, nagiba, zatim kartiranje, odnosno izrada kartografskih prikaza i sl.,
- intergracija prikupljenih podataka koje su prije GIS-a sadržavali različiti izvori (katastarski planovi, vojne karte i sl.),
- brza i efikasna razmjena informacija, bilo unutar GIS-a, bilo među korisnicima,
- konkretne primjene u prostoru, kao što je planiranje prometa, snimanje iz zraka, upravljanje službom za spašavanje i sl.

Svi motivi koji su doveli do razvoja GIS-a predstavljaju prednosti sustava, dok su nedostaci u puno manjem broju. Jedan od često spominjanih nedostataka GIS-a jest statičnost sustava, odnosno nepouzdana vremenska komponenta podataka. Naime, ponekad sustav ne ažurira podatke pravovremeno već u unaprijed definiranim vremenskim intervalima, najčešće radi uštede (vremenske i financijske). Iz tog razloga GIS ne raspolaže u svakom trenutku ažurnim, već često zastarjelim podacima. Još jedan nedostatak GIS-a su sofisticirana hardverska i softverska oprema koja iziskuje vrijeme koje je potrebno korisniku da savlada rukovanje opremom, ali i ozbiljan novac koji je potrebno uložiti u nju.

Unatoč nedostacima, GIS pronalazi široku vojnu i civilnu, javnu i privatnu primjenu što je detaljnije opisano u nastavku.

⁹ Tutić, D. Vučetić, N. Lapaine, M.: *Uvod u GIS*, Predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet; Zagreb, HR;2002.

2.2.3 Primjena GIS-a

GIS sustavi zbog brojnih prednosti pronalaze primjenu u sve više znanstvenih disciplina, javnih i privatnih institucija i kod drugih korisnika. U tablici 1. prikazana su neka područja i načini primjene iz koje je razvidna sveobuhvatnost i kompatibilnost ovog sustava.

Tablica 1 Područja i načini primjene GIS-a¹⁰

| PODRUČJE PRIMJENE | NAČIN PRIMJENE |
|--------------------------------|--|
| GEOGRAFIJA | – prostorne analize, traženja geografskih uzoraka u prostornim podacima, traženje veza između objekata, vizualizacija prostornih podataka itd. |
| GEODEZIJA | – prikaz manjeg ili većeg dijela Zemljine površine, analiza načina korištenja zemljišta, itd. |
| PROSTORNO PLANIRANJE | – izrada planova, istraživanje, razvoj, implementacija i praćenje razvoja plana, određivanje optimalne lokacije, – predviđanje mogućih scenarija razvoja, – pomoć pri donošenju odluka, itd. |
| PROMET | – analiza prometne mreže, GIS u realnom vremenu (koriste ga prijevoznici tvrtke ili hitne službe koje uvijek moraju znati gdje im se nalaze vozila), itd. |
| ZDRAVSTVO | – planiranje zdravstvene infrastrukture, kartiranje bolesti, itd. |
| MARKETING I PRODAJA | – analiza tržišta, pronalaženje posebnih skupina kupaca, – istraživanje potencijala novog tržišta, itd. |
| UPRAVLJANJE INFRASTRUKTUROM | – pronalaženje, spremanje i analiza postrojenja i materijala tvrtki koje održavaju infrastrukturu, pomoć pri odnosu s korisnicima, planiranje, predviđanje, otklanjanje kvarova, itd. |
| OKOLIŠ | – prikaz informacija o tipu kulture (šuma, pašnjak, itd.), analiza procesa u okolišu, analiza utjecaja na okoliš, itd. |

¹⁰ Lacković, P.: *Primjena GIS-a u prostornom planiranju - određivanje optimalne lokacije novih studentskih domova u Gradu Zagrebu*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet; Zagreb, HR; 2020.

3 GLOBALNI NAVIGACIJSKI SATELITSKI SUSTAV (GNSS)

Oko Zemlje danas kruži veliki broj umjetnih satelita, a neki od njih imaju svrhu pozicioniranja i navigacije. Razvoj tih posebnih znanstveno-tehnoloških i industrijskih grana omogućen je napretkom znanosti i tehnologije istraživanja i iskorištavanja Svemira pomoću satelita. Ta tehnologija započela je 70-ih godina prošlog stoljeća u Sjedinjenim Američkim Državama, i to za vojne potrebe. Gotovo istodobno s razvojem započinje i ruski satelitski sustav GLONASS, pa od Hladnog rata do danas traje natjecanje u razvoju ove tehnologije između dviju najvećih sila svijeta. Nakon što su ova dva satelitska sustava prešla iz vojnih u civilne svrhe, i druge moćne sile svijeta prepoznaju prednosti razvoja vlastitih sustava pa Kina razvija BeiDou, Japan QZSS, Europa Gaileo itd. Svi ovi sustavi zajedničkim imenom se nazivaju globalni navigacijski satelitski sustav, ili skraćeno GNSS.

Uz globalne, razvijaju se i regionalni navigacijski satelitski sustavi (Regional Navigation Satellite System – RNSS), kao i sustavi koji služe kao regionalna nadopuna GNSS-a, odnosno SBAS-a (Satellite Based Augmentation Systems) (tablica 2). Pritom se nadopuna odnosi na informacije o točnosti, integritetu i dostupnosti navigacijskih rezultata dobivenih GNSS-om. Međusobna interoperabilnost svih tih sustava omogućit će veću pouzdanost i dostupnost sustava uvođenjem novih poboljšanih signala i servisa namijenjenih ponajprije civilnim korisnicima.¹¹

¹¹ Zrinjski, M. Barković, Đ. Matika, K. *Razvoj i modernizacija GNSS-a*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2019, 1, 45-65, HR;2019.

Tablica 2. Postojeći i planirani satelitski navigacijski sustavi¹²

| Država | GNSS | RNSS | SBAS |
|--------|---------|-------|---|
| SAD | GPS | - | WAAS (Wide Area Augmentation System) |
| Rusija | GLONASS | - | SDCM (System for Differential Corrections) |
| Europa | Galileo | - | EGNOS (European Geostationary) |
| Kina | BeiDou | - | SNAS (Satellite Navigation Augmentation System) – u razvoju |
| Indija | - | NavIC | GAGAN (GPS and GEO Augmented) |
| Japan | - | QZSS | MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) |

3.1 Zemljine orbite i efemeride satelita

Sateliti za pozicioniranje i navigaciju (GNSS sateliti) lete po unaprijed definiranim i određenim putanjama na način da kruže oko Zemlje. Te putanje su konike (najčešće elipse) i nazivaju se orbite, a prema visini ih dijelimo na¹³:

- LEO (Low Earth Orbit) – niske Zemljine orbite, na udaljenosti od 180 - 2 000 km od Zemljine površine,
- MEO (Medium Earth Orbit) – srednje Zemljine orbite, pod svim inklinacijama na udaljenosti od 2 000 - 35 780 km od Zemljine površine,
- GSO (Geosynchronous Earth Orbit) – geosinkrone Zemljine orbite, na udaljenosti većoj od 35 780 km od Zemljine površine; sateliti su stacionirani i kreću se u smjeru rotacije Zemlje sinkronizirano s njom,
- GEO (Geostationary Earth Orbit) – geostacionarne Zemljine orbite na udaljenosti većoj od 35 780 km od Zemljine površine; sateliti su stacionirani na ekvatoru i kreću se u smjeru rotacije Zemlje i

¹² Zrinjski, M. Barković, Đ. Matika, K. *Razvoj i modernizacija GNSS-a*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2019, 1, 45-65, HR;2019.

¹³ Bačić, Ž. *Satelitsko pozicioniranje*, Predavanje, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, HR;2018.

- Mjesečeva orbita - na udaljenosti od 384 000 km od Zemljine površine.



Slika 2 Prikaz Zemljinih orbita ¹⁴

S obzirom na to da je jedna od dvije glavne funkcije GNSS-a pozicioniranje, neophodno je, čak i ključno precizno odrediti orbitu kojom se satelit kreće. U prijevodu, točnost određivanja orbita neposredno utječe na točnost pozicioniranja na Zemljinoj površini. Za to služe efemeride satelita, koje predstavljaju jednostavnu tablicu podataka o položaju GNSS satelita kao funkcija vremena za neko razdoblje. Na osnovu tablice moguće je predvidjeti gdje će se pojedini satelit nalaziti u određenom vremenskom trenutku, dok pritom male promjene u atomskim satovima satelita mogu prouzročiti velike položajne pogreške.

Efemeride se prema razini točnosti dijele na¹⁵:

- Almanah - niskoprecizne orbite koje se koriste u svrhu “traženja” satelita i planiranja opažanja, a točnost je do nekoliko kilometara u ovisnosti od starosti almanaha,
- Emitirane (Broadcast) efemeride - orbite koje se najviše koriste u praksi i to za navigaciju i pozicioniranje u realnom vremenu, a točnost im je povezana s učestalošću osvježavanja podataka (jednom dnevno 10 m, triput dnevno 4 m)
i

¹⁴ Bačić, Ž. *Satelitsko pozicioniranje*, Predavanje, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, HR;2018.

¹⁵ Ibid.

- Precizne efemeride - zasnivaju se na opažanim podacima dobivenim mjerenjem mreža za praćenje; rezultati računanja dostupni su sa zadržkom od nekoliko sati do 14 dana od registracije podataka, a izraženi su kao položaj i brzina satelita u pravilnim vremenskim razmacima (tipično 15 minuta).

3.2 Globalni pozicijski sustav (GPS)

Navigation Satellite Time and Ranging – Global Positioning System (NAVSTAR – GPS) prvi je globalni navigacijski satelitski sustav koji je prema američkom znanstveniku W.H. Woodenu (1985) definiran kao “svevremenski, u svemiru stacionirani sustav što ga je razvilo Ministarstvo obrane SAD-a kako bi zadovoljilo potrebe vojnih snaga da precizno odrede svoju poziciju, brzinu i vrijeme u jedinstvenom referentnom sustavu, bilo gdje na Zemlji ili blizu Zemljine površine na permanentnoj osnovi”.¹⁶

Kao što je spomenuto u uvodu poglavlja, razvoj ovog sustava započinje u vrijeme Hladnog rata kada se vlada SAD-a odlučuje uložiti silne resurse u ovaj revolucionarni sustav.

Najznačajniji događaj u ranijoj prošlosti ovog sustava dogodio se u veljači 1978. godine, kada je lansiran prvi GPS satelit. Otad pa do današnjeg dana lansirano je nekoliko generacija satelita: Blok I, Blok II, Blok IIA (Advanced), Blok IIR (Replenishment), Blok IIR-M (Modernized), Blok IIF (Follow On), Blok IIIA, a u planu je i Blok IIIF.¹⁷ 1983. godine dogodila se još jedna značajna stvar za GPS; američki predsjednik Ronald W. Reagan objavljuje da će GPS postati dostupan za civilnu uporabu nakon što postane operativan. Razlog tome jest obaranje civilnog putničkog aviona KAL 007 od strane sovjetskog lovca, nakon što je avion “zalutao” u zabranjeni zračni prostor SSSR-a zbog navigacijskih pogrešaka. Inicijalna operativna

¹⁶ Zrinjski, M. Barković, Đ. Matika, K. *Razvoj i modernizacija GNSS-a*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2019, 1, 45-65, HR;2019.

¹⁷ Ibid.

sposobnost (Initial Operational Capability – IOC) GPS-a postignuta je 1993. godine¹⁸. Proglašenje potpune operativne sposobnosti (Full Operational Capability – FOC) uzrokovala je zamjena satelita prve generacije s 24 nova Blok II i Blok IIA satelita 1995. godine¹⁹. U narednih desetak godina lansirano je još nekoliko dodatnih satelita generacije Blok IIA i Blok IIR. Najvažniji korak u poboljšanju sustava bila je odluka američkog predsjednika Billa Clintona 2000. godine o ukidanju namjerne degradacije SA (Selective Availability) navigacijske točnosti civilnog signala L1 C/A.²⁰ Sljedeći korak u modernizaciji bio je uvođenje novih civilnih signala 2C i L5. 2019. godine sustav je sačinjavao 31 satelit, od čega 1 Blok IIA, 11 Blok IIR, 7 Blok IIR-M i 12 Blok IIF.

Osnovna podjela unutar GPS-a je na svemirski, kontrolni i korisnički segment. Svemirski segment sastoji se od operativnih i rezervnih satelita koji su raspoređeni unutar šest orbitalnih ravnina međusobno razmaknutih za 60° u srednjoj Zemljinoj orbiti (Medium Earth Orbit – MEO) na visini od oko 20 200 km iznad Zemljine površine. Orbite su postavljene pod inklinacijskim kutom od 55° i vremenom ophođenja satelita od 11 sati i 56 minuta. Posljedica takvog rasporeda omogućuje vidljivost najmanje četiriju satelita s gotovo bilo kojeg mjesta na Zemlji. Zemaljski kontrolni segment sastoji se od glavne kontrolne postaje smještene u vojnoj zračnoj bazi Schriever u Coloradu, koja na temelju prikupljenih podataka sa 16 nadzornih postaja optimalno razmještenih po cijelom svijetu određuje položaj satelita u svemiru i te podatke dalje prosljeđuje satelitima preko 11 zemaljskih antena. Frekvencije za odašiljanje kodova su L1 (1575,42 MHz) i L2 (1227,60 MHz). Prvi GPS prijemnici bili su analogni uređaji velikih dimenzija i velike mase namijenjeni ponajprije za potrebe vojske. Danas su, napretkom tehnologije, a ovisno o namjeni

¹⁸ Zrinjski, M. Barković, Đ. Matika, K. *Razvoj i modernizacija GNSS-a*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2019, 1, 45-65, HR;2019.

¹⁹ Zrinjski, M. Barković, Đ. Bačić, Ž. *Modernizacija GNSS-a (GNSS 2)*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2005, 1, 45-61, HR;2005.

²⁰ Ibid.

(navigacija, geodezija, svemirska istraživanja, poljoprivreda, meteorologija i dr.), prijemnici realizirani u različitim oblicima (čipovi, mikroprocesori, antene i dr.)²¹.

3.3 GLONASS

Kao što je već spomenuto, satelitski sustav razvijen od vlade Ruske Federacije naziva se GLONASS, što je skraćena od globalnog navigacijskog satelitskog sustava na ruskom jeziku.



Slika 3 Logo GLONASS sustava ²²

Sustav nastaje kao odgovor na američki GPS sustav, a po operativnim svojstvima su slični i razvijani u slično vrijeme. Zamišljen je kao komunikacijski sustav za vojne potrebe, a nakon Hladnog rata SSSR počinje upotrebljavati GLONASS kao aplikaciju za pozicioniranje i navigaciju. Prvi testni satelit lansiran je 1982., četiri godine nakon lansiranja GPS-ovog prvog satelita. Punu operativnost sustav je doživio tek 1996., nakon brojnih neuspjelih lansiranja, a i zbog kratkog radnog vijeka uspješno lansiranih satelita. Potom, zbog raspada SSSR-a i loše gospodarske situacije, nastupa razdoblje propadanja sustava, što dovodi do pada konstelacije na tek sedam satelita. Tek 2011. GLONASS proglašava ponovno punu operativnost

²¹ Zrinjski, M. Barković, Đ. Matika, K. *Razvoj i modernizacija GNSS-a*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2019, 1, 45-65, HR;2019.

²² URL1: <https://orbiterchspacenews.blogspot.com/> (pristupljeno u srpnju 2021.)

sustava, i to najviše zahvaljujući novoj poslovnoj politici lansiranja dugovječnih satelita, ali i znatnoj financijskoj pomoći od strane vlade Ruske Federacije.

Kao i kod GPS-a, osnovna podjela unutar GLONASS-a je na svemirski, kontrolni i korisnički segment. Svemirski segment GLONASS-a sastoji se od 24 satelita (21 aktivan i 3 rezervna) raspoređena u tri srednje Zemljine orbitalne ravnine (MEO) s razmakom od 120° , a sateliti su u orbitalnoj ravnini raspoređeni s razmakom od 45° . Orbite se nalaze na visini od 19 100 km iznad Zemljine površine s inklinacijom od $64,8^\circ$, a svakom satelitu treba 11 sati i 15 minuta da obiđe Zemlju. Takva konstelacija osigurava kontinuiranu globalnu pokrivenost na Zemljinoj površini i iznad nje do visine od 2000 km²³.

Zemaljski kontrolni segment sastoji se od glavnoga kontrolnog centra smještenog u Krasnoznamensku u blizini Moskve i mreže postaja za praćenje smještenih većinom na teritoriju Rusije.

Što se korisničkog segmenta tiče, uređaji (prijemnici) su u neprestanom razvoju kao i čitav sustav, a najširu primjenu imaju oni koji kombiniraju GLONASS i GPS signale jer omogućuju dobivanje visokopreciznih rezultata u određivanju pozicije.

3.4 Galileo

Galileo je europski globalni sustav satelitske navigacije koji pruža visokoprecizni servis pozicioniranja. Pokrenut je od strane Europske komisije, a razvijen zajedno s Europskom svemirskom agencijom (European Space Agency – ESA). Neuobičajenost ovog sustava jest što je pod potpunom upravom civilnih službi, a motivacija za njega proizlazi ponajprije iz nadzora i kontrole prostora EU.²⁴

²³ Zrinjski, M. Barković, Đ. Matika, K. *Razvoj i modernizacija GNSS-a*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2019, 1, 45-65, HR;2019.

²⁴ Ibid.



Slika 4 Logo Galileo sustava ²⁵

Godine 1999. započinje razvoj ovog sustava okupljanjem inženjerskog tima na čijem su čelu bile tri članice EU: Francuska, Italija i Njemačka. Unatoč financijskim poteškoćama i otporu SAD-a, 2005. je lansiran prvi testni Galileo satelit, a drugi tri godine kasnije. U sklopu prve faze razvoja sustava lansirana su još dva satelita, dok su u drugoj fazi do 2019. godine u orbitu lansirana još 22 satelita.

Kontrolni segment Galilea sadrži postaje za praćenje satelita i obradu podataka koje su raspoređene po cijelom svijetu te tako omogućuju dobivanje pouzdanih informacija o pozicioniranju, navigaciji i vremenu sa satelita u orbiti. Ipak, većina postaja smještena je unutar europskog teritorija zbog ispunjavanja strogih uvjeta sigurnosti i zaštite.

Korisnički segment se odlikuje velikom proizvodnjom GNSS/Galileo čipova i prijemnika, čime je omogućeno korištenje sustava Galileo u mobilnim uređajima, uređajima za navigaciju u automobilima, u GNSS prijateljima za visokoprecizne radove i u različitim drugim primjenama.

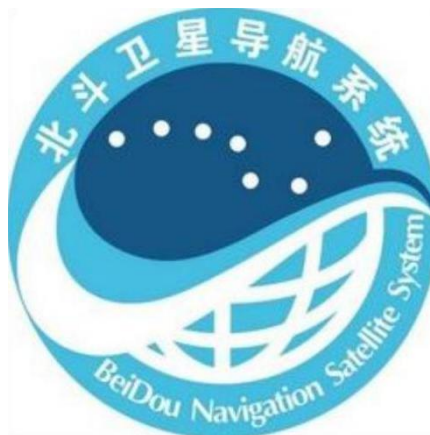
Galileovi navigacijski signali nude krajnjim korisnicima različite usluge, odnosno servise koji su dostupni u punoj preciznosti za civilne i vojne svrhe.

3.5 BeiDou

Zadnjih 20-ak godina obilježeno je ubrzanim razvojem kineskoga navigacijskog satelitskog sustava poznatog pod nazivom BeiDou Navigation Satellite System (skraćeno BeiDou System – BDS). Sastoji se od regionalnoga

²⁵ URL2: <https://galileognss.eu/> (pristupljeno u srpnju 2021.)

komunikacijskog navigacijskog sustava i globalnoga navigacijskog satelitskog sustava. Program su inicijalno pokrenule kineske vojne snage, a danas je dvojnoga karaktera, razvijen da zadovolji potrebe civilnih i vojnih korisnika.²⁶



Slika 5 Logo BeiDou sustava ²⁷

Sustav je u početku zamišljen s dva geostacionarna satelita iznad Kine, a ta je ideja realizirana 1989. godine čime je započeo razvoj sustava. Kao i Galileo, razvoj sustava je podijeljen u tri faze, od čega je prva faza ili BDS-1 započela 1994. godine, u sklopu koje su lansirana dva satelita u geostacionarnu Zemljinu orbitu. Druga faza razvoja ili BDS-2 započinje 2004. i od 2012. godine korisnicima na azijsko-pacifičkim područjima pruža usluge besplatnog pozicioniranja, navigacije i uslugu točnog vremena.²⁸ Posljednja je faza izgradnja globalnoga navigacijskog satelitskog sustava BDS-3 s punom operativnošću, a trenutno je u orbitama više od 30 BeiDou satelita.

Svemirski segment, za razliku od GPS-a, GLONASS-a i sustava Galileo, predviđa satelite raspoređene u tri različite Zemljine orbite. Od ukupnog broja satelita, velika većina bi trebala biti ravnomjerno raspoređena u tri srednje Zemljine orbite (MEO) međusobno razmaknute za 120°, na visini od 21 528 km s inklinacijom od 55° i periodom revolucije od 12 sati i 35 minuta. Ostatak satelita planiran je za

²⁶ Zrinjski, M. Barković, Đ. Matika, K. *Razvoj i modernizacija GNSS-a*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2019, 1, 45-65, HR;2019.

²⁷ URL3: <http://en.beidou.gov.cn/> (pristupljeno u srpnju 2021.)

²⁸ Zrinjski, M. Barković, Đ. Matika, K. *Razvoj i modernizacija GNSS-a*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2019, 1, 45-65, HR;2019.

geostacionarnu orbitu (Geostationary Orbit – GEO) na visini od 35 786 km i za tri inklinirane geosinkronizirane orbite (Inclined GSO – IGSO) međusobno razmaknute za 120° s inklinacijskim kutom 55°.29

Primarni ciljevi BDS-a su, kao i svakom satelitskom sustavu, gospodarski i društveni prosperitet države te nacionalna sigurnost, a sekundarno je pružanje kontinuiranih, stabilnih i pouzdanih usluga globalnim korisnicima, razvoj svemirske industrije, poboljšanje životnog standarda ljudi i jačanje međunarodne suradnje.

3.6 Princip rada GNSS-a

S obzirom na to da je svrha GNSS-a pozicioniranje i navigacija, bitno je pojasniti princip rada čitavog sustava. Princip pozicioniranja najlakše je objasniti pomoću sljedećeg jednostavnog izraza³⁰:

$$\rho = \|\rho^s - \rho_R\|$$

gdje je:

ρ prostorna udaljenost satelit - prijamnik,

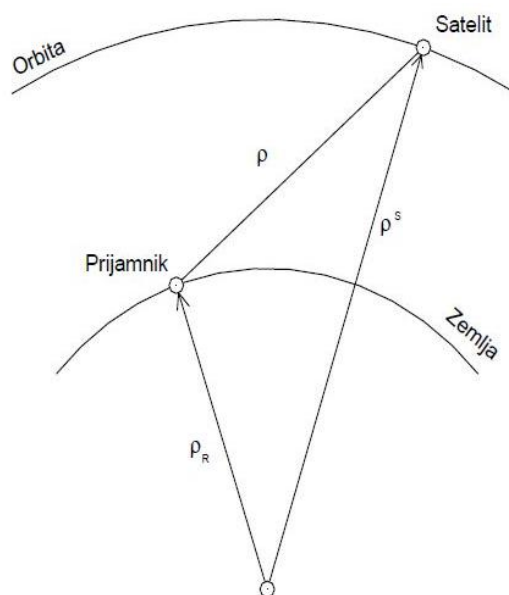
ρ^s prostorni vektor geocentar – satelit,

ρ_R prostorni vektor geocentar – prijamnik.

Ovaj se izraz još naziva i fundamentalna jednadžba satelitske geodezije, a slika ispod ga i vizualizira.

²⁹ Zrinjski, M. Barković, Đ. Matika, K. *Razvoj i modernizacija GNSS-a*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2019, 1, 45-65, HR;2019.

³⁰ Bačić, Ž. *Satelitsko pozicioniranje*, Predavanje, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, HR;2018.



Slika 6 Princip određivanja položaja uz pomoć GNSS-a ³¹

Prostorni vektor geocentar – satelit definira položaj satelita pomoću kojeg se određuje položaj na Zemljinoj površini, a to se postiže pomoću efemerida. Točnost položaja ovisi o tome koja se vrsta efemerida koristi (almanah, emitirane ili precizne).

Za određivanje prostorne udaljenosti satelit - prijatelj malo je duži postupak, a temelji se na određivanju vremena koje je potrebno signalu da prijeđe tu udaljenost. Naime, udaljenost se određuje umnoškom brzine signala (brzina svjetlosti od približno 300 000 km/s uz mala kašnjenja zbog slojeva atmosfere) i vremenskog intervala između slanja i prijema signala. Na satelitima se nalaze visokoprecizni atomski satovi, dok prijateljnici, koji se nalaze u promatranoj točki na Zemljinoj površini, koriste manje precizne satove. S obzirom na to da se radi o konceptu jednostrukog puta signala, razlika očitanih vremenskih trenutaka na satovima dat će traženi vremenski interval. To uzrokuje pojavu pogreške sata GNSS prijateljnika, te se zbog nje dobivena udaljenost naziva pseudoudaljenost.³²

Jednostavan matematički model za pseudoudaljenost glasi³³:

³¹ Bačić, Ž. *Satelitsko pozicioniranje*, Predavanje, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, HR;2018.

³² Ibid.

³³ Markovinović, D. *Globalni pozicijski sustav (GPS)*, Stručni rad, Ekscentar br.4, str. 34-39, HR;2001.

$$R = \rho + \Delta\rho = \rho + c\delta$$

gdje je:

R pseudoudaljenost,

$\Delta\rho$ korekcija tražene udaljenosti,

c brzina svjetlosti te

δ pogreška sata GNSS prijemnika.

Kako bi se uklonila pogreška sata prijemnika, za određivanje položaja na Zemlji nužno je pratiti najmanje četiri satelita. Naime, principom prostorne trilateracije položaj na Zemlji određuje se kao sjecište kružnica kojima su središta u satelitima, a polumjeri pseudoudaljenosti do prijemnika. Tri su satelita dovoljna za odrediti položajne koordinate promatrane točke na Zemlji, dok je četvrti nužan za visinsku komponentu.

Mjerenje udaljenosti između prijemnika i satelita može se odrediti, osim pomoću razlike očitanih vremenskih trenutaka na satovima, i pomoću faznih razlika između primljenog i u prijemniku generiranog signala. Ovakva mjerenja jamče veću točnost, no nedostatak im je višeznačnost, odnosno cjelobrojna neodređenost (engl. integer ambiguity).³⁴ Naime, kod određivanja faznih udaljenosti mjerljiv je samo djelić zadnje faze (kružne frekvencije), a broj cijelih faza je nepoznat. To je uzrok višeznačnosti, i razlog nužnosti određivanja cijelog broja (engl. integer) faza.

3.7 Tehnike opažanja GNSS-om

GNSS mjerenje se izvodi jednom ili kombiniranjem više tehnika opažanja. Više je čimbenika o kojoj ovisi koja će se tehnika koristiti, a glavni je zahtijevana točnost.

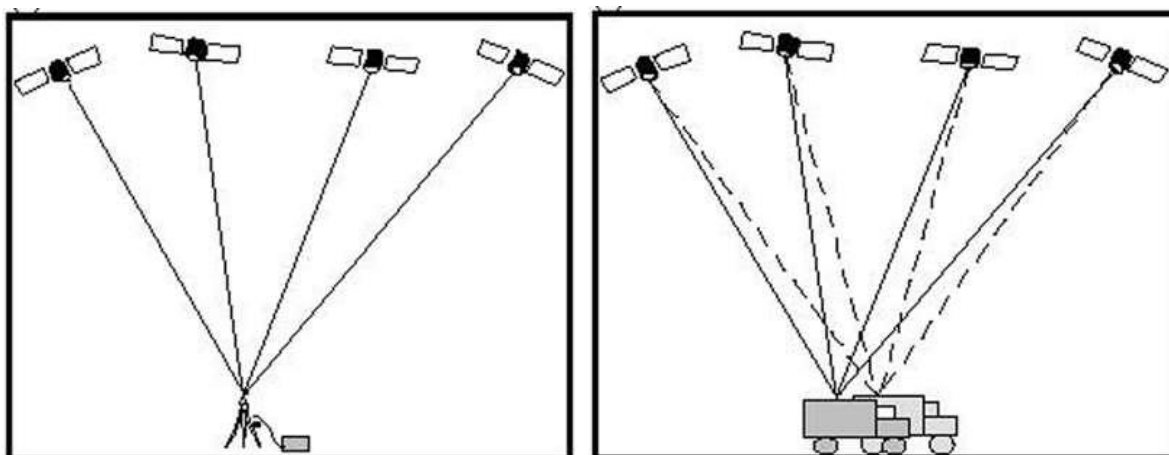
Razlikuju se dvije osnovne skupine tehnika opažanja: apsolutne i relativne.

³⁴ Marinčić, D. *Globalni pozicijski sustavi*, Znanstveni članak, BIH;2002.

3.7.1 Tehnike apsolutnog pozicioniranja

Glavna karakteristika ove tehnika pozicioniranja jest što se određuje položaj jedne točke koristeći jedan prijemnik koji mjeri pseudoudaljenost do satelita. Engleski termin za ovu tehniku je *single point positioning* (pozicioniranje jedne točke). Apsolutnim pozicioniranjem položaj se određuje prostornom trilateracijom, a korištenjem emitiranih (broadcast) efemerida povećava se točnost određivanja položaja satelita.

Ova tehnika razlikuje statičko i kinematičko opažanja. Kao što sami naziv kaže, statičko opažanje podrazumijeva da prijemnik za vrijeme opažanja miruje na jednom mjestu, te je moguće iz manjeg broja pozicija određenih pojedinačno po epohama dobiti točnost oko 10 m. Kinematičko opažanje pretpostavlja pomicanje prijemnika tijekom mjerenja, a pritom je točnost oko 40 m.³⁵



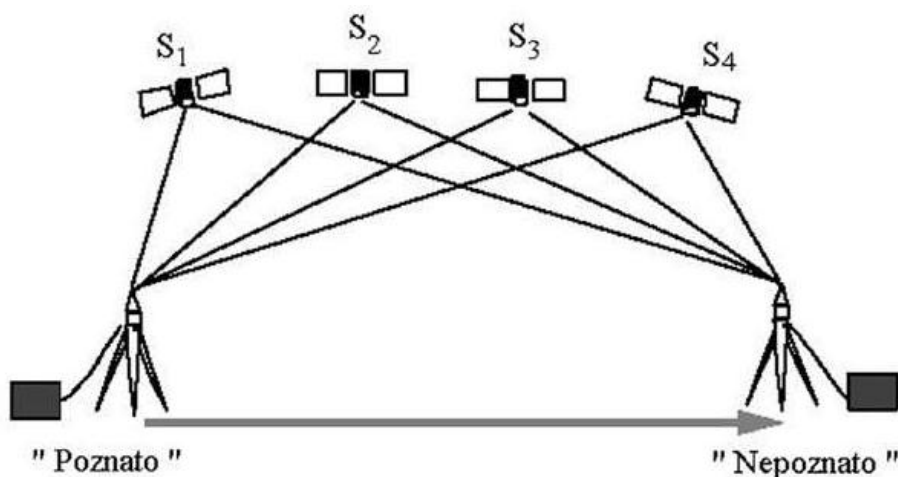
Slika 7 Apsolutno statičko i kinematičko pozicioniranje ³⁶

3.7.2 Tehnike relativnog pozicioniranja

Za razliku od apsolutnog, relativno pozicioniranje podrazumijeva najmanje dva prijemnika koji opažaju satelite istovremeno. Bitna prednost ove tehnike jest mjerenje prostornog vektora između prijemnika, od kojih je jedan na poznatoj točki (poznate koordinate), dok se drugi nalazi na točki kojoj je cilj odrediti koordinate.

³⁵ Bačić, Ž. *Satelitsko pozicioniranje*, Predavanje, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, HR;2018.

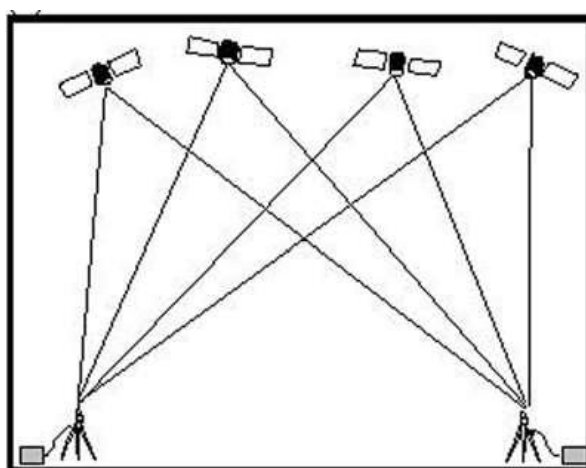
³⁶Marinčić, D. *Globalni pozicijski sustavi*, Znanstveni članak, BIH;2002.



Slika 8 Relativno pozicioniranje ³⁷

Oba prijemnika dobivaju signale s najmanje četiri satelita, i iz tih simultanih mjerenja se određuje prostorni vektor. Prijenosom podataka u stvarnom vremenu moguća je i obrada mjerenja, pa se ova tehnika naziva i RTK pozicioniranje (Real-Time Kinematic positioning). Ova tehnika dijeli se na:

- *Statičko relativno pozicioniranje* koje podrazumijeva da su prijemnici stacionirani na točkama tijekom faznog mjerenja pseudoudaljenosti do satelita, pritom se određuje prostorni vektor između prijemnika što u konačnici dovodi do rezultata visoke točnosti od 1 do 0.1 ppm (engl. parts per million ili 10^{-6}),

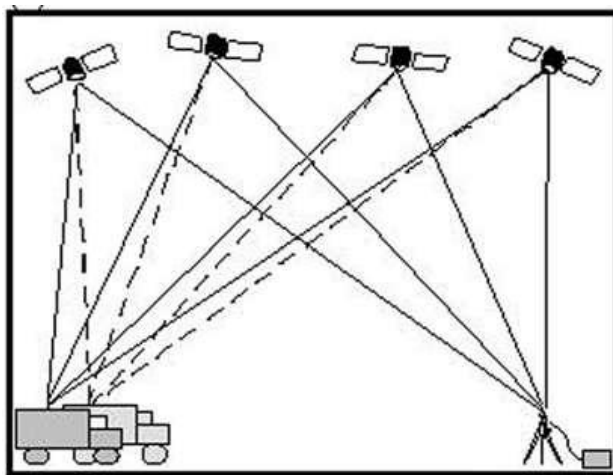


Slika 9 Statičko relativno pozicioniranje ³⁸

³⁷Marinčić, D. *Globalni pozicijski sustavi*, Znanstveni članak, BIH;2002.

³⁸Ibid.

- *Kinematičko relativno pozicioniranje (RTK)* koje podrazumijeva da je jedan prijemnik stacioniran na poznatoj točki (referentni prijemnik ili baza), dok je drugi u pokretu (rover prijemnik); glavni nedostatak ove tehnike - potencijalno velika duljina prostornog vektora između baze i rovera riješen je pomoću radio veze kojom rover šalje bazi podatke kako bi izračunao njegovu poziciju pa metoda jamči centimetarsku točnost, te



Slika 10 Kinematičko relativno pozicioniranje ³⁹

- *Pseudokinematičko relativno pozicioniranje* postiže subcentimetarsku točnost, ali nije u čestoj uporabi zbog potrebe da svaka točka bude mjerena u dva ponavljanja, i to u razmaku od barem sat vremena.

3.8 GNSS pogreške

Kao i svaka mjerna metoda, i ova je opterećena pogreškama zbog koje se smanjuje točnost mjerenja, a posljedično i dobivenih podataka. U tablici ispod prikazane su najvažnije GNSS pogreške i njihov iznos, odnosno utjecaj na mjerenje.

³⁹Marinčić, D. *Globalni pozicijski sustavi*, Znanstveni članak, BIH;2002.

Tablica 3 Prikaz najvažnijih GNSS pogrešaka i njihov utjecaj na mjerenje⁴⁰

| VRSTA POGREŠKE | IZNOS POGREŠKE [m] |
|---|--------------------|
| Utjecaj ionosfere (najbolji model) | 1-2 |
| Utjecaj ionosfere (prosječni model) | 5-10 |
| Utjecaj ionosfere (loš model) | 10-50 |
| Utjecaj troposfere (model) | 0,1 |
| Multipath | 1-2 |
| Šum mjerenja | 0,2-1 |
| Hardverska zaostajanja signala | 0,1 - 1 |
| Pogreška faznog centra antene | 0,001 - 0,01 |
| Projekcija pogreške koordinata satelita na spojnicu | 1-2 |
| Drhtanje sata satelita | 1-2 |
| Ukupno s prosječnim modelom ionosfere | 5,3 - 10,7 |

⁴⁰ Zrinjski, M. Barković, Đ. Bačić, Ž. *Modernizacija GNSS-a (GNSS 2)*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2005, 1, 45-61, HR;2005.

4 GEOREFERENCIRANI VIDEO

Pod pojmom georeferenciranja podrazumijeva se pridruživanje geografskih ili pravokutnih koordinata u određenoj kartografskoj projekciji pojedinom entitetu. Prije postupka georeferenciranja ti entiteti su najčešće opisno definirani, a po završetku postupka dodjeljuje im se prostorna komponenta. Postupak prikupljanja i dodjeljivanja koordinata u određenoj kartografskoj projekciji detaljnije je opisan u drugom poglavlju ovog rada.

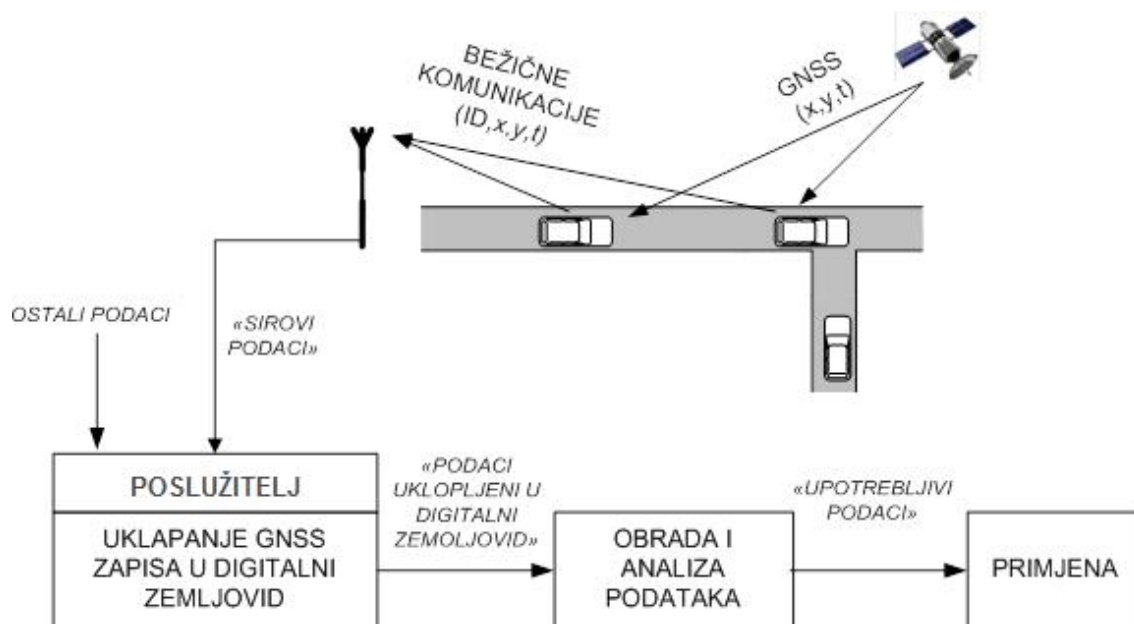
Videozapis je digitalni zapis koji sačinjava slijed grupiranih informacija nazvanih okvira (engl. frame) s unaprijed točno utvrđenim, vrlo kratkim vremenskim razmakom slijeđenja. Taj osnovni gradivni element videozapisa može se promatrati kao jedinstvena cjelina koja sadrži sve četiri dimenzije.

Iz navedenog slijedi da se georeferencirani video dobiva dodjeljivanjem geografskih koordinata svakom zasebnom okviru videozapisa. Jedna od bitnijih primjena georeferenciranog videa, odnosno prikupljanja podataka tom tehnikom jest evidencija stanja prometnica, gdje pronalazi svoju široku primjenu. Naime, prema *Pravilniku o izmjenama i dopunama Pravilnika o održavanju cesta (NN 3/2021)* propisan je standard redovitog održavanja koji podrazumijeva "popis radova redovitog održavanja javne ceste, način i rokove provjeravanja stanja svih dijelova javne ceste, vrste i rokove izvođenja radova kojima se zadržava odnosno vraća na traženu razinu funkcionalnost dijelova javne ceste te razina usluge za sve poslove redovitog održavanja javnih cesta". Upravitelji cesta dužni su provjeravati, odnosno evidentirati njihovo stanje, a to se najčešće odnosi na oštećenja kolničke konstrukcije. Budući da ceste obavezno imaju popratni sadržaj (prometni znakovi, stupovi javne rasvjete, zaštitne ograde i sl.), georeferencirani video služi i za evidenciju popratnog sadržaja ceste (npr. za katastar prometnih znakova). Osim spomenutih primjena, georeferencirani video često se koristi i za prikupljanje dinamičkih podataka o prometnim mrežama i tokovima, koji su neizostavni dio svake prometne analize ili planiranja.

Georeferencirani video prikuplja se vozilom s opremom za satelitsko pozicioniranje i komunikaciju u svrhu prikupljanja podataka iz prometnoga sustava, koje se naziva pokretno osjetilo (engl. Float Car Data ili FCD).⁴¹

4.1 Sustav za prikupljanje podataka pokretnim osjetilima

Sustav za prikupljanje podataka pokretnim osjetilima zasniva se na više podsustava različitih tehnologija koje su prikazane na slici 11.



Slika 11 Sustav za prikupljanje podataka pokretnim osjetilima⁴²

Osnovne podatke o poziciji vozila i vremenu stvara uređaj sustava satelitskoga pozicioniranja i navigacije (GNSS). Ti podaci koje pokretna osjetila bilježe i/ili šalju su položajne koordinate x i y i trenutak očitavanja t_i . Niz tako zabilježenih položajnih koordinata i pripadajućih vremenskih oznaka čini trag vozila koji opisuje trajektoriju vožnje nizom podataka $x(t_i)$, $y(t_i)$. Vremenska oznaka izražava se UTC (engl. Universal Time Coordinated) vremenom koje je dobiveno

⁴¹ Budimir, D. *Metoda procjene prostorno-vremenskih indikatora javnog gradskog prijevoza zasnovana na pokretnim osjetilima*, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, HR;2016.

⁴²Ibid.

atomskim etalonima i prihvaćeno je kao službeno u sustavu GNSS. Od 1972. godine UTC je formalna vremenska skala⁴³.

Podaci koji definiraju trajektoriju vožnje pohranjuju se u lokalnoj memoriji ili se šalju u centar za obradu podataka. Količina tih podataka ovisi o namjeni i zahtjevima za kvalitetu podataka.

Osim GNSS tehnologijom, podatke za određivanje pozicije vozila je moguće prikupljati i pomoću mobilnih komunikacija. Prepoznavanjem ćelije mobilne mreže u kojoj se vozilo nalazi i praćenju vozila pri promjeni ćelija ili mjerenjem razlike dolazaka signala od mobilnoga uređaja do bazne stanice vozilo je moguće pozicionirati, ali točnost se u tom slučaju kreće od nekoliko metara pa do nekoliko kilometara, ovisno o načinu obrade signala. Ova tehnologija naziva se Floating Phone Data ili skraćeno FPD, a osim nje postoje i drugi sustavi pozicioniranja koji koriste zemaljske radiolokacijske sustave i satelitske sustave.

Podaci o identifikacijskoj oznaci vozila (ID), koordinatama vozila i vremenskim oznakama dostavljaju se u centar za obradu sirovih podataka koji ih pohranjuje u odgovarajuću bazu podataka, a sve u svrhu uklapanja u digitalnu kartu.

Uklapanje u digitalnu kartu (engl. map matching) postupak je kojim se pozicije zabilježene GNSS uređajima, tj. tragovi vozila pridružuju prometnicama na digitalnoj karti.⁴⁴ Za ovaj proces neophodno je da digitalne karte sadrže cestovne rute u vektorskom formatu, pa se uklapanje obavlja algoritmima koji povezuje podatke pokretnih osjetila (trajektorije) s vektorskim zapisom rute. Postoje različiti algoritmi uklapanja, od geometrijskih i topoloških do naprednih.

Geometrijski algoritmi uklapanja podataka u digitalne karte rade po principu jednostavnih geometrijskih zakonitosti, prema kojima su tri osnovne metode pristupa: točka po točka (point-to-point), točka prema krivulji (point-to-curve) i krivulja na

⁴³ Budimir, D. *Metoda procjene prostorno-vremenskih indikatora javnog gradskog prijevoza zasnovana na pokretnim osjetilima*, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, HR;2016.

⁴⁴ Ibid.

krivulju (curve-to-curve). Najčešće primjenjivani pristup geometrijskom algoritmu realizira se kroz tri koraka⁴⁵:

- 1) pronalazak čvorova cestovne mreže koji su blizu točki dobivenoj pokretnim osjetilom,
- 2) traženje skupa linija cestovne mreže koje povezuju pronađene čvorove te
- 3) uklapanje točku traga u liniju na digitalnoj karti koja ima najmanju udaljenost do točke.

Topološki algoritmi koriste princip rada geometrijskih, ali uz primjenu dodatnih kriterija koji provjeravaju odnose između čvorova, linija i određenih poligona, pa tako mogu biti definirani kao susjedstvo (poligoni), povezivost (linije) i okruženje (točke i poligoni).

Osim uklapanja u digitalnu kartu, bitan proces u obradi podataka je filtriranje sirovih podataka čija je svrha ograničavanje i uklanjanje podataka koji ne zadovoljavaju unaprijed postavljene kriterije i time nepovoljno utječu na rezultate. U takve podatke spadaju i nepotpuni i dvosmisleni podaci. Potreba za filtriranjem podataka dobivenih od pokretnih osjetila posebno je izražena u urbanim područjima jer zbog visokih objekata koji zaklanjaju GNSS signale često dolazi do većih odstupanja u pozicioniranju. Za filtriranje, kao i za uklapanje u digitalnu kartu, razvijeni su brojni algoritmi i razna programska rješenja koji rade na principu uklanjanja točaka na određenim udaljenostima od ceste i raznim drugim kriterijima koji imaju za svrhu eliminaciju podataka koji negativno utječu na rezultate obrade.⁴⁶

4.2 *Bespilotna letjelica kao pokretno osjetilo*

Kao pokretna osjetila najčešće se koriste automobili opremljeni za snimanje i pozicioniranje, a mogu se koristiti i vozila koja su dio neke flote vozila, primjerice taksi službe ili vozila javnog gradskog prijevoza.

⁴⁵ Budimir, D. *Metoda procjene prostorno-vremenskih indikatora javnog gradskog prijevoza zasnovana na pokretnim osjetilima*, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, HR;2016.

⁴⁶ Ibid.

U sklopu ovog rada testirana je bespilotna letjelica u funkciji pokretnog osjetila za prikupljanje prostornih podataka (geoinformacija) u prometne svrhe. Bespilotne letjelice ili dronovi su letjelice namijenjene izvođenju leta bez pilota, koje su daljinski upravljane ili programirane i autonomne. Potpuno autonomne bespilotne letjelice same polijeću, obave zadatak koji im je dodijeljen te slijeću. Ove letjelice mogu biti s fiksnim krilima ili opremljeni rotorima, a postoje i dronovi koji kombiniraju najbolje od obje koncepcije te imaju mogućnost vertikalnog polijetanja i slijetanja, a krstare kao letjelice s fiksnim krilima. Bespilotne letjelice danas imaju širok spektar uporabe kako u vojne tako i u civilne svrhe.⁴⁷ Budući da imaju mogućnost satelitskog pozicioniranja i bežične komunikacije, mogu se koristiti kao pokretno osjetilo za prikupljanje geoinformacija.

4.2.1 Razvoj bespilotnih letjelica

Razvoj bespilotnih letjelica započinje prvenstveno u vojne svrhe, s posebnom namjenom nadgledanja, točnije špijuniranja neprijateljskog teritorija. Početak razvoja koncepta bespilotne letjelice veže se uz kraj 19. i početak 20. stoljeća, a najintenzivniji razvoj i unaprjeđenje događa se za vrijeme Prvog i Drugog svjetskog rata.

Početak 1950-ih kompanija Ryan Aeronautical razvila je podzvučnu bespilotnu letjelicu nazvanu Ryan "Firebee". "Firebee" je dron razvijen za traženje meta te služi za zračne vježbe. Otkad je dizajn drona prvi puta upotrebljen, otada se rasprostranio među bespilotnim letjelicama te se i danas koristi⁴⁸. Devedesetih godina prošlog stoljeća pojavljuju se ideje za mikro i mini bespilotne letjelice.

⁴⁷ Grgić, T. *Usporedba performansi bespilotnih letjelica u civilne svrhe*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, HR;2021.

⁴⁸ Vugdelija, K. *Bespilotne letjelice, razvoj, značaj i primjena u šumarstvu*, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, HR;2016.



Slika 12 Беспилотна летjelica "Firebee" ⁴⁹

Unaprjeđenje tehnologije i robotike dovelo je do ubrzanog razvoja dronova za vojne, ali i civilne svrhe. Iako su i dalje neizostavan dio ratovanja, postoji i raznovrsna upotreba dronova koja je prilagođena za civilnu upotrebu. Primjenu pronalaze kod traganja i spašavanja, prikupljanja informacija o klimatskim parametrima, protupožarstva, aerofotogrametrijskih snimanja, arheoloških istraživanja, snimanja društvenih događaja i brojnih drugih svrha.

4.2.2 *Bespilotne letjelice za aerofotogrametriju*

Budući da je za potrebe ovog rada korištena беспилотна летjelica specijalizirana za aerofotogrametriju, u ovom potpoglavlju opisan je princip rada takve vrste letjelice.

Fotogrametrija je grana geodezije, a aerofotogrametrija je vrsta fotogrametrije koja podrazumijeva posebna znanja i tehnike kako bi se iz snimaka iz zraka prikupili podaci o obliku, veličini i položaju nekog objekta ili područja. Koristi optičke i geometrijske zakonitosti pa se na osnovu njih iz snimke vrši rekonstrukcija promatranog objekta ili područja.

Bespilotne letjelice specijalizirane za aerofotogrametriju za razliku od ostalih vrsta беспилотних летjelica imaju mogućnost izvođenja projektiranog plana leta s visokom točnošću, smanjene vibracije tijekom leta i što je najbitnije, iz prikupljenih

⁴⁹Vugdeliya, K. *Bespilotne letjelice, razvoj, značaj i primjena u šumarstvu*, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, HR;2016.

podataka moguće je dobiti različite predstave snimljenog područja - digitalni model površina, oblak točaka i ortofoto kartu. Kvaliteta dobivenih proizvoda ovisi o točnosti kojim je izvedeno mjerenje (prikupljanje podataka).

Primjer ovakve bespilotne letjelice je Phantom 4 RTK - DJI proizveden od kineske korporacije DJI, punim nazivom Da-Jiang Innovations, koja je specijalizirana za izradu bespilotnih letjelica i upravljačkih aplikacija. Ova visokokvalitetna letjelica nove generacije odlikuje se četirima rotorima koji joj omogućavaju vertikalno polijetanje i slijetanje, kamerom visoke rezolucije koja ima mogućnost nagiba, izdržljivu bateriju i brojne druge prednosti od kojih su neke prikazane u tablici 4.

Tablica 4 Specifikacije bespilotne letjelice Phantom 4 RTK - DJI⁵⁰

| KATEGORIJA | VRIJEDNOST |
|---|--------------|
| <i>Masa pri polijetanju</i> | 1391 g |
| <i>Dijagonala</i> | 350 mm |
| <i>Maksimalno trajanje leta</i> | oko 30 min |
| <i>Maksimalna brzina uspona</i> | 6 m/s |
| <i>Maksimalna brzina leta</i> | 14 m/s |
| <i>Udaljenost uočavanja prepreka</i> | 0,7 m - 30 m |
| <i>Maksimalne dimenzije fotografije</i> | 4:3 ; 3:2 |
| <i>Format fotografije</i> | JPEG |
| <i>Video format</i> | MOV |
| <i>Tip baterije</i> | LiPo 4S |
| <i>Kapacitet baterije</i> | 5870 mAh |
| <i>Napon</i> | 15,2 V |
| <i>Senzor kamere</i> | 1" CMOS |
| <i>Nagib kamere</i> | -90° do +30° |

⁵⁰URL4: <https://www.dji.com/hr/phantom-4-rtk/info> (pristupljeno: svibanj 2021.)

Još jedna od bitnih specifikacija koja nije sadržana u tablici je dostupnost GNSS signala; višefrekventni GNSS uređaj u letjelici prima GPS, GLONASS, BeiDou i Galileo signale različitih frekvencija što neposredno omogućava visokoprecizno pozicioniranje i navigaciju letjelice. Razina točnosti pozicioniranja je sljedeća:

- horizontalno 1 cm + 1 ppm i
- vertikalno 1,5 cm + 1 ppm,

gdje ppm u praksi označava pad točnosti od 1 mm svakih 1 km leta.

Ova visoka razina točnosti omogućena je RTK dodatkom. RTK (Real-time kinematic) ili kinematičko relativno pozicioniranje je termin koji je objašnjen u poglavlju 2. GNSS, a primarna mu je zadaća korigirati položaj i visinu bespilotne letjelice u letu kako bi se što je moguće točnije držala projektiranog plana leta (zadane rute).



Slika 13 Bespilotna letjelica Phantom 4 RTK - DJI s daljinskim upravljačem i zaslonom ⁵¹

“Mozak” bespilotne letjelice je inercijalna mjerna jedinica (žiroskop i akcelerometri) s integriranim GNSS-om. Ovi sustavi određuju trenutnu prostornu poziciju i nagibe letjelice. Kod samostalnog leta bespilotne letjelice uz navigaciju i registraciju pozicije snimka, inercijalni sustav služi i za osnovnu stabilizaciju letjelice. To znači da se na osnovu podataka iz inercijalnog sustava korigiraju svi nagibi dovodeći letjelicu u što je moguće horizontalniji položaj. Na primjer, prilikom iznenadne pojave vjetera tijekom leta, na osnovu podataka GNSS-a i inercijalnog

⁵¹URL5: <https://www.dji.com/hr/phantom-4-rtk> (pristupljeno: svibanj 2021.)

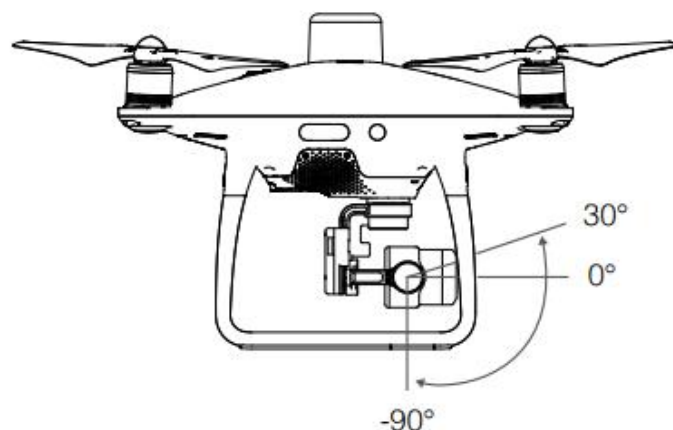
sustava letjelica će se korigirati, svladati probleme i nastaviti predviđenim planom leta⁵².

Osim inercijalnog sustava, Phantom 4 RTK ima sustav stabilizacije kamere koji također doprinosi smanjenju utjecaja vanjskih sila te svodi na minimum kutne okrete oko triju glavnih osi letjelice. Taj sustav omogućava učvršćivanje kamere na letjelicu što uzrokuje smanjenje vibracija uzrokovanih radom letjelice te konstantan položaj kamere.

Kamera bespilotne letjelice Phantom 4 RTK sadrži 1-inčni CMOS senzor od 20 megapiksela. Mehanički zatvarač kamere čini snimanje besprijekornim jer se letjelica može kretati dok fotografira bez opasnosti od efekta zamućenja fotografije. Zahvaljujući visokoj razlučivosti, letjelica postiže udaljenost uzorka (piksela) na tlu (Ground Sample Distance-GSD) od $H/36,5$ gdje je H relativna visina leta. To znači da će se letom s relativnom visinom od 100 m postići GSD od 2,74 cm po pikselu.

Kao što je u tablici specifikacija predočeno, ova bespilotna letjelica ima mogućnost nagiba kamere od -90° do 30° (slika 14). Brzina okretanja kamere je $90^\circ/s$, a razina kutnih vibracija svedena je na $\pm 0.02^\circ$. Mogućnost nagiba kamere proširuje upotrebu ove letjelice i na snimanje viših objekata za koje su potrebni veći nagibi kamere ili panoramska snimanja u promidžbene svrhe.

⁵²Kolarek, M. Bespilotne letjelice za potrebe fotogrametrije, Stručni rad, Ekscentar br.12, str. 70-73, HR;2010.



Slika 14 Nagib kamere bespilotne letjelice DJI Phantom 4 RTK ⁵³

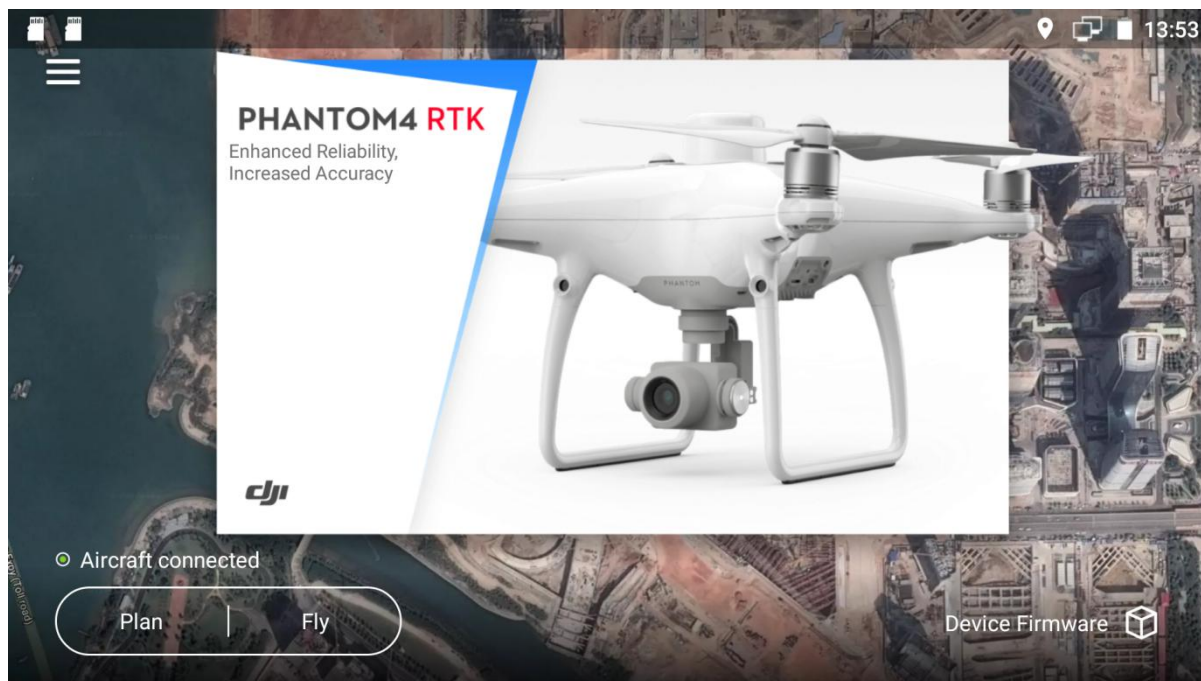
Pogon ove letjelice je električna energija čiji su izvor LiPo 4S baterije s kapacitetom od 5870 mAh i naponom od 15,2 V. One omogućavaju bespilotnoj letjelici autonomiju, odnosno neprekidni let od 30-ak minuta što je za ovakvu vrstu letjelice posve zadovoljavajući vremenski interval.

Za upravljanje letjelicom zadužen je pilot - osoba koja je pripremila podatke za let prije samog polijetanja te pomoću upravljača izdaje upute, kontrolira i prati rad letjelice tijekom leta. Veza između letjelice i upravljača je radijska, i omogućena je pomoću odašiljača i prijemnika koji razmjenjuju informacije u realnom vremenu.

DJI Phantom 4 RTK sadrži aplikaciju pod nazivom DJI GS RTK pomoću koje pilot obavlja većinu pripremih radova te cjelokupan let. Za vrijeme leta aplikacija nudi mogućnosti praćenja statusa letjelice i prilagodbe čitavog niza parametara. Pilot letjelice koristi aplikaciju preko zaslona koji je ugrađen na daljinskom upravljaču, pomoću kojeg je upravljanje letjelicom uvelike pojednostavljeno.

⁵³URL6:

https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_rtk/20200721/Phantom_4_RTK_User_Manual_v2.4_EN.pdf (pristupljeno: svibanj 2021.)



Slika 15 Glavno sučelje aplikacije DJI GS RTK

5 AEROFOTOGRAMETRIJSKO SNIMANJE CESTE

Kao što je spomenuto u uvodu rada, zadatak je obaviti aerofotogrametrijsko snimanje i usporediti dobivene rezultate s georeferenciranim videom kako bi se naglasile mogućnosti fuzije podataka.

Snimanje je obavljeno u srpnju 2021.god., a kompletnu tehničku podršku u aerofotogrametrijskom procesu pružila je geodetska tvrtka GEO DRONE iz Splita. Tvrtka je specijalizirana za ovu vrstu poslova, što znači da je opremljena hardverom i softverom za pripremu, obavljanje leta, obradu prikupljenih podataka te izradu konačnih proizvoda.

5.1 Cesta za aerofotogrametrijsko snimanje

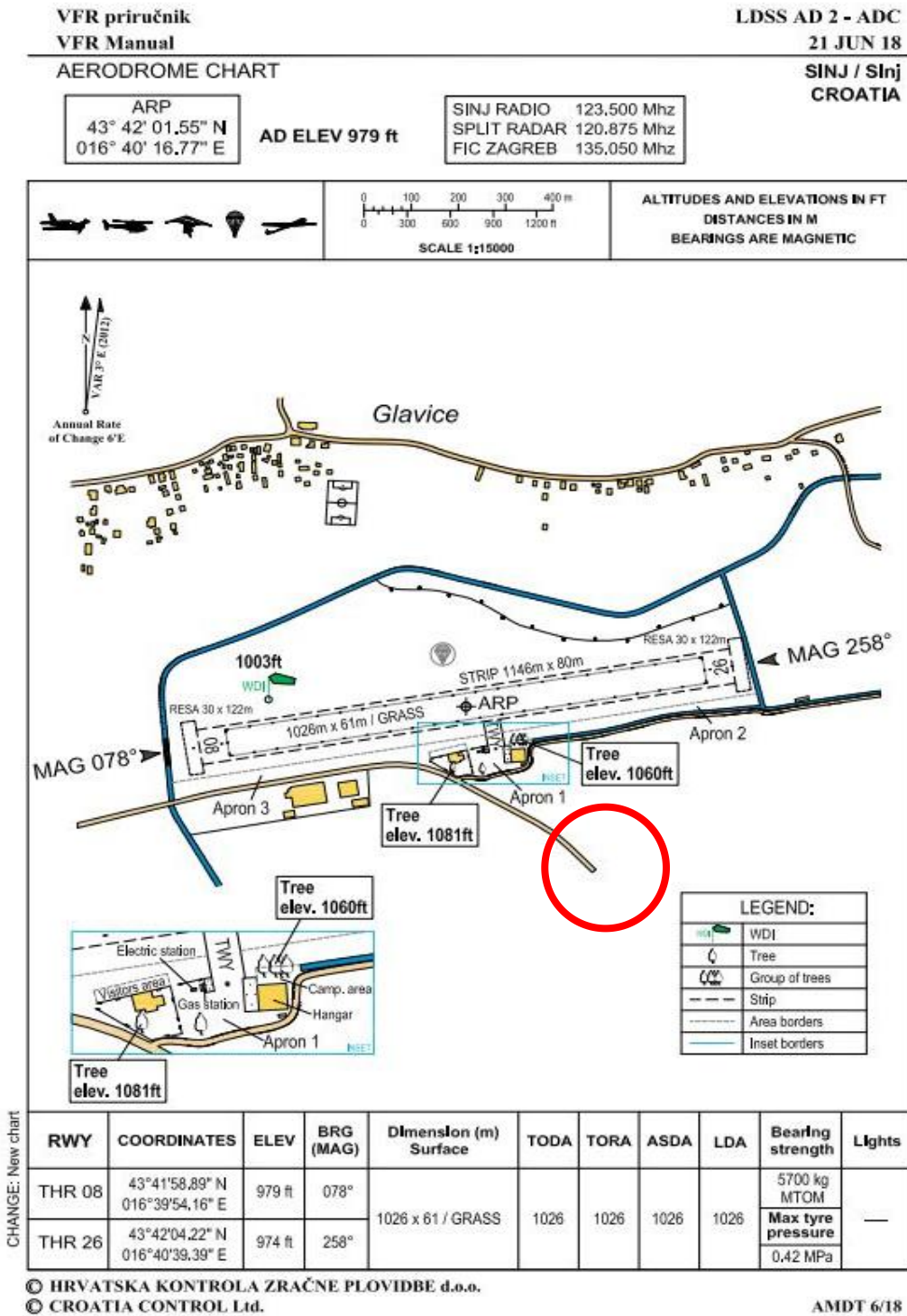
Za predmet aerofotogrametrijskog snimanja odabran je dio lokalne ceste 67040 (Sinj - Otok) s adresom Put Piketa u Sinju. Dio ceste koji je snimljen duljine je oko 410 m, a glavni razlog je taj što se radi o pristupnoj cesti Aerodromu Sinj (zaokruženi dio na slici 17). Sekundarni razlog je nedostatak visoke vegetacije (stabala) i ostalih visokih objekata uz cestu što je omogućilo snimanje na manjoj visini leta. Valja spomenuti još jedan razlog zbog kojeg je odabran ovaj dio ceste, a to je činjenica da se nalazi izvan naseljenog područja što administrativni dio pripreme ovog leta višestruko pojednostavljuje.

Cesta

| Podaci ceste: | |
|------------------------|--------------------------|
| Kategorija | lokalna cesta |
| Oznaka | 67040 |
| Naziv | Sinj (D1) - Otok (Ž6289) |
| Duljina kolnika [km] | 8.174 |
| Duljina pravca [km] | |
| Duljina s rampama [km] | 8.174 |
| Ostalo: | |
| Sadrži dionice | 1 |
| Podaci: | |
| Id | 3154 |

Slika 16 Službeni podaci Hrvatskih cesta o cesti odabranoj za aerofotogrametrijsko snimanje ⁵⁴

⁵⁴URL7: <https://geoportal.hrvatske-ceste.hr/gis> (pristupljeno: srpanj 2021.)



Slika 17 Aerodromska karta aerodroma Sinj ⁵⁵

⁵⁵URL8:

https://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/VFR_prirucnik/PDF/Charts/LD_AD_2_LDSS_2-ADC_en.pdf (pristupljeno: srpanj 2021.)

5.2 Pripremni radovi

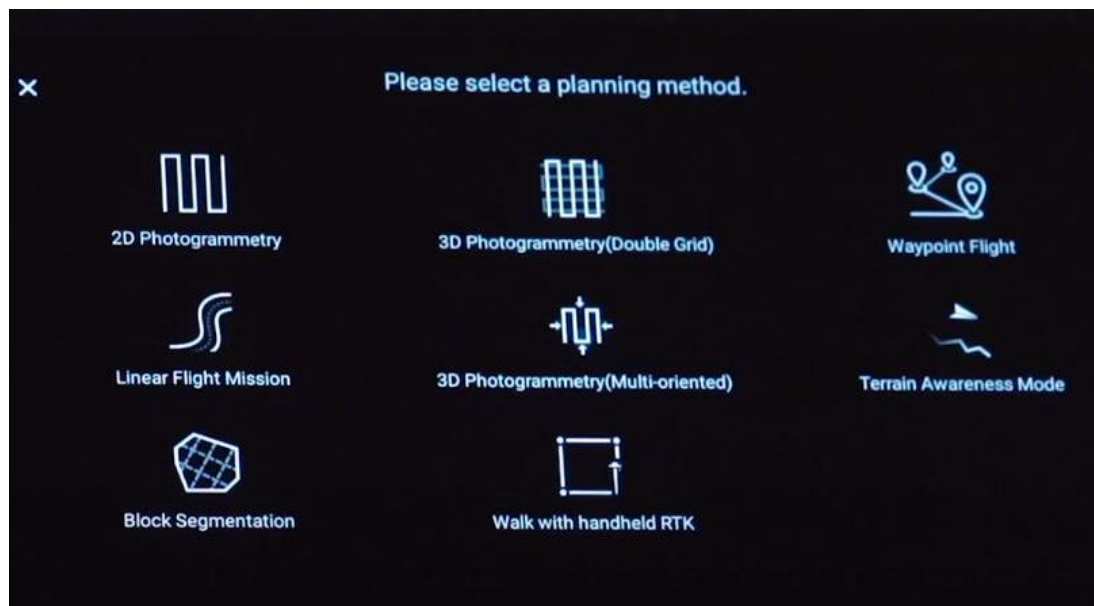
Najbitniji dio pripremnih radova podrazumijeva izradu plana leta koji definira početnu i završnu točku leta, trajektoriju po kojoj će bespilotna letjelica obavljati svoj let te zahvat unutar kojeg će prikupljati podatke. Ovaj dio procesa aerofotogrametrijskog snimanja izuzetno je bitan za kvalitetu i količinu prikupljenih podataka, ali i sigurnost samog leta. Pritom se ponajviše u obzir uzima vrsta područja snimanja i konfiguracija terena, primjerice je li i koliko gusto je naseljeno područje snimanja, postoje li visoki objekti kao potencijalne prepreke, pod kakvim nagibom je teren i sl. S time je neposredno povezana i sljedeća stavka oko planiranja leta, a to su preklopi snimaka. Naime, poprečni i uzdužni preklopi snimaka služe za izradu trodimenzionalnog (3D) modela snimljenog područja.

Za potrebe ovog rada, početna i završna točka leta odabrana je uz cestu, na čistini uz poljski put kako bi letjelica mogla neometano poletjeti i sletjeti te kako bi bila vidljiva tijekom čitavog leta (slika 18).



Slika 18 Područje odabrano za početnu i završnu točku leta

Aplikacija DJI GS RTK nudi više metoda planiranja leta koje su prikazane na slici 19, a pilot odabire onu koja je najprilagođenija za njegove potrebe.

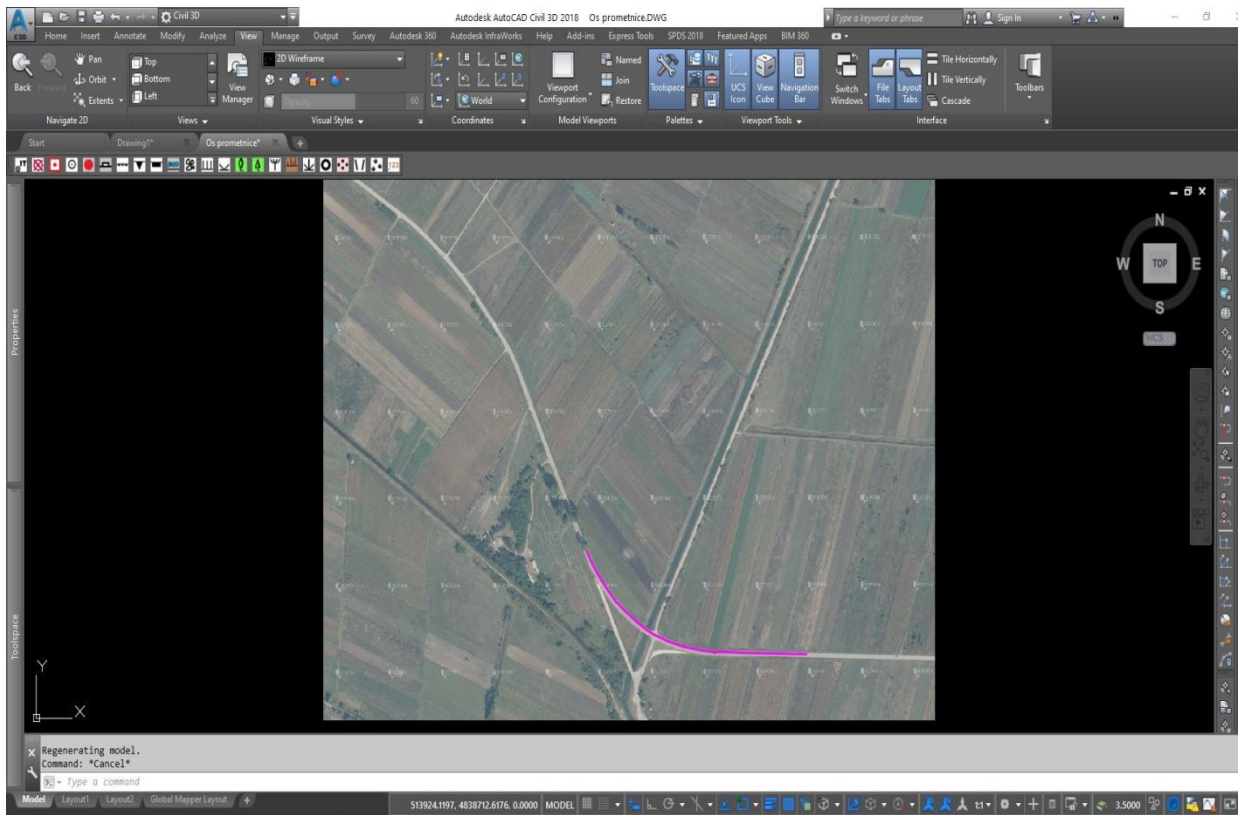


Slika 19 Sučelje aplikacije DJI GS RTK s metodama planiranja leta

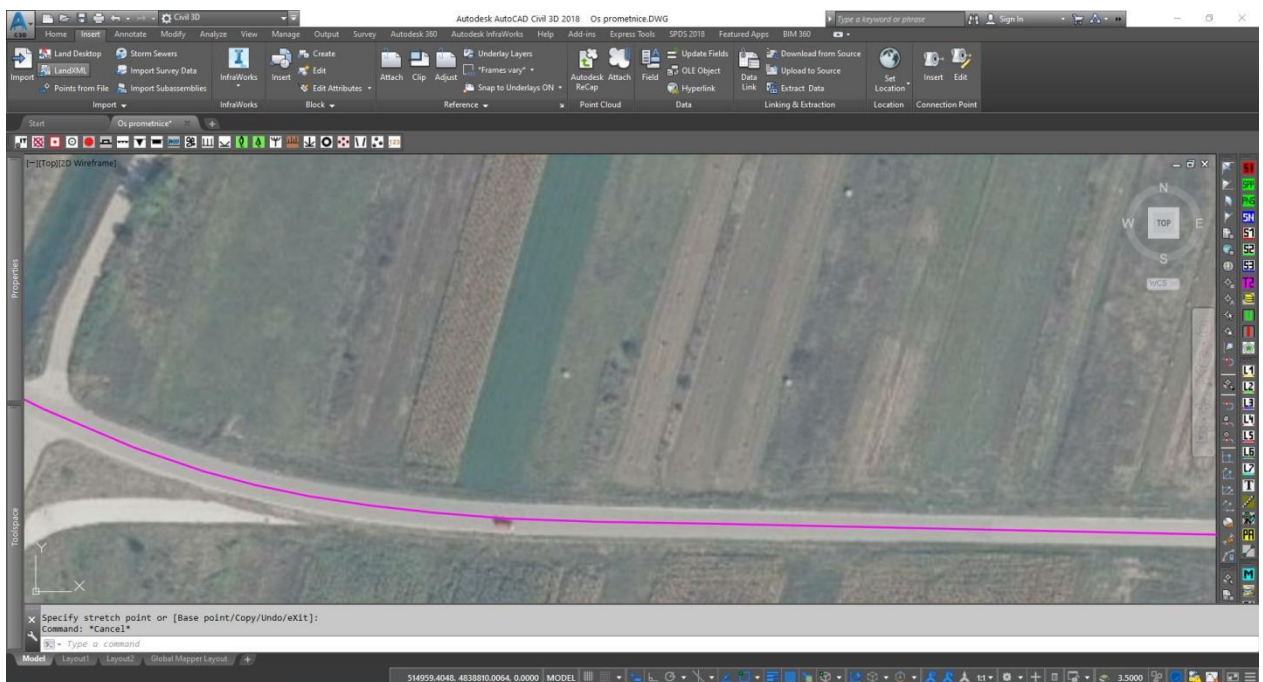
Tako je za potrebe ovog rada odabrana metoda Linear Flight Mission, ili metoda linijskog leta. Odabir je logičan s obzirom na sami naziv, budući da se kod ove metode radi o planiranju leta iznad linijskog objekta, a predmet snimanja za potrebe ovog rada je cesta.

Trajektorija leta se kod prometnica postavlja u njenoj osi koja je definirana projektom na osnovu kojeg je prometnica izgrađena. Aplikacija DJI GS RTK nudi dvije mogućnosti unošenja trajektorije leta: neposredno iscrtavanje na podlozi kojom aplikacija raspolaže ili unošenje (importiranje) vanjske datoteke u .kml (Keyhole Markup Language) formatu. To je standardizirani format koji je prilagođen za prikazivanje geoinformacija. Za potrebe ovog rada trajektorija leta je unesena kao vanjska datoteka, i to u svrhu postizanja veće točnosti. Naime, trajektorija je pripremljena u Autodesk-ovom softveru AutoCAD Civil 3d, u kojem je preko mrežnih usluga pregleda (WMS) Državne geodetske uprave (DGU) preuzeta službena digitalna ortofoto karta RH u mjerilu 1:5000 (DOF) iz 2019. godine za predmetno područje, te pomoću alata softvera precizno iscrtana linija osi ceste (slike 20 i 21). DOF kao podloga jamči veću točnost od podloge koju koristi DJI GS RTK, pogotovo jer je specijaliziran za područje RH i koristi se kao službena državna karta. Posljednji

korak u ovom postupku je izvoz (eksportiranje) iscrtane osi ceste u formatu .kml.

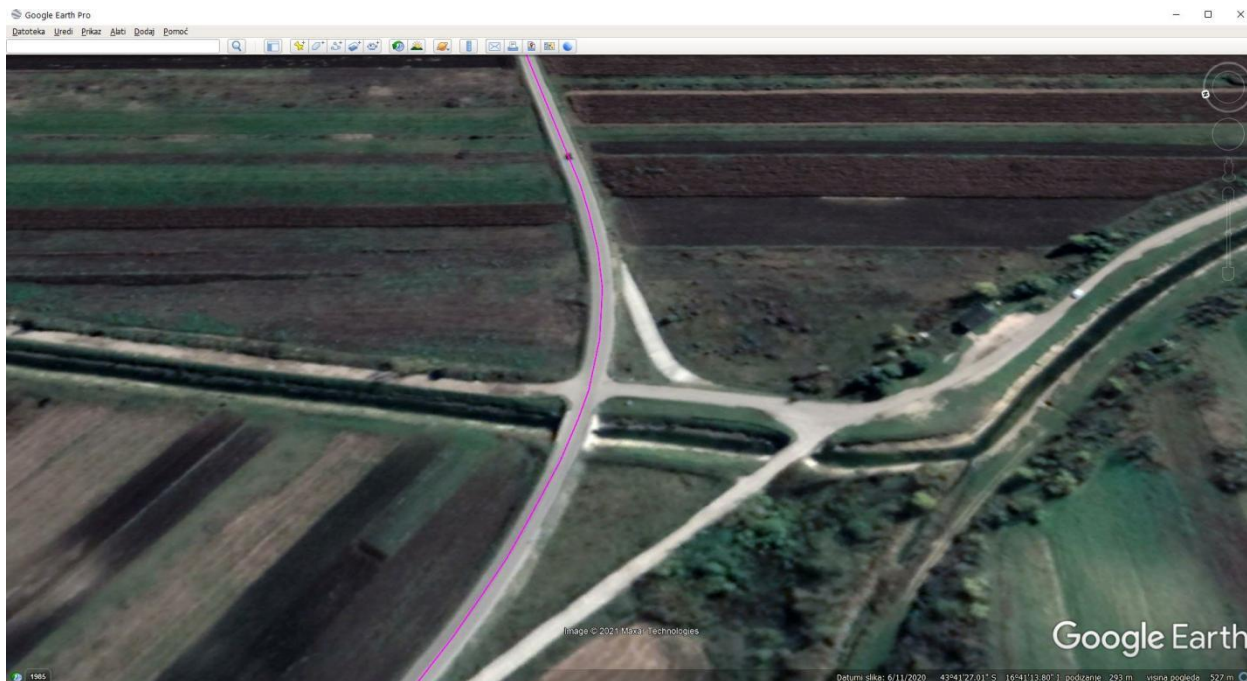


Slika 20 Iscrtavanje osi ceste u AutoCAD Civil 3d



Slika 21 Iscrtavanje osi ceste u AutoCAD Civil 3d (povećano)

Dodatno je iscrtana os ceste testirana pomoću programa Google Earth Pro na način da je neposredno učitana u program u .kml formatu, a sve kako bi se provjerilo odgovara li iscrtana os stvarnoj osi ceste (slika 22).

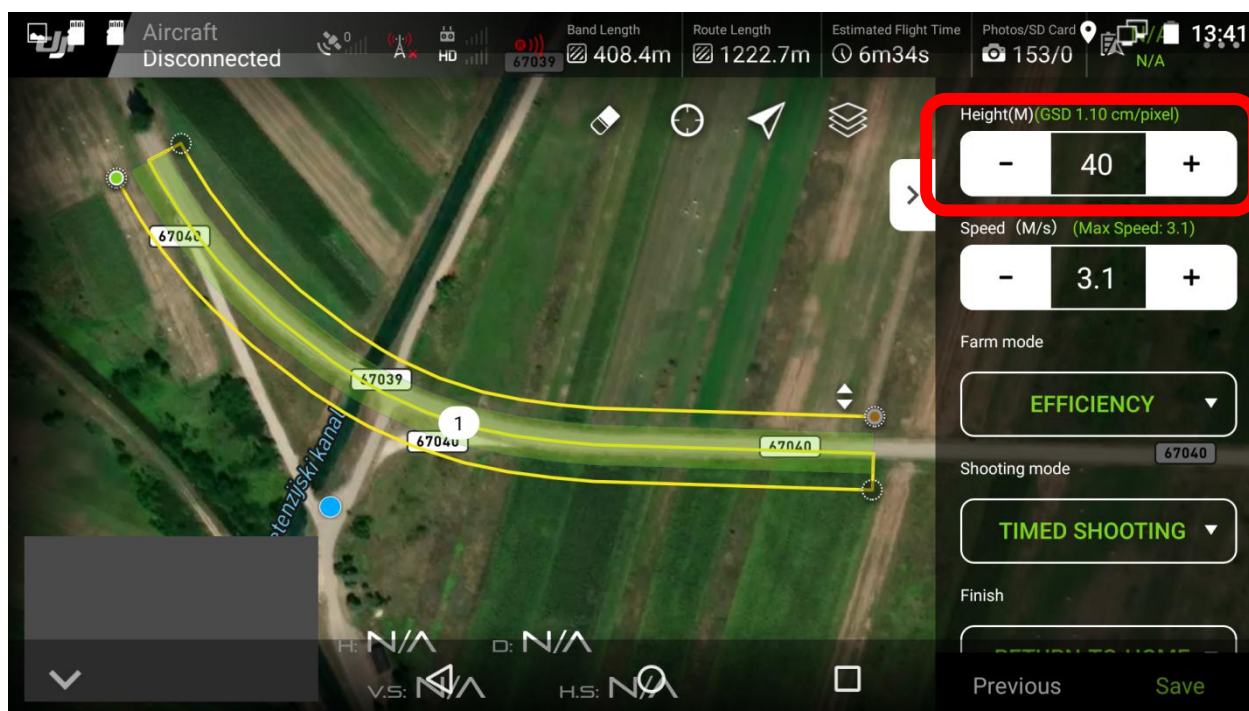


Slika 22 Os ceste u Google Earth Pro

Nakon unošenja trajektorije leta, metoda linijskog leta u aplikaciji traži dodatna podešenja prije leta.

Prije svega, metoda zahtijeva definiranje pojasa, odnosno širine snimanja. S obzirom na to da je prosječna širina ceste 6 m, za potrebe ovog leta postavljena je širina od 20 m (10 m sa svake strane osi ceste) jer je to najmanji mogući pojas snimanja.

Zatim, relativna visina leta postavljena je na 40 m iznad početne i završne točke leta kako bi se postigla visoka razlučivost, odnosno prikupila što veća količina podataka. To je najniža visina na kojoj je bio moguć let s obzirom na to da se u blizini zahvata leta nalazi nekoliko stabala viših od 30 metara. Iz postavljene visine aplikacija procjenjuje udaljenost uzorka na tlu (GSD) na snimkama koje će nastati tijekom leta, a koja za ovaj let iznosi 1,10 cm po pikselu (slika 23). Ta vrijednost pokazatelj je iznimno visoke razlučivosti snimljenog materijala.



Slika 23 Podešavanje visine leta u aplikaciji DJI GS RTK

Za let s dosad spomenutim postavkama maksimalna je moguća brzina iznosila 3,1 m/s ili 11,2 km/h.

Farm ili *Working mode* je opcija aplikacije kojom se definira područje snimanja, a odabrana opcija *Efficiency* definira područje snimanja točno unutar postavljenog pojasa snimanja (20 m).

Shooting mode ili metoda okidanja snimki (fotografija) nudi mogućnost postavljanja vremenskog intervala (*Timed Shooting*) ili fiksne udaljenosti (*Distance Shooting*) između svakog okidanja snimke. Uobičajena je postavka vremenski interval pa je tako odabrano i kod ovog leta.

Postavka *Finish* određuje ponašanje bespilotne letjelice po završetku leta, a uobičajena je postavka *Return to Home* ili povratak na početnu točku leta.

Posljednja postavka koju je neophodno postaviti je poprečni i uzdužni preklop snimki. Za poprečni preklop (*Horizontal Overlapping Rate*) postavljena je preporučena vrijednost od 70 posto, a uzdužni je preklop (*Vertical Overlapping Rate*) povećan na 80 posto kako bi se dobio što bolji proizvod snimanja s obzirom na to da je predmet snimanja uzdužni objekt.



Slika 24 Podešavanje poprečnog i uzdužnog preklopa snimki u aplikaciji DJI GS RTK

Osim opisanih pripremnih radova, tu spada i meteorološka prognoza o kojoj ovisi kada će se obaviti let. Naime, prije leta prati se meteorološka prognoza kako bi se odredio najpogodniji vremenski interval za sami let. Snažan vjetar i padaline spadaju u nepogodne meteorološke uvjete za let, dok su idealni vremenski uvjeti oblačan period bez vjetra. Vjetar utječe na let na način da otežava bespilotnoj letjelici pratiti isplaniranu trajektoriju, a oblačan period je najpogodniji jer snimljeni objekti nemaju sjene. Iz istog razloga treba, ako je sunčano vrijeme, voditi računa da se let obavlja što bliže sredini dana, odnosno podnevu, jer su sjene snimljenih objekata najmanje.

5.3 Let

Slijedeći prethodno napisano, letovi za potrebe ovog rada obavljani su u srpnju ove godine, na dan za koji je prethodno provjereno kako su meteorološki uvjeti prikladni za obavljanje leta. To znači da nije bilo vjetra, a budući da je bilo sunčano, letovi su obavljani između 13:50 i 14:15 sati, s ukupnim trajanjem od gotovo 22 min.

Obavljena su ukupno tri leta, svaki u trajanju od otprilike 7 min, a razlikuju se u nagibu kamere. Naime, prvi let obavljen je s kutom kamere od -90° , odnosno zraka

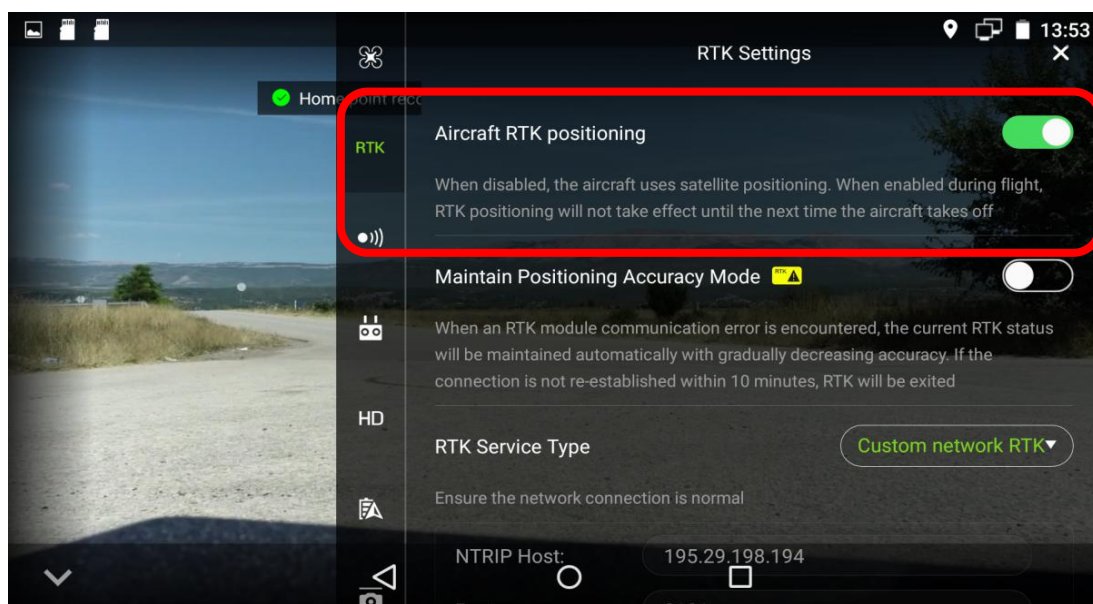
kamere postavljena je vertikalno u prostoru. Kod drugog leta nagib kamere je bio -60°, a kod trećeg -45°, što je ujedno najveći dopušteni nagib kamere, odnosno odklon od vertikale kod linijske metode leta. Razlog zbog kojeg su obavljena tri leta s različitim nagibom kamere je usporedba dobivenih fotografija, u svrhu odabira najpovoljnijeg nagiba kamere za prikupljanje što većeg broja prometnih geoinformacija.

Postupak leta započinje postavljanjem bespilotne letjelice na početnu točku leta (slika 25) i pokretanjem sustava bespilotne letjelice i daljinskog upravljača. Nakon toga se na zaslonu upravljača pokreće aplikacija DJI GS RTK (slika 15) i radijska veza pomoću kojeg se upravljač povezuje s letjelicom.



Slika 25 Početna i završna točka leta

Nakon radijske veze, pokreće se automatski i GNSS sustav koji određuje položaj letjelice, dok se opcija RTK pozicioniranja letjelice pokreće po volji pilota, i to u RTK postavkama u aplikaciji DJI GS RTK (slika 26).



Slika 26 Uključivanje opcije RTK pozicioniranja letjelice u aplikaciji

Nakon što je ova opcija uključena, položaj i visina letjelice određuju se visokom preciznošću (horizontalno 1 cm + 1 ppm i vertikalno 1,5 cm + 1 ppm). To je garancija visoke preciznosti kod samog leta, poglavito visinske komponente budući da je relativna visina određena u odnosu na početnu točku leta.

Sami let, odnosno snimanje iz zraka potpuno je automatiziran proces, od uzlijetanja do slijetanja, tako da pilot, nakon što započne proces snimanja iz zraka, odnosno nakon što letjelica započne s uzlijetanjem, prati tijek letenja i reagira samo ako dođe do nepredviđenih situacija.

5.4 Obrada prikupljenih podataka

Nakon što je let obavljen, prikupljeni sirovi podaci preneseni su iz bespilotne letjelice u računalo pomoću USB kabela. Ti podaci su zapravo niz neobrađenih georeferenciranih fotografija. Aplikacija DJI GS RTK nema mogućnost obrade prikupljenih podataka, stoga je nužno koristiti softver specijaliziran za tu svrhu. Jedan od najpoznatijih za obradu fotogrametrijskih snimaka jest Pix4Dmapper, softver razvijen 2011. godine od istoimene švicarske kompanije.



Slika 27 Logo kompanije Pix4d

5.4.1 Princip rada softvera Pix4Dmapper

Ovaj softver utemeljen je na principu automatiziranog traženja identičnih točaka na fotografijama. Na svakoj fotografiji softver traži karakterističnu prepoznatljivu značajku koja se naziva ključna točka (engl. keypoint). Kad prepozna dvije ključne točke na dvije različite fotografije kao jednake, klasificira ih kao uparene ključne točke (engl. matched keypoints). Na taj način svaka skupina pravilno uparenih ključnih točaka čini jednu 3D točku.⁵⁶ Neophodan uvjet da bi se uspješno odredile 3D koordinate jedne ključne točke je da se ta točka pojavljuje na barem tri različite fotografije. Broj prepoznatih ključnih točaka u neposrednoj je korelaciji s teksturom i razlučivosti fotografija, što znači da kompleksne fotografije visoke razlučivosti daju najviše uspješno izdvojenih ključnih točaka.⁵⁷

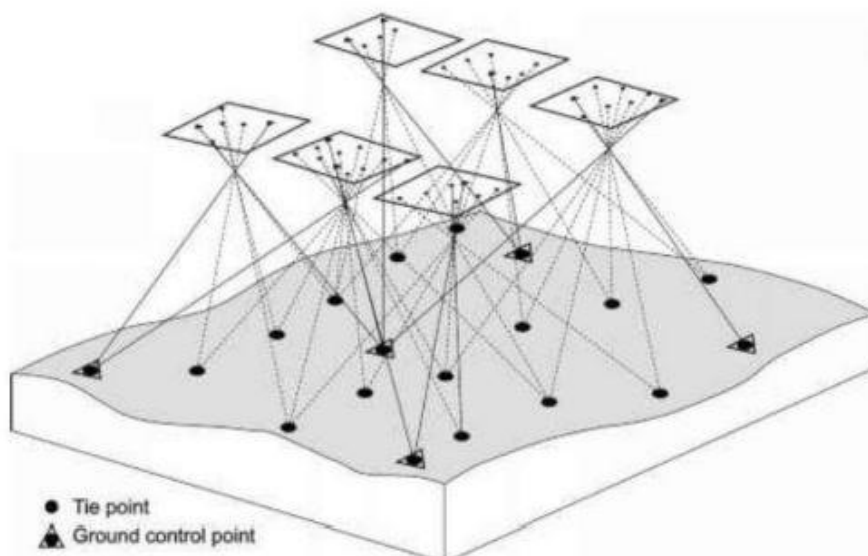
Algoritmi softvera Pix4Dmapper rade na vrlo sličnim principima kao i stereoskopska fotogrametrija, s bitnom prednosti ovog softvera što omogućuje određivanje unutarnjih i vanjskih orijentacijskih parametara kamere istovremeno s rekonstrukcijom geometrije trodimenzionalnog područja snimanja na temelju prikupljenih fotografija.

Osnovni algoritam ovog softvera je algoritam izjednačenja zrakovnih snopova (engl. Bundle Block Adjustment, BBA) ili prostorna triangulacija. Zrakovni snopovi odnose se na snopove svjetlosnih zraka koje imaju zajedničko ishodište u

⁵⁶URL9: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/categories/360001503192> (pristupljeno: srpanj 2021.)

⁵⁷Sanseović, S. *Izmjera i vizualizacija crkve Sv. Mihovila u Dolu na Hvaru*, Diplomski rad, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, HR;2017.

promatranoj točki 3D modela, a završavaju u optičkom centru svakog pojedinog stajališta kamere (slika 28), što implicira da se radi o postupku uparivanja fotografija⁵⁸.



Slika 28 Princip izjednačenja zrakovnih snopova⁵⁹

5.4.2 Oblak točaka i teksturirani plošni model

Kod izjednačenja zrakovnih snopova prisutan je matematički postupak istovremene optimizacije parametara kamere i trodimenzionalnih koordinata koje opisuju geometriju snimljenog područja. Parametri kamere se odnose na vanjsku i unutarnju orijentaciju kamere. Vanjska orijentacija definirana je položajem i orijentacijom kamere u odnosu na snimljeno područje, a unutarnja orijentacija opisuje karakteristike optičkog sustava kamere koji su konstantni i mogu se „a priori“ odrediti. Algoritam izjednačenja zrakovnih snopova ponavljajućim (iterativnim) postupkom istovremeno popravljaju inicijalne parametre kamere te parametre geometrijske strukture snimljenog područja, kako bi se odredio skup parametara koji najtočnije pretpostavljaju položaj opažanih točaka prostornom koordinatnom sustavu. Rezultat ovog postupka je stvaranje oblaka točaka (engl. point cloud), odnosno skupa veznih točaka (engl. automatic tie points) koje, zajedno s pripadajućim ključnim točkama koje se koriste za računanje njihovog prostornog položaja, predstavljaju 3D točke u

⁵⁸URL10: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/categories/360001503192> (pristupljeno: srpanj 2021.)

⁵⁹Sanseović, S. *Izmjera i vizualizacija crkve Sv. Mihovila u Dolu na Hvaru*, Diplomski rad, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, HR;2017.

prostoru koje u konačnici služi za rekonstrukciju geometrije snimljenog područja⁶⁰. Svaka tako nastala točka jednoznačno je definirana svojim koordinatama (položajem i visinom) te atributom boje (Red Green Blue ili RGB vrijednosti).

Tako nastali oblak točaka rijedak je s obzirom na količinu prikupljenih podataka, pa se pristupa njegovom progušćavanju, odnosno rekonstrukciji gustog oblaka točaka (engl. densified point cloud). Gusti oblak točaka se dobiva primjenom dvaju matematičkih algoritama. Prvi algoritam razlaže preklapljene fotografije na manje podskupove kako bi matematičke operacije s njima bile jednostavnije, a zatim drugi provodi nezavisnu rekonstrukciju trodimenzionalnih elemenata svakog pojedinog podskupa. Rezultat ovog procesa je značajno povećanje u gustoći oblaka točaka; uobičajeno je povećanje broja točaka u oblaku za dva ili više redova veličine.⁶¹

Paralelno s nastankom oblaka točaka, Pix4Dmapper stvara i teksturirani plošni model (engl. 3d textured mesh). To je mreža trokutova koja predstavlja snimljeno područje ili objekt, a nastaje na način da se točke gustog oblaka točaka međusobno povezuju u manje trokutaste elemente. Tekstura poprima boju iz vrijednosti svake pojedine točke (RGB vrijednost točke) koja je uključena u izradi modela, čime poprima realan prikaz. Za razliku od gustog oblaka točaka, kod teksturiranog plošnog modela treba imati na umu da je naglasak na vizualizaciji, a ne na geometrijskoj točnosti modela pa se ne preporučuje njegovo korištenje za obavljanje pojedinih mjerenja.

5.4.3 Ortofoto prikaz

Nakon što su izrađeni oblak točaka i teksturirani plošni model, naredni korak u obradi podataka kod Pix4Dmappera je izrada ortofoto prikaza. To je dvodimenzionalni prikaz snimljenog područja kojem je mjerilo u potpunosti ujednačeno, što znači da su fotografije iz kamere nastale u centralnoj projekciji u potpunosti prevedene u ortogonalnu projekciju. Ovaj matematički složen postupak u

⁶⁰Sanseović, S. *Izmjera i vizualizacija crkve Sv. Mihovila u Dolu na Hvaru*, Diplomski rad, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, HR;2017.

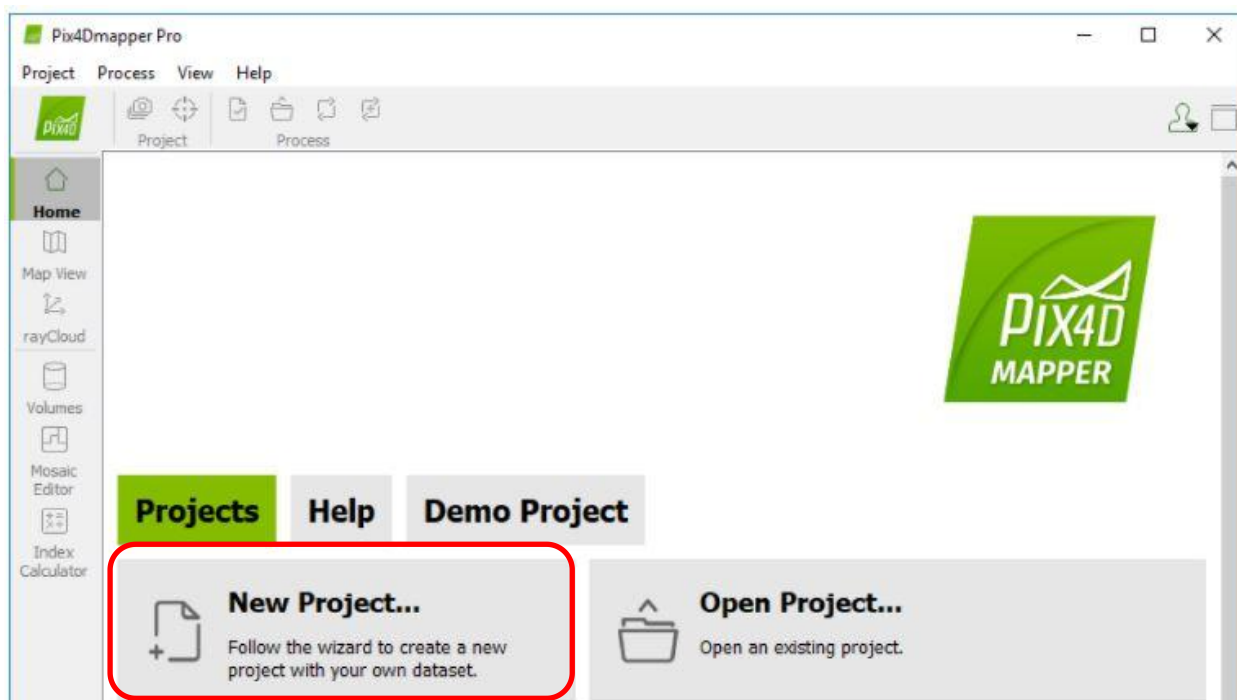
⁶¹URL11: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/categories/360001503192> (pristupljeno: srpanj 2021.)

Pix4Dmapperu do kraja je automatiziran. Činjenica da je mjerilo ujednačeno na čitavom ortofoto prikazu sugerira veliku prednost ovakve predstave snimljenog područja, a to je da ga čini mjerljivim. Naime, pomoću alata softvera koji je pogodan za mjerenje (npr. AutoCAD Civil 3d) moguće je položajno izmjeriti, odnosno odrediti dimenzije i udaljenosti na cijelom snimljenom području, i to s jako visokom točnošću.

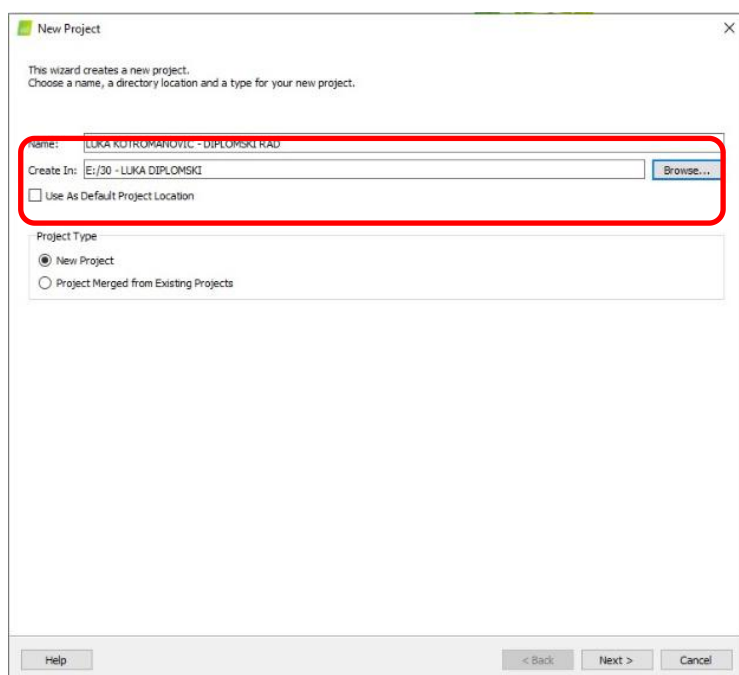
5.4.4 Postupak obrade prikupljenih podataka snimljene ceste

U ovom potpoglavlju prikazani su koraci u postupku obrade prikupljenih podataka snimljene ceste prema principima rada softvera Pix4Dmappera opisanim u prethodnim potpoglavljima. U obradu su uključene sve fotografije dobivene s nagibima kamere od -45° i -60° .

Pri pokretanju softvera ponuđena je opcija otvaranja novog projekta (slika 29), nakon kojeg slijedi njegovo definiranje. Prvi korak je upisivanje naziva projekta i putanje u kojem će se pohraniti na računalu (slika 30).

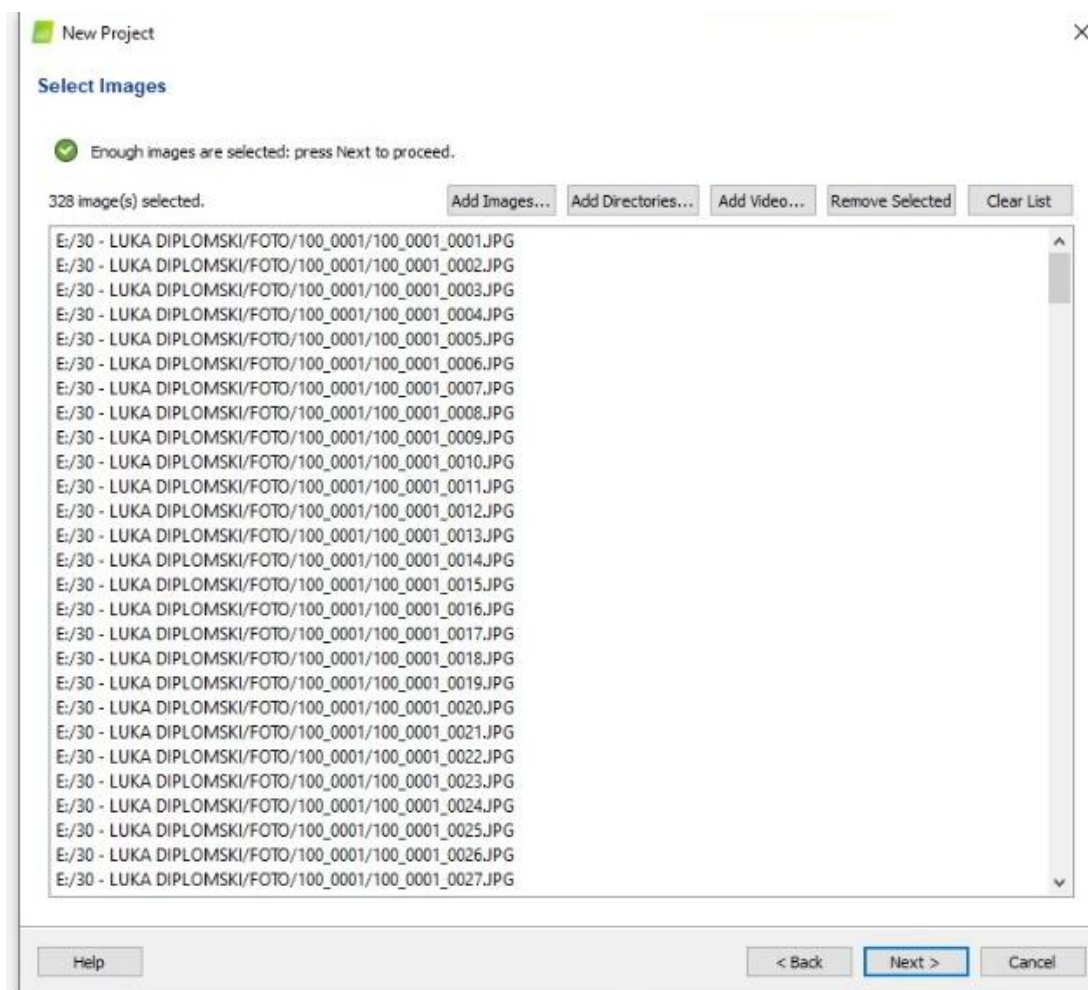


Slika 29 Otvaranje novog projekta u softveru Pix4Dmapper

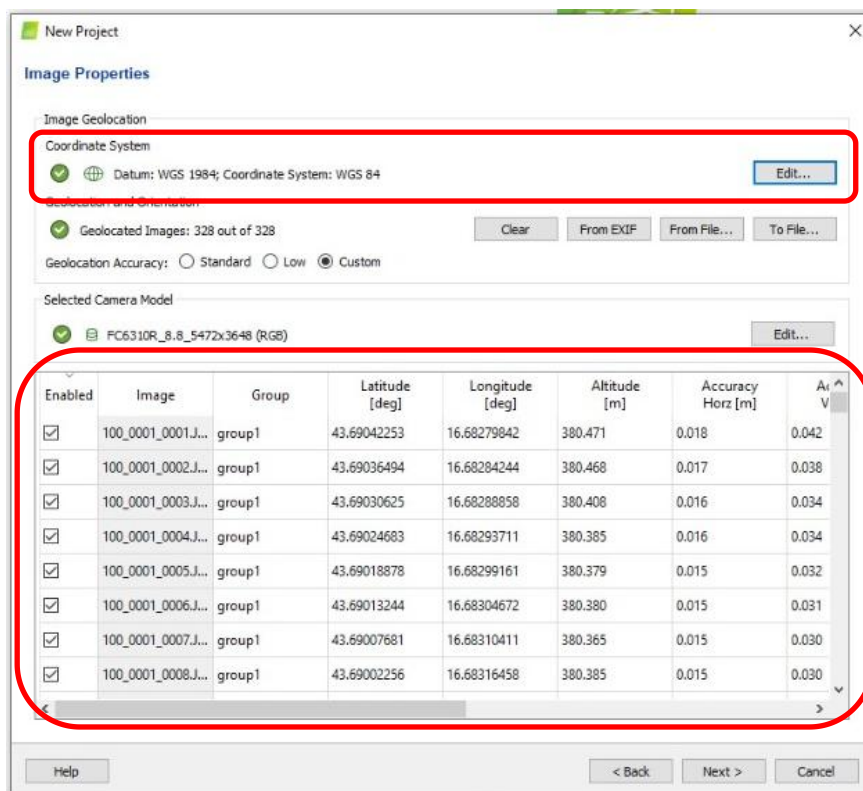


Slika 30 Upis naziva projekta i putanje za pohranu

Potom su u softver učitane fotografije prikupljene snimanjem iz zraka (slika 31), a s obzirom na to da je riječ o georeferenciranim fotografijama, u narednom koraku softver nudi mogućnost promjene ulaznog koordinatnog sustava WGS84, te kreira tablicu u kojoj su prikazane sve učitane fotografije s pripadnim elipsoidnim koordinatama i točnosti (slika 32).

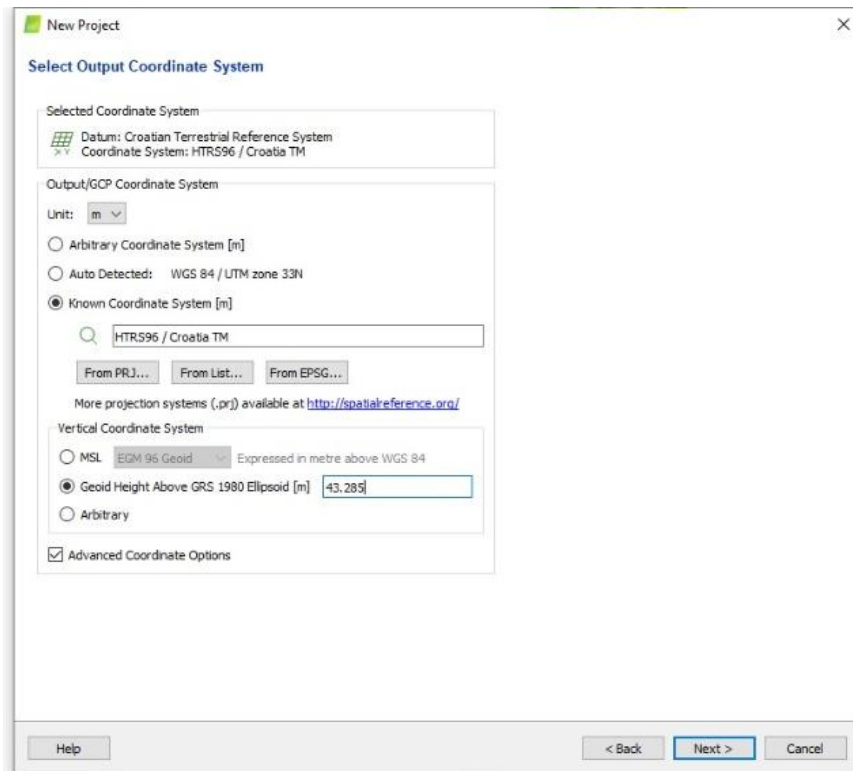


Slika 31 Učitavanje fotografija prikupljenih snimanjem iz zraka



Slika 32 Definiranje ulaznog koordinatnog sustava i popis učitanih fotografija

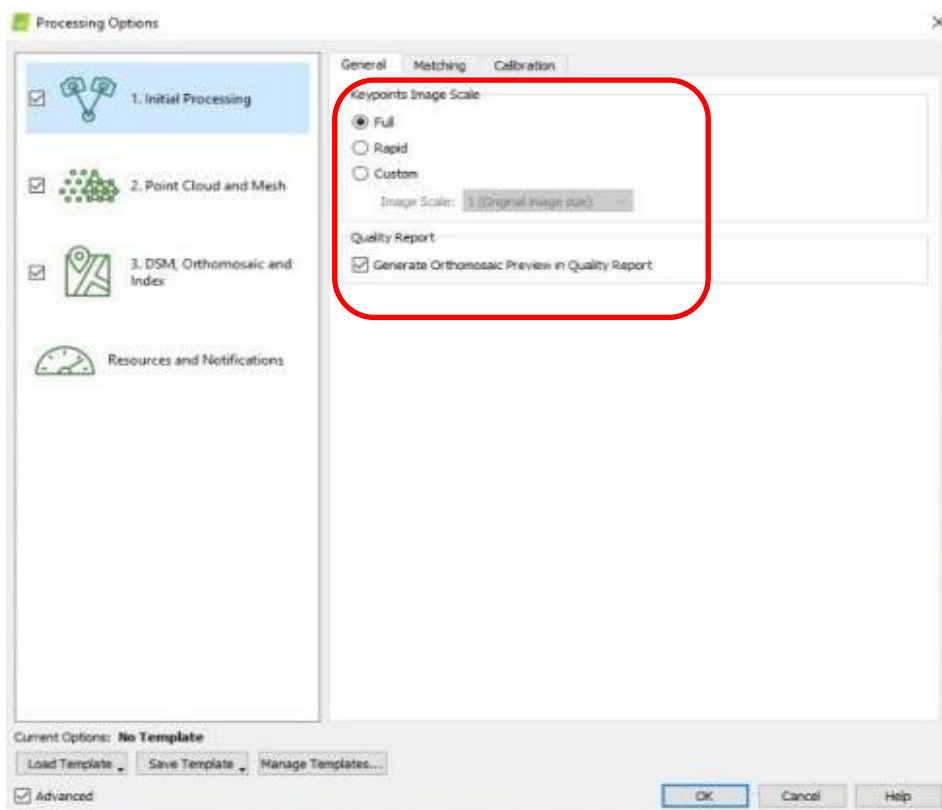
Nakon što je određen ulazni koordinatni sustav s učitanim fotografijama, potrebno je odrediti i izlazni koordinatni sustav. Za potrebe ovog rada odabran je službeni položajni koordinatni sustav RH HTRS96 s pripadnom poprečnom Mercatorovom projekcijom, a za definiciju visinskog sustava odabran je službeni elipsoid za područje RH pod nazivom GRS80 (slika 33). Prilikom odabira elipsoida, potrebno je upisati iznos geoidnu undulaciju za područje snimanja, odnosno visinsku razliku između geoida i spomenutog elipsoida. Ta vrijednost dobivena je pomoću službenog programa za transformaciju koordinata RH T7D razvijenog od Državne geodetske uprave, i iznosi 43,29 m.



Slika 33 Odabir izlaznog koordinatnog sustava

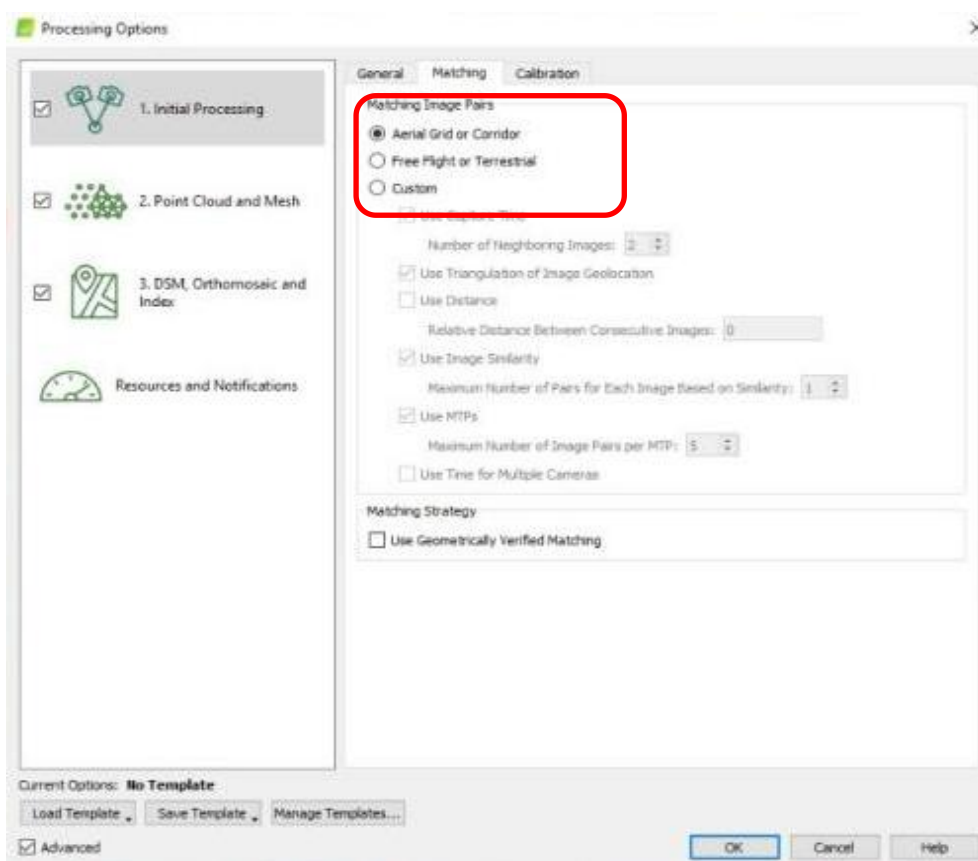
Nakon definiranja projekta, softver pokreće obradu ulaznih podataka koja je podijeljena u tri koraka.

Prvi od njih je inicijalni proces (engl. Initial process) koji izvršava postupke opisane u potpoglavlju 5.4.1. *Princip rada softvera Pix4Dmapper*, s naglaskom na algoritam izjednačenja zrakovnih snopova. Postavke inicijalnog procesa koje je moguće podešavati podijeljene su na opće (General), postavke povezivanja fotografija (Matching) i kalibracijske (Calibration). U općim postavkama za veličinu sirove fotografije na kojoj će softver tražiti ključne točke odabrana je cijela (Full) veličina, te je odabrana opcija uključivanja ortofoto prikaza u izvješće o kvaliteti aerofotogrametrijskog snimanja (Quality Report).



Slika 34 Opće postavke inicijalnog procesa obrade podataka

Kod postavki povezivanja fotografija odabrano je optimiziranje povezivanja fotografija prilagođeno linijskom letu (Areal Grid or Corridor) s obzirom na to da je predmet snimanja linijski objekt.

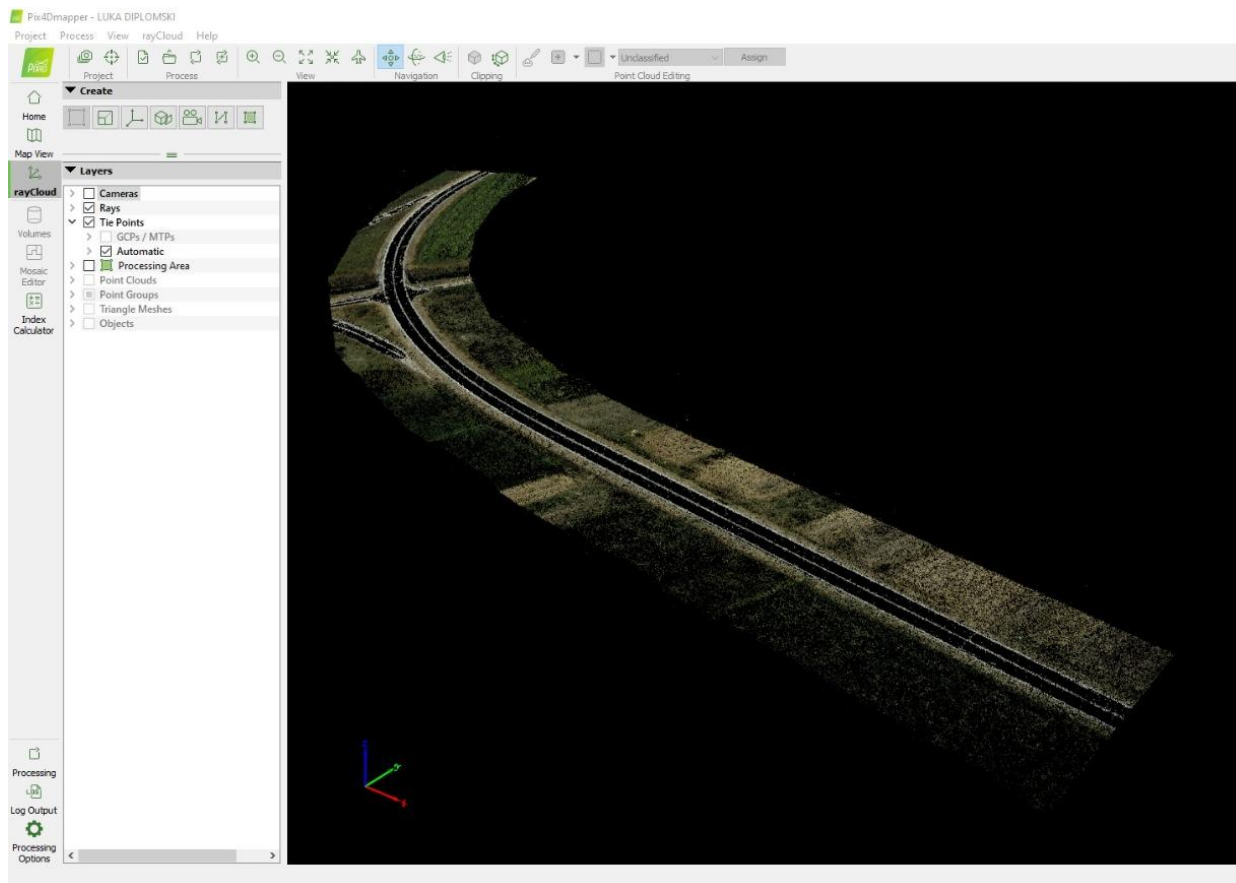


Slika 35 Postavke povezivanja fotografija inicijalnog procesa obrade podataka

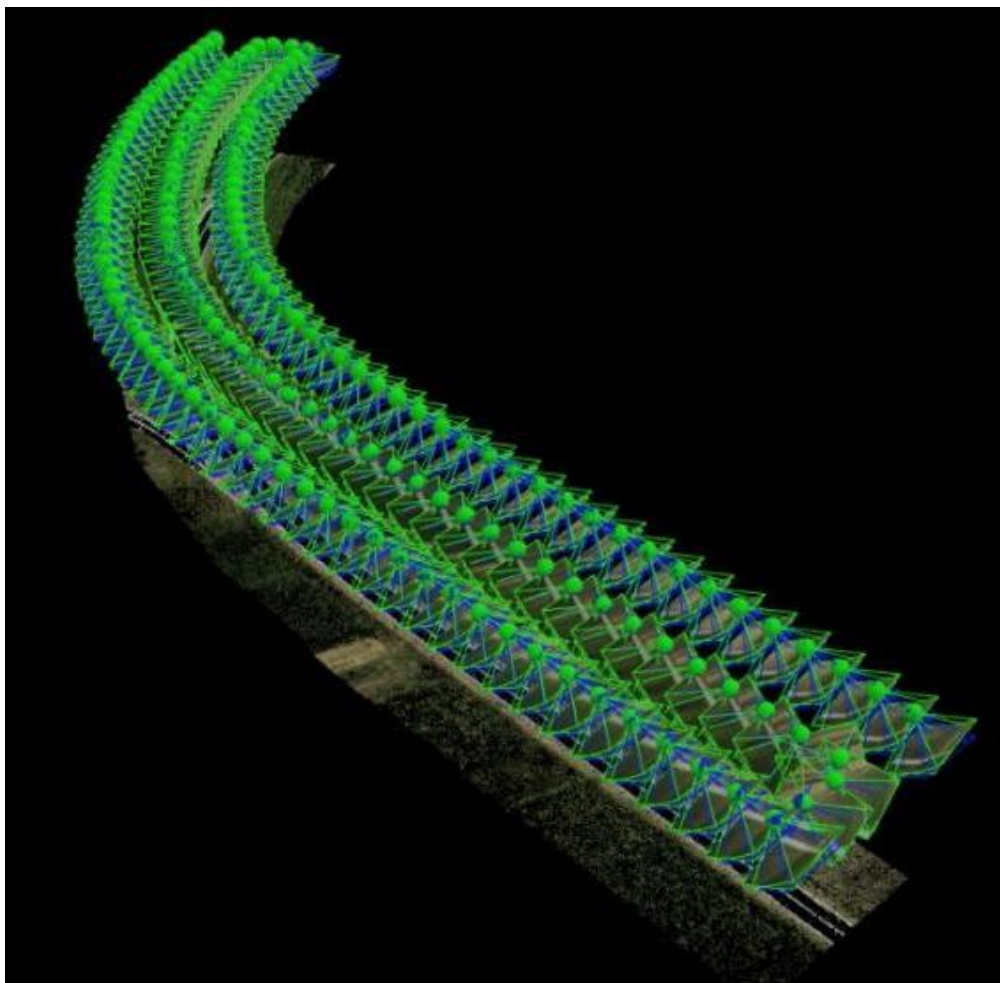
Kalibracijske postavke omogućavaju odabir metode kalibracije kamere, odnosno parametara njene unutarnje i vanjske orijentacije, te softver nudi odabir preporučenih (Standard) postavki. Preporučene postavke su najčešće optimalne pa je tako i u ovom slučaju odabrano.

Nakon što su odabrane sve postavke inicijalnog procesa, pokrenut je proces koji je trajao 1 sat i 36 min.

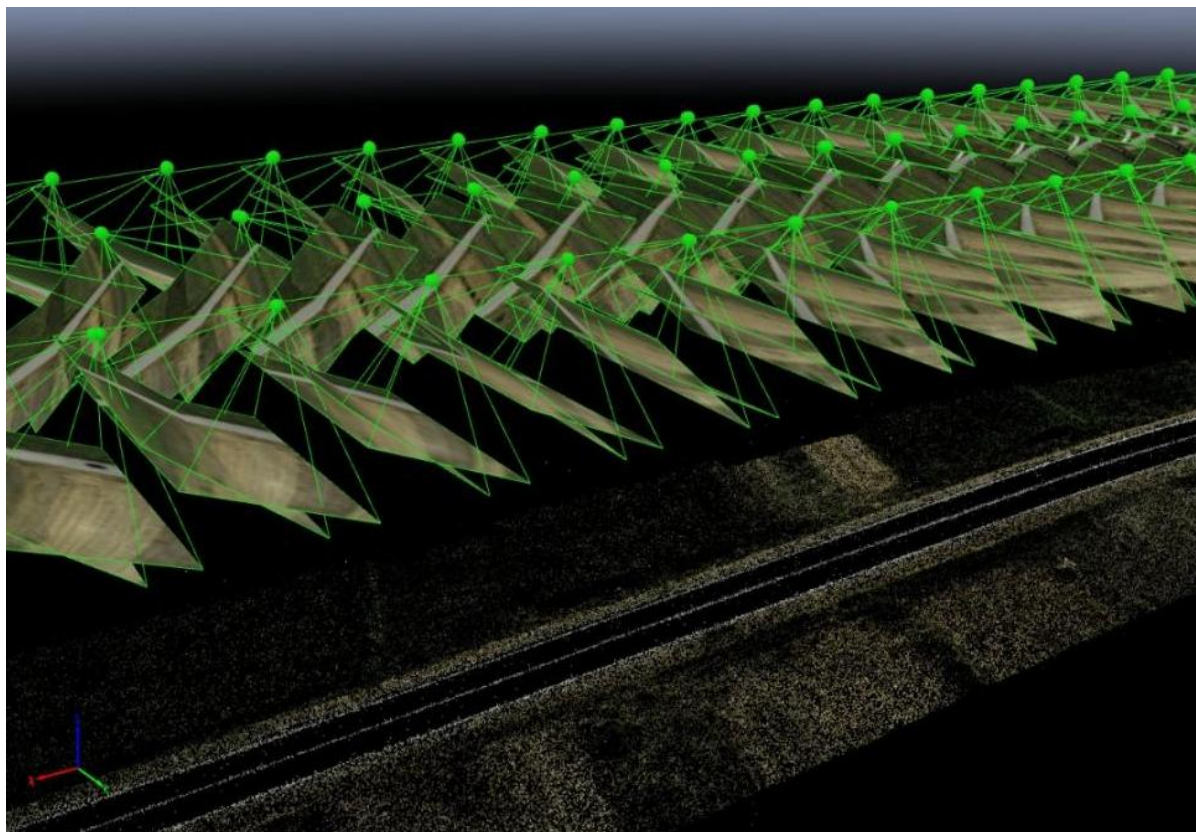
Rezultat inicijalnog procesa je skup ključnih točaka prikazanih na slici 36, nastalih uparivanjem fotografija te računanjem optimalnih elemenata orijentacije kamere (slike 37 i 38). Na slici 38 je vidljivo i da su u obradu uključene sve snimljene fotografije nastale s različitim nagibom kamere tijekom leta, i to one s nagibom od -45° i -60° jer su prilagođenije vizualizaciji uspravnih objekata.



Slika 36 Ključne točke snimljenog područja



Slika 37 Uparivanje fotografija i računanje optimalnih elemenata orijentacije kamere



Slika 38 Obrada fotografija nastalih s nagibom kamere od -45° i -60°

Drugi korak obrade podataka jest stvaranje oblaka točaka i teksturiranog plošnog modela (Point cloud and Mesh), a pokreće se nakon što je inicijalni proces završen. Postavke ovog koraka dijele se na postavke oblaka točaka (Point cloud), postavke teksturiranog plošnog modela (Mesh) i napredne postavke (Advanced).

Kod postavki oblaka točaka, odabiru se parametri gustoće oblaka točaka, njegova klasifikacija te format izvoza. Kod parametara gustoće, odabrana je originalna veličina fotografije (Original Image size) što znači da softver izračunava dodatne 3D točke na cijeloj fotografiji. Ovaj parametar uvelike doprinosi gustoći oblaka točaka, pogotovo ako se uzme u obzir da je preporučeni parametar polovica fotografije (Half image size). Kod drugog parametra je neposredno odabrana visoka gustoća oblaka točaka (High), a kod trećeg je odabrana vrijednost tri (3) za minimalni broj fotografija na kojima se mora detektirati točka kako bi se definirala kao 3D točka.

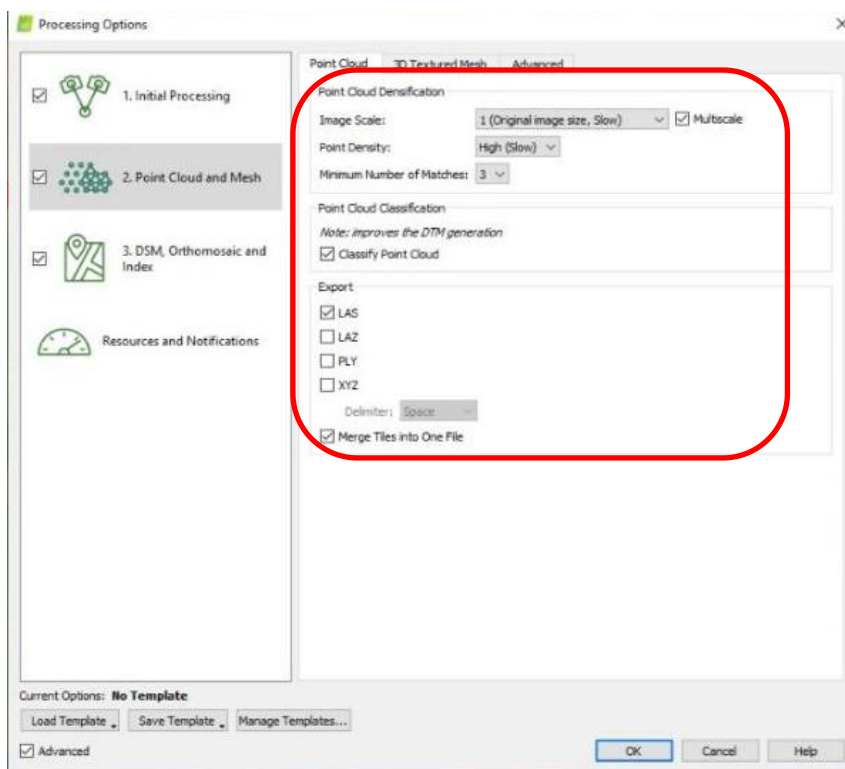
Klasifikacija oblaka točaka predstavlja podjelu točaka u klase (grupe) s obzirom na to što na snimljenom području predstavljaju, a klase su:

- visoka vegetacija (High Vegetation),

- teren (Ground),
- ceste (Road Surface),
- građevine (Building) i
- manji objekti (Human Made Object).

Klasifikacija oblaka točaka automatiziran je proces koji se obavlja pomoću algoritama softvera, a cilj joj je svakoj točki u oblaku točaka dodijeliti atribut prema gore napisanim klasama. Ako softver pojedinoj točki ne uspije dodijeliti klasu, zato što algoritmi nisu prepoznali točku u jednoj od predefiniраниh klasa, kao atribut klasifikacije te točke pisat će Neklasificirano (Unclassified). Klasifikacija točaka je opcionalna, ali je poželjna radi kasnije manipulacije oblakom točaka i poboljšanja stvaranja digitalnog modela terena (engl. Digital Terrain Model ili DTM) pa je ta mogućnost u ovom slučaju odabrana.

Kao format izvoza oblaka točaka iz softvera odabran je LAS (LASer) format, rasprostranjeni format za razmjenu i arhiviranje oblaka točaka.



Slika 39 Postavke oblaka točaka

Prema izvješću o kvaliteti aerofotogrametrijskog snimanja koje se kreira na kraju obrade, proces izrade i klasifikacije oblaka točaka trajao je malo manje od 50 min (slika 40), a u tom procesu stvoreno je više od 24 milijuna 3D točaka, s prosječnom gustoćom od 1348 točaka po kubnom metru (slika 41).

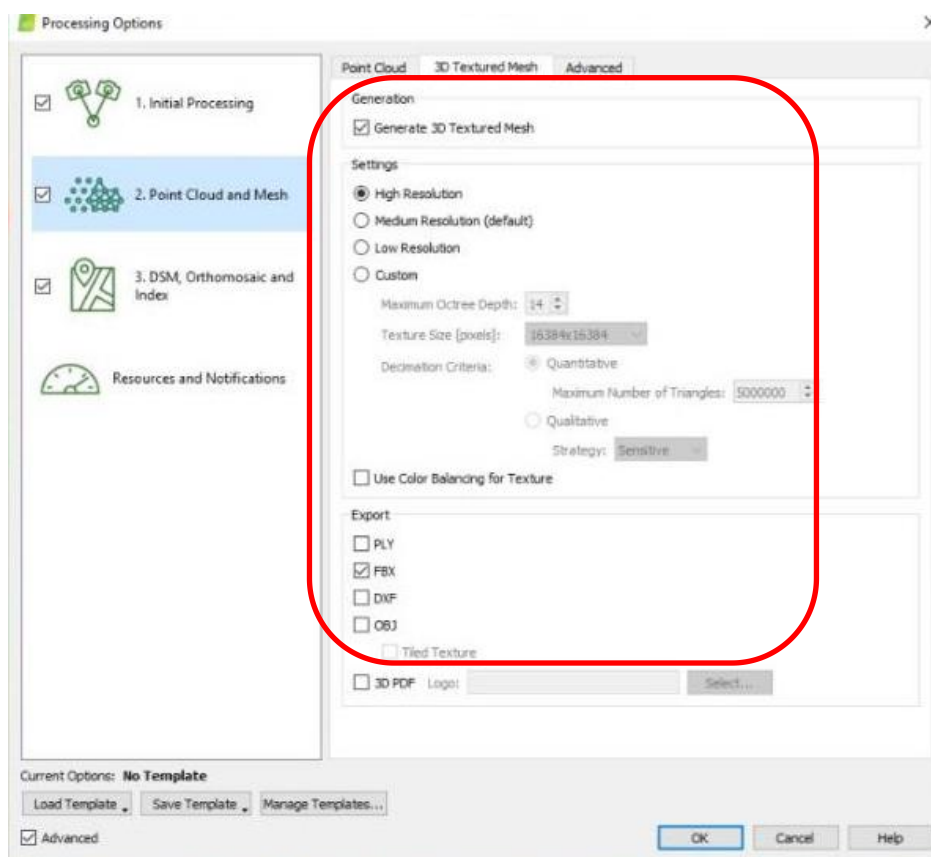
| | |
|-------------------------------------|---------|
| Time for Point Cloud Densification | 47m:08s |
| Time for Point Cloud Classification | 01m:48s |

Slika 40 Trajanje izrade i klasifikacije oblaka točaka

| Results | |
|---------------------------------------|----------|
| Number of Generated Tiles | 1 |
| Number of 3D Densified Points | 24343347 |
| Average Density (per m ³) | 1347.89 |

Slika 41 Rezultati obrade oblaka točaka

U drugom koraku obrade podataka Point cloud and Mesh teksturirani plošni model je proizvoljan, pa je u njegovim postavkama najprije odabrana opcija njegove izrade (Generate 3D Textured Mesh). Potom je odabrana njegova razlučivost, i to visoka (High) kako bi se doprinijelo vizualizaciji, a kao izvozni format odabran je FBX, Autodeskov format za razmjenu, obradu i stvaranje digitalnog sadržaja.



Slika 42 Postavke teksturiranog plošnog modela

Prema izvješću o kvaliteti aerofotogrametrijskog snimanja, proces izrade teksturiranog plošnog modela trajao je nešto duže od 20 min.

| | |
|--------------------------------------|---------|
| Time for 3D Textured Mesh Generation | 20m:25s |
|--------------------------------------|---------|

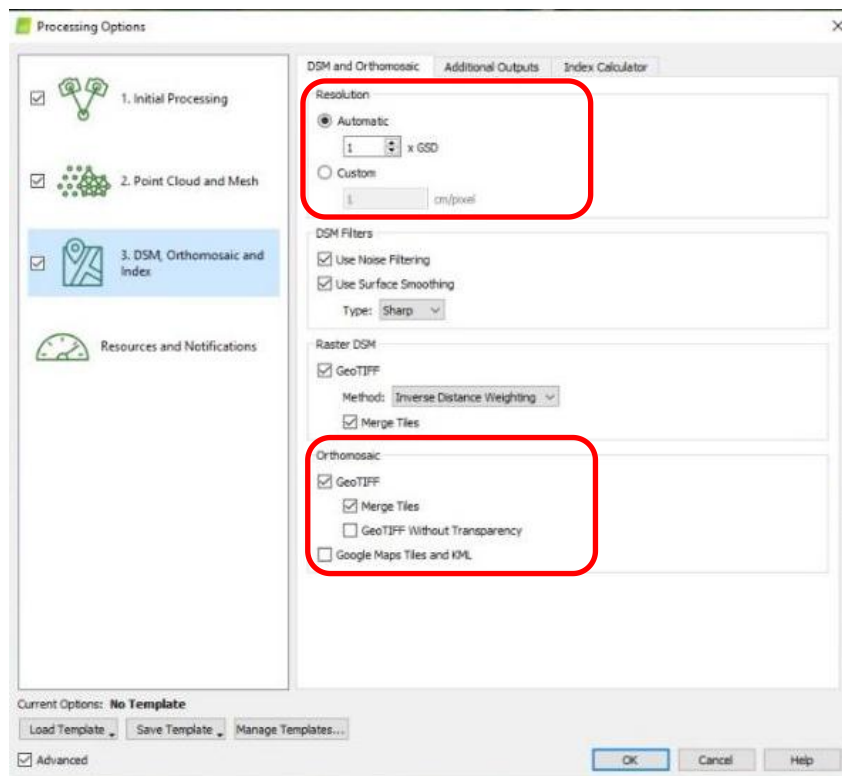
Slika 43 Trajanje izrade teksturiranog plošnog modela

Napredne postavke (Advanced) nude dodatne mogućnosti prethodno definiranih postavki, a u ovom slučaju su prihvaćene one preporučene.

Treći, posljednji korak obrade podataka u Pix4dmapper-u je stvaranje digitalnog modela površina (engl. Digital Surface Model ili DSM) i ortofoto prikaza (u daljnjem tekstu: ortofoto). Bitniji od ova dva proizvoda za potrebe ovog rada je ortofoto pa će naglasak kod definiranja postavki biti na tom prikazu.

Postavke ovog koraka nude mogućnosti razlučivosti i izvoznih formata DSM-a i ortofota. Za razlučivost je odabrana najbolja moguća, a to je 1 GSD, što u ovom

slučaju iznosi 1,10 cm po pikselu. Kao izvozni format ortofota odabran je GeoTIFF, standardizirani rasterski format za spremanje i razmjenu geoinformacija.



Slika 44 Postavke DSM-a i ortofota

Dodatne postavke (Additional Outputs) nude mogućnost stvaranja digitalnog modela terena (DTM), definiranja njegove razlučivosti i stvaranje slojnica iz DTM-a. Slojnice ili izohipse su zatvorene (zamišljene) linije koje povezuju mjesta istih nadmorskih visina, a služe za visinsku predstavu terena. Budući da je u sklopu ovog rada obrađena cesta bez većeg uzdužnog i poprečnog nagiba, visinska predstava pomoću slojnica nije bila potrebna pa u postavkama nije odabrano njezino kreiranje.

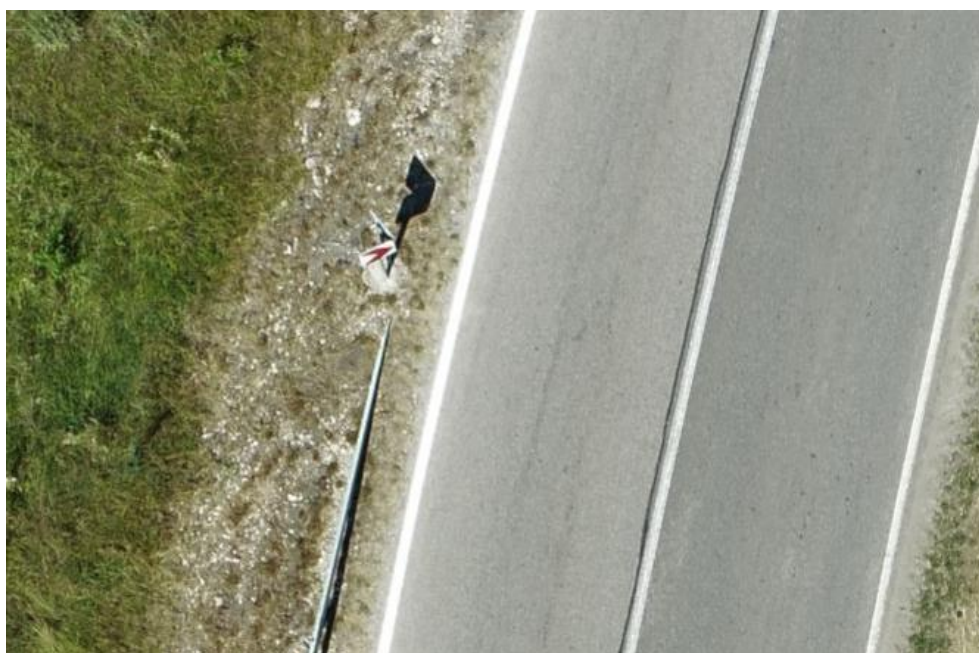
6 REZULTATI AEROFOTOGRAMETRIJSKOG SNIMANJA I USPOREDBA S GEOREFERENCIRANIM VIDEO M

Kao što je već spomenuto, proizvodi koji se dobivaju iz softvera Pix4Dmapper su oblak točaka, teksturirani plošni model, DSM, ortofoto, DTM, i slojnice. Za potrebe ovog rada odabrani su oblak točaka, teksturirani plošni model i ortofoto. Ortofoto služi za sva 2D mjerenja dimenzija i udaljenosti, oblak točaka je detaljni 3D prikaz snimljenog područja iz kojeg je razvidna i njegova visinska predstava, te služi za sva 3D mjerenja, dok teksturirani plošni model služi za vizualizaciju snimljenog područja.

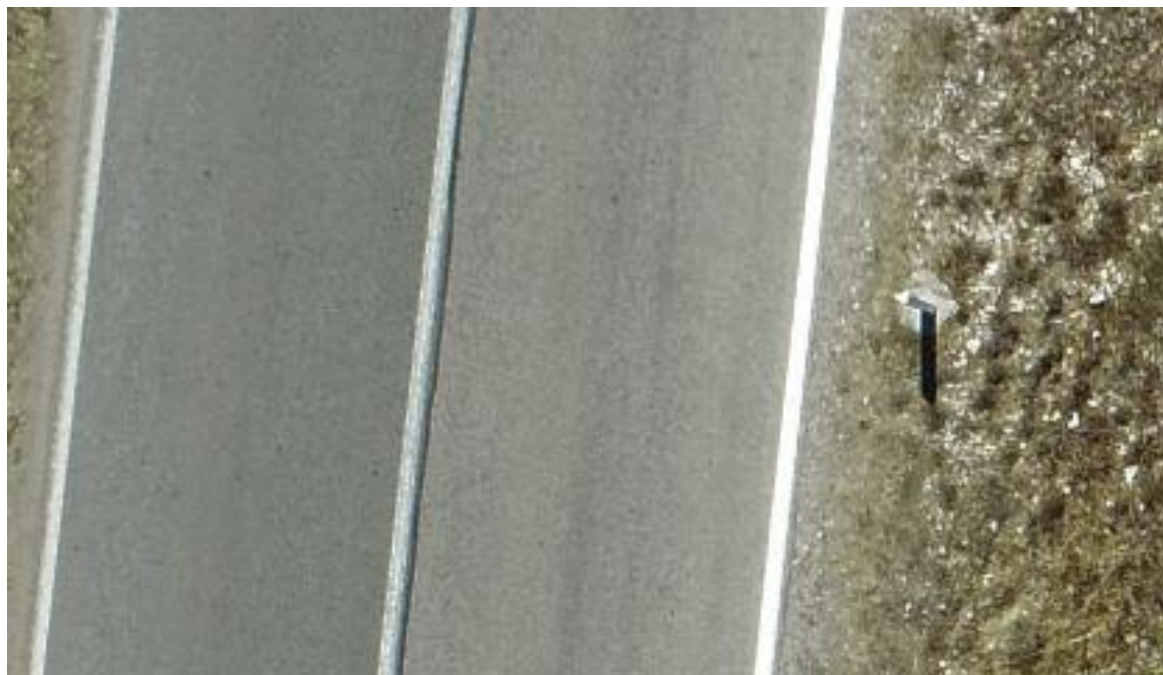
Pogodnosti ovih predstava snimljenog područja očituju se s obzirom na neke od primjena georeferenciranog videa, kao što je evidencija stanja prometnice, ili zasebno nečega što spada u popratni sadržaj prometnice.

6.1 Pogodnosti sirovih fotografija dobivenih snimanjem iz zraka

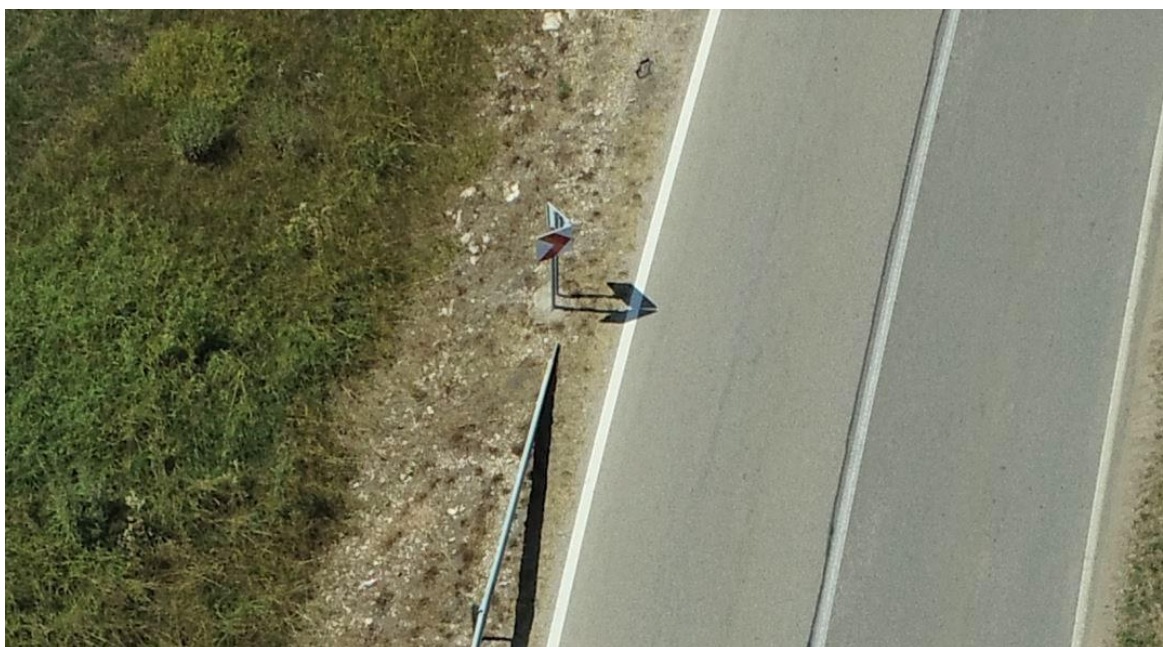
U potpoglavlju 5.3 *Let* spomenuto je da su obavljena tri leta, s nagibom kamere od -90° , -60° i -45° , u svrhu odabira najpovoljnijeg. Na narednim slikama (slike od 45 do 50) prikazane su fotografije smjerokaznog stupića i znaka za zavoj na cesti snimljene iz zraka s tim nagibima kamere.



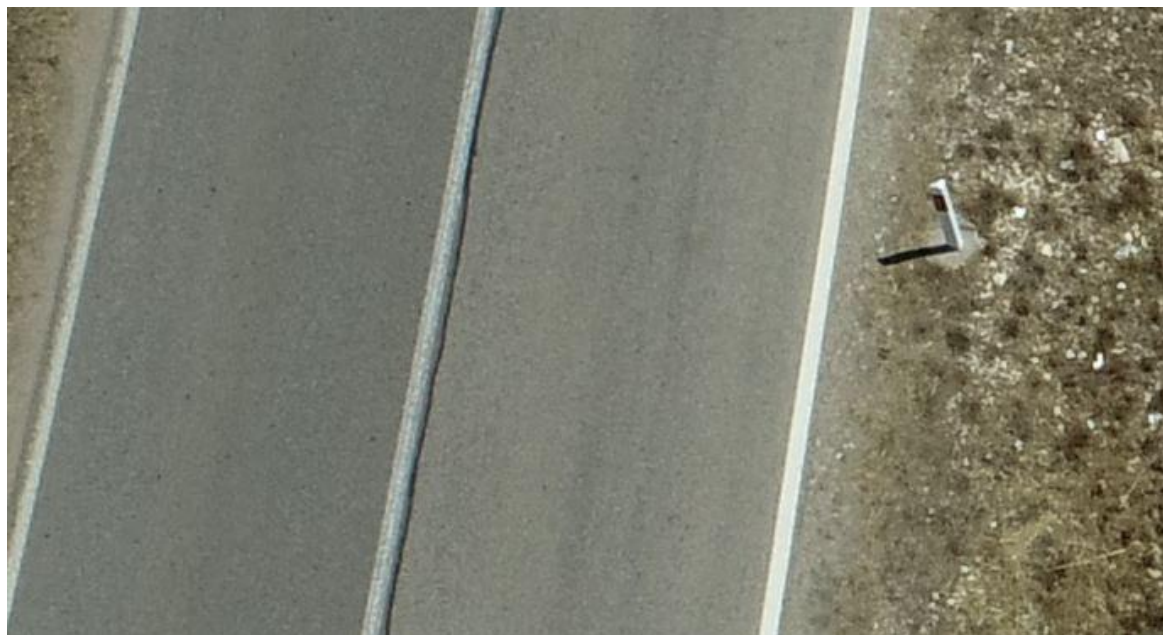
Slika 45 Fotografija znaka za zavoj na cesti snimljena iz zraka s nagibom kamere od -90°



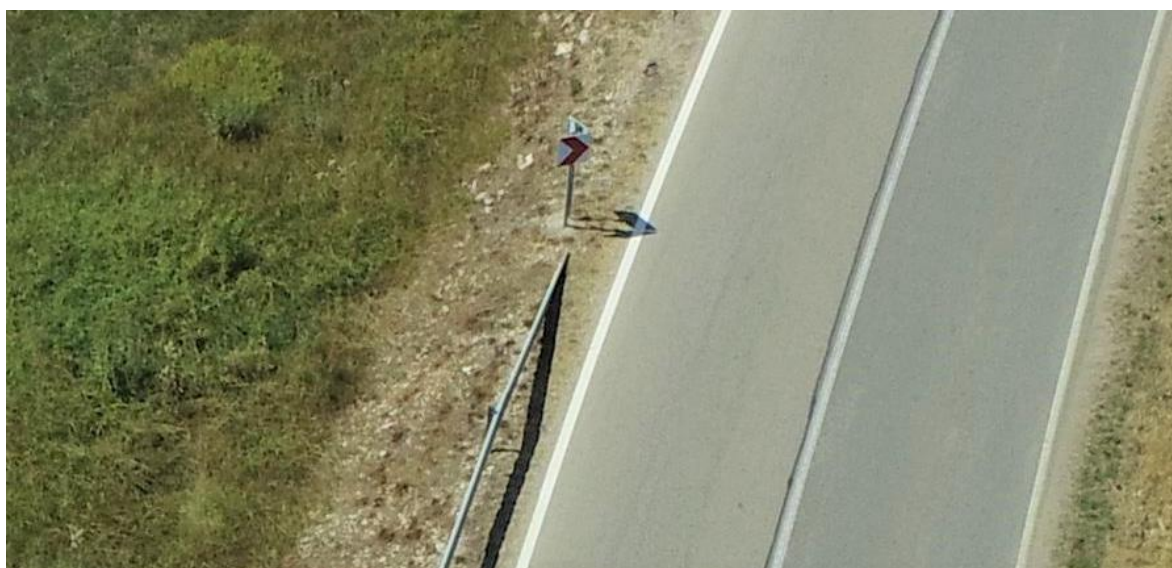
Slika 46 Fotografija smjerokaznog stupića snimljena iz zraka s nagibom kamere od -90°



Slika 47 Fotografija znaka za zavoj na cesti snimljena iz zraka s nagibom kamere od -60°



Slika 48 Fotografija smjerokaznog stupića snimljena iz zraka s nagibom kamere od -60°



Slika 49 Fotografija znaka za zavoj na cesti snimljena iz zraka s nagibom kamere od -45°



Slika 50 Fotografija smjerokaznog stupića snimljena iz zraka s nagibom kamere od -45°

Kao što je vidljivo iz slika, čitava kolnička konstrukcija ceste uključujući njenu horizontalnu signalizaciju jasno je vidljiva iz svih fotografija, neovisno o nagibu kamere bespilotne letjelice. Razlika se očituje u uspravnim objektima, a na primjeru s fotografija to je vertikalna signalizacija ceste. Naime, razvidno je da se smjerokazni stupić i znak za zavoj na cesti bolje uočavaju na fotografijama snimljenim s većim nagibom kamere, odnosno što je kamera otklonjenija od vertikale. To u ovom slučaju znači da su za potrebe prikupljanja što veće količine geoinformacija najbolje fotografije s nagibom kamere od -45° , posebno zbog toga što svrha georeferenciranog videa može biti evidencija prometnih znakova.

S obzirom na to zaključak je da je za brzu evidenciju svih uspravnih objekata najbolje upotrebljavati upravo tako nastale fotografije (slike 49 i 50). Pojam "brza evidencija" odnosi se na pregled fotografija u svrhu uočavanja, prepoznavanja i pobrojavanja uspravnih objekata. Sirove fotografije, s obzirom na to da nastaju centralnom projekcijom (slike 37 i 38) što znači da postoje deformacije na njima, nisu pogodne za mjerenje već za samo spomenutu svrhu. Obradom ovih fotografija dobivaju se proizvodi prikladni za mjerenje.

Osim ove mogućnosti, sirove fotografije korisne su i za evidenciju stanja horizontalne signalizacije, odnosno oznaka na kolniku. Naime, vozila oštećuju oznake na kolniku vožnjom preko njih, i one s vremenom postaju sve manje vidljive.

To predstavlja ozbiljan problem za regulaciju i sigurnost prometa, pa je neophodno redovito evidentirati oznake na kolniku i održavati ih vidljivim. Na slici 51 izdvojen je dio snimljene ceste na kojoj je uočljiva spomenuta problematika.



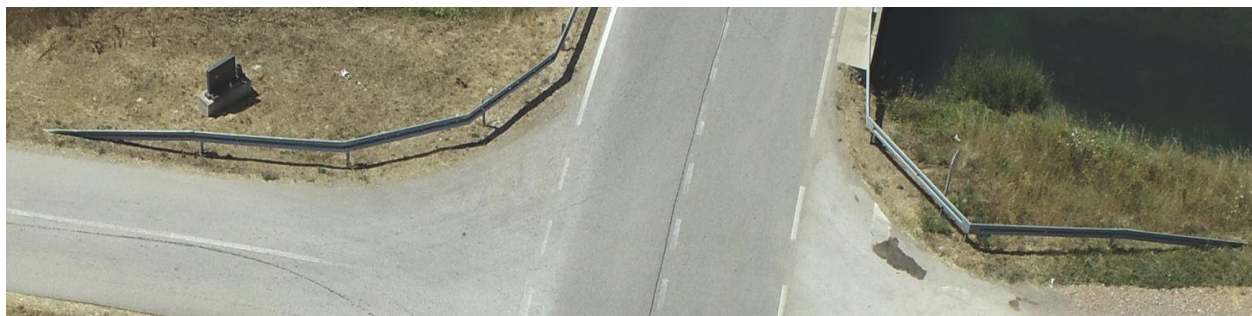
Slika 51 Primjer oštećenja oznaka na kolniku

Naime, dvije rubne i središnja linija glavne ceste oštećene su na spoju glavne i dviju sporednih cesta (odvojaka), upravo iz razloga što na tom dijelu vozila stalno “gaze” preko njih.

Među popratni sadržaj ceste spada zaštitna (odbojna) ograda. To je tehničko sigurnosna konstrukcija čija je svrha spriječiti iskliznuće vozila s kolnika ceste, odnosno prihvatiti i zadržati vozila koja skrenu s kolnika.⁶² Pregledom sirovih fotografija dobivenih snimkom iz zraka moguće je provjeriti, odnosno evidentirati stanje zaštitne ograde. Tim postupkom može se utvrditi postoje li oštećenja, lomovi ili deformacije te sigurnosne konstrukcije, a sve u svrhu pravovremene reakcije, odnosno sanacije. Na snimljenom dijelu lokalne ceste 67040 zaštitna ograda je postavljena obostrano na dijelu na kojem cesta prelazi preko vodnog kanala, sa svrhom prihvaćanja i zadržavanja vozila u slučaju iskliznuća s kolnika. Na slici 52

⁶²URL12: https://hrvatske-ceste.hr/uploads/documents/attachment_file/file/105/knjiga6.pdf (pristupljeno: srpanj 2021.)

vidljiv je dio ograde s obje strane ceste, i na tom dijelu nema vidljivih oštećenja ni drugih devijacija te sigurnosne konstrukcije.



Slika 52 Zaštitna (odbojna) ograda uz cestu



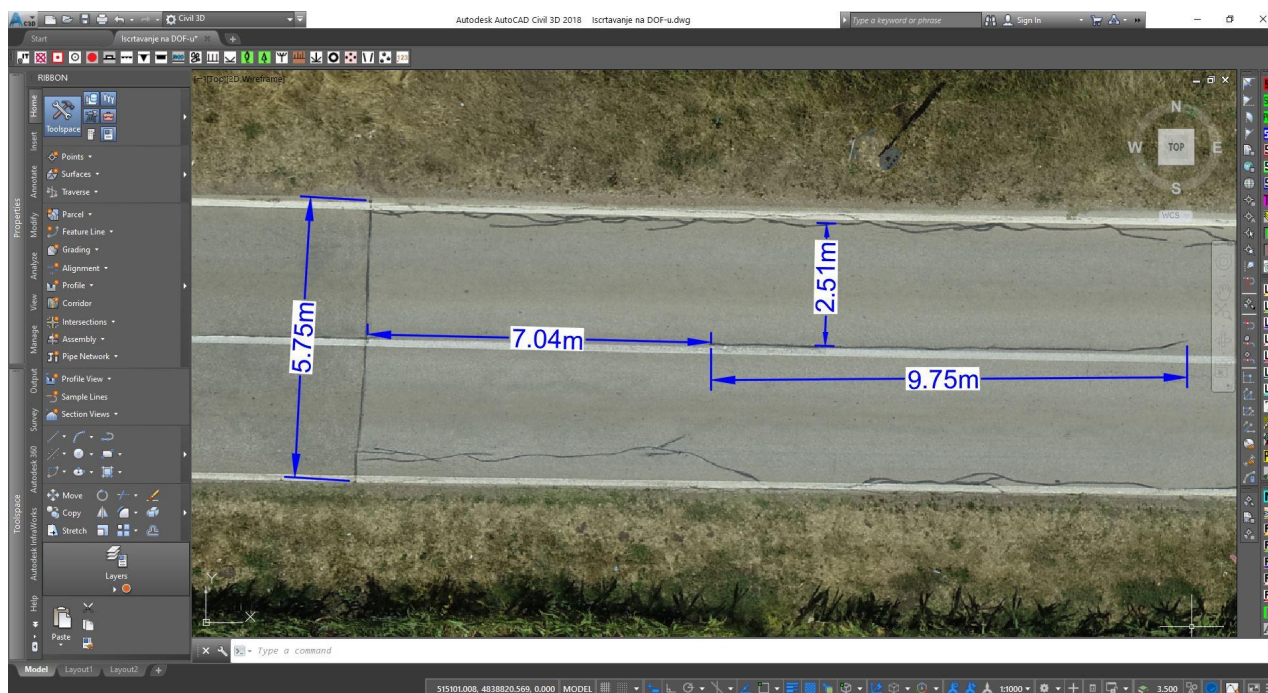
Slika 53 Zaštitna (odbojna) ograda uz cestu (uvećano)

Još jedna od mogućnosti sirovih fotografija je evidencija stanja strmih nagiba terena (pokosa) uz cestu. Naime, kod takvih konfiguracija terena u blizini ceste može doći do odrona materijala na cestu što predstavlja ozbiljan problem za sigurnost odvijanja prometa. Prevencija odrona su zaštitne mreže koje se postavljaju na sami pokos, u svrhu zadržavanja odronjenog materijala. Sirove fotografije također mogu poslužiti i kao evidencija stanja zaštitnih mreža. Na primjeru snimljene ceste konfiguracija terena je ravničarska pa nema takvih primjera.

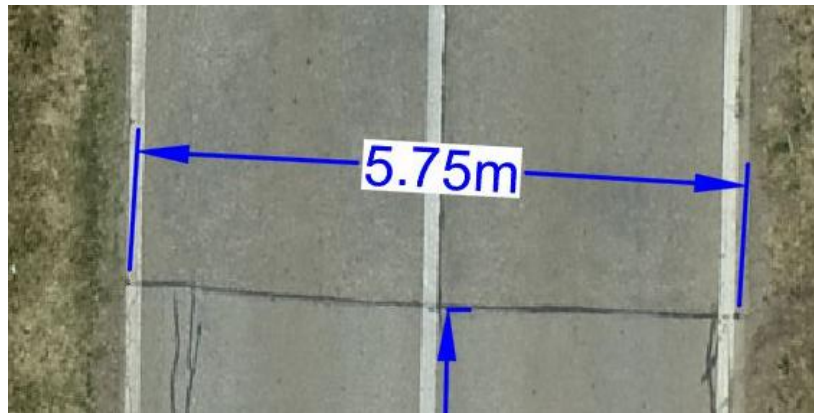
6.2 Pogodnosti ortofoto prikaza

Jedan od produkata obrade sirovih fotografija, ortofoto, nudi brojne mogućnosti u svrhu evidencije stanja prometnica. Prema *Pravilniku o izmjenama i*

dopunama Pravilnika o održavanju cesta (NN 3/2021), upravitelji cesta dužni su provjeravati, odnosno evidentirati njihovo stanje, a to se najčešće odnosi na potencijalna oštećenja kolničke konstrukcije. Na sirovim fotografijama ceste prikupljenima za potrebe ovog rada uočene su brojne sanacije kolnika koje se odnose na jednu vrstu oštećenja kolničke konstrukcije - linijske pukotine. Jedna od mogućnosti ortofota jest da se svaka sanirana pukotina pozicionira, točno joj se izmjeri dimenzija te udaljenost od nekog detalja (rub ceste, os ceste ili susjedna pukotina). U narednim slikama prikazano je nekoliko saniranih pukotina kojima su na ortofotu određene dimenzije i međusobne udaljenosti, i to na način da je ortofoto neposredno učitano u softver AutoCad Civil3d u kojem su alatima softvera precizno obavljena spomenuta mjerenja.

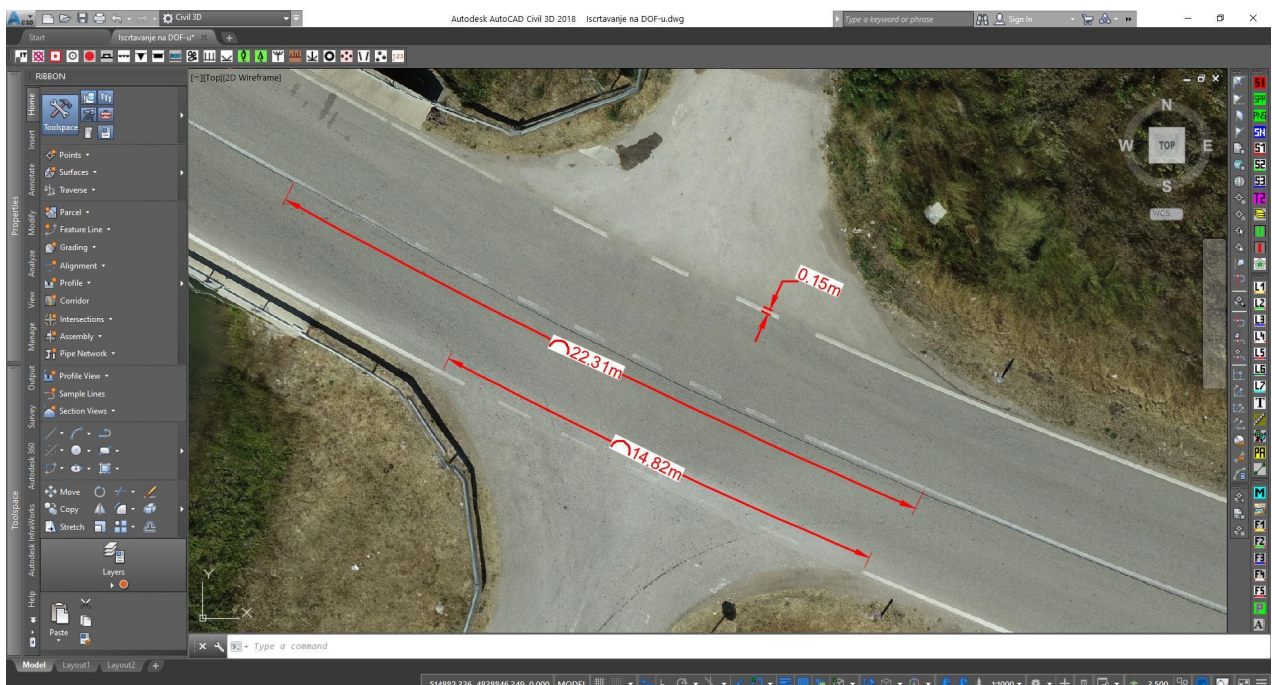


Slika 54 Sanirane linijske pukotine na snimljenoj cesti s dimenzijama i udaljenostima



Slika 55 Sanirana linijska pukotina na snimljenoj cesti s dimenzijom

Također, ortofoto je koristan i za horizontalnu signalizaciju ili oznake na kolniku, i to za mjerenje dimenzija oštećenih oznaka. U narednim slikama prikazane su oznake na kolniku kojima je smanjena vidljivost uslijed oštećenja, a kojima su na ortofotu određene dimenzije kao i na primjeru saniranih linijskih pukotina. Izmjerene dimenzije koristan su podatak upravitelju ceste pomoću kojeg može točno izračunati potrebnu količinu materijala (boje) potrebne za sanaciju oštećenog dijela oznaka na kolniku.



Slika 56 Oštećene oznake na kolniku na snimljenoj cesti s dimenzijama



Slika 57 Oštećene oznake na kolniku na snimljenoj cesti s dimenzijama (uvećano)



Slika 58 Dimenzija oznake na kolniku na snimljenoj cesti

Kao što su izmjerene dimenzije saniranih linijskih pukotina i oštećenih oznaka na kolniku, tako se može tlocrtno izmjeriti bilo koji detalj na snimljenom području, i to s visokom razinom točnosti s obzirom na visoku točnost i prostornu razlučivost kojom je izrađen ortofoto.

6.3 Pogodnosti oblaka točaka

Oblak točaka, kao detaljni 3D prikaz snimljenog područja, služi za sva 3D mjerenja pa iz njega, za razliku od ortofota, možemo dobiti i visinske podatke. Tako

se može odrediti visina, tj. visinska razlika između dna i vrha bilo kojeg uspravnog objekta ili bilo koje dvije točke na i uz cestu.



Slika 59 Oblak točaka snimljene ceste



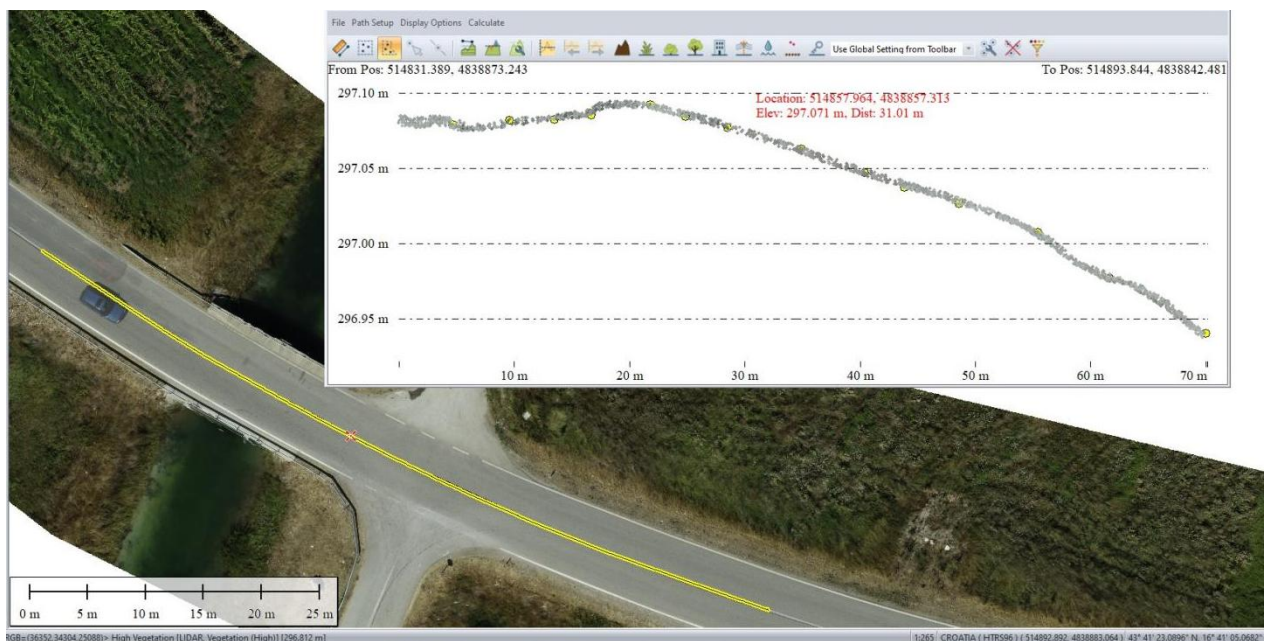
Slika 60 Oblak točaka snimljene ceste (uvećano)

Softver koji nudi mogućnosti različitih 3D analiza snimljenog područja iz oblaka točaka je GlobalMapper, proizveden od GIS kompanije Blue Marble Geographics baš u svrhu obrade i analize 3D podataka.

Ovaj softver iz oblaka točaka omogućava prikaz područja uz pomoć profila (presjeka), poprečnih i uzdužnih. Profili su prema definiciji presjeci terena i vertikalne ravnine položene nekom osi, a na primjeru ceste uzdužni profil postavljen je kroz os ceste, a poprečni okomito na os ceste.



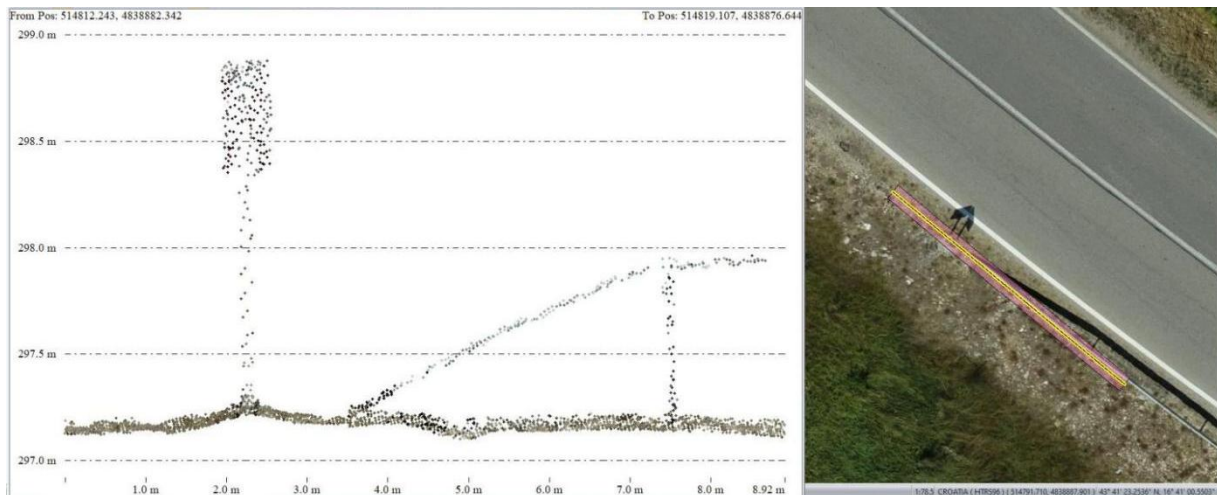
Slika 61 Primjer poprečnog profila ceste



Slika 62 Primjer uzdužnog profila ceste

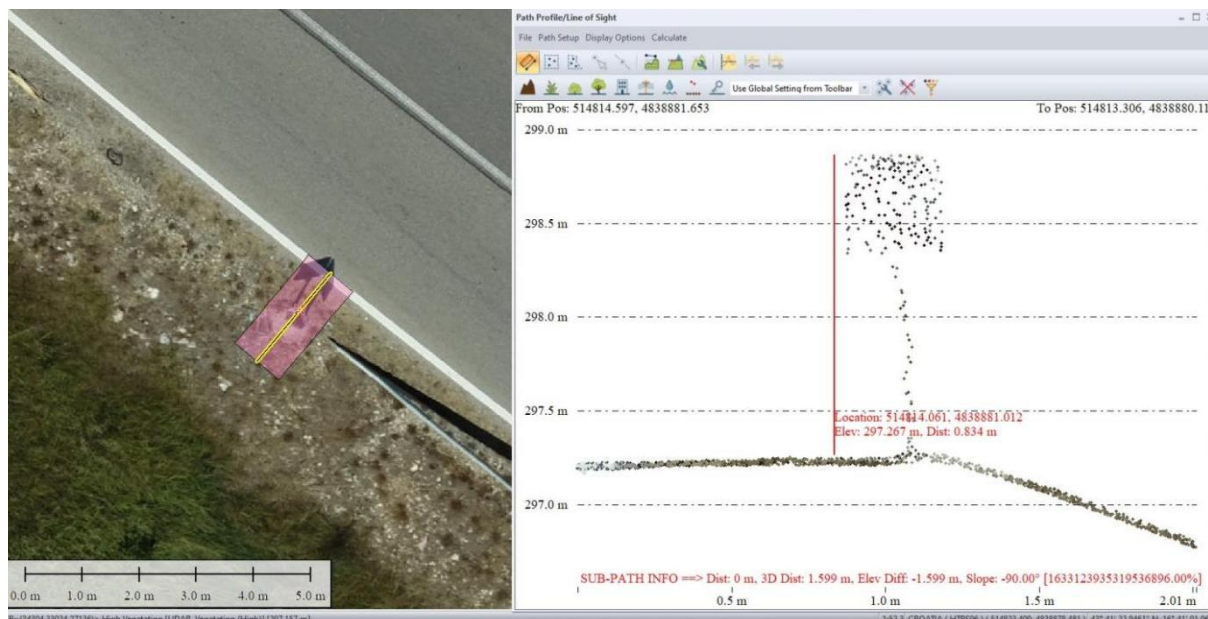
Često se događa da pod utjecajem težine vozila i trenja kotača u kombinaciji s visokom temperaturom zraka dolazi do “trošenja” kolničke konstrukcije pa, s obzirom na to da su poprečni i uzdužni profili sastavni dijelovi projekta izgradnje svake prometnice, ovako dobiveni profili mogu poslužiti za usporedbu projektiranog i(li) izvedenog s trenutnim stanjem. Tu se detektira visinska promjena kolničke konstrukcije u pojedinoj točki profila.

Profili se osim uzdužno i poprečno u odnosu na os ceste mogu postavljati u proizvoljnoj orijentaciji, pa takvi slobodni profili mogu poslužiti za visinsku predstavu pojedinog objekta uz cestu. Primjer jednog takvog je slobodni profil postavljen kroz znak za zavoj na cesti i zaštitnu ogradu. Iz presjeka se jasno može uočiti oblik znaka i ograde te očitati njihova visina (slika 63).



Slika 63 Primjer slobodno postavljenog profila

GlobalMapper u ovakvim prikazima nudi mogućnost mjerenja visina i udaljenosti između bilo koje dvije točke, a na slici 64 izmjerena je visina znaka za zavoj na cesti koja iznosi 1.60 m.



Slika 64 Mjerenje visine u slobodno postavljenom profilu

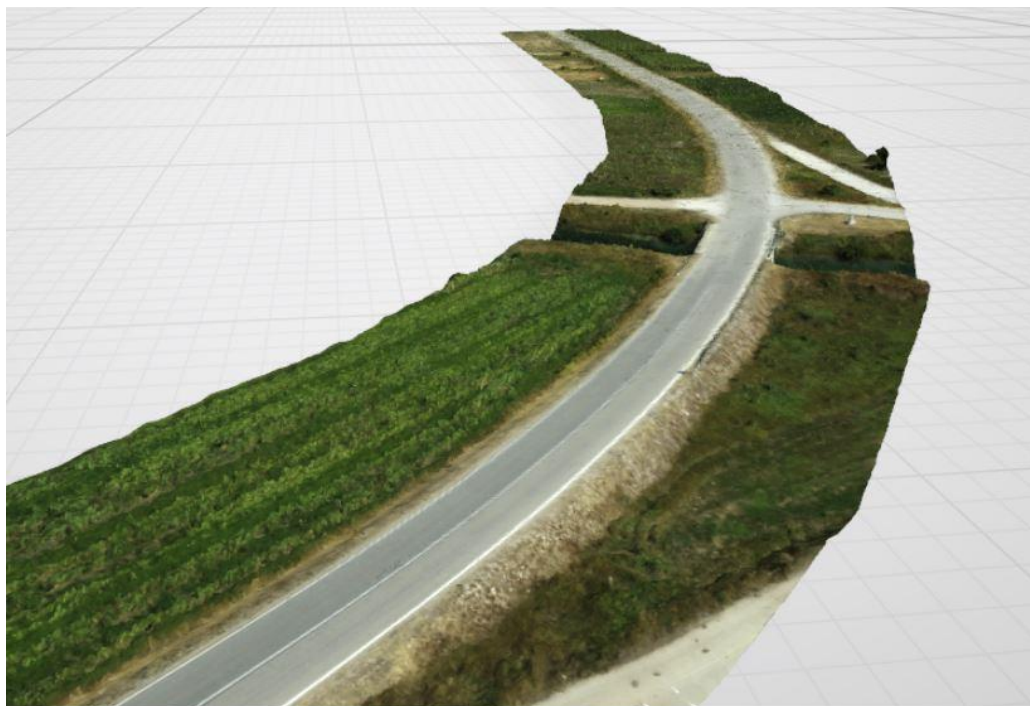
Od ostalih mogućnosti 3D analiza koje ovaj softver nudi, valja izdvojiti mjerenje obujma (volumena). U ovom radu nije bilo potrebe za tim, ali je izuzetno korisna mogućnost kod projektiranja, izgradnje ili rekonstrukcije prometnice, jer se na jednostavan način dolazi do informacije o količini potrebnih zemljanih i drugih radova.

6.4 Pogodnost teksturiranog plošnog modela

Kao što je već spomenuto, glavna svrha teksturiranog plošnog modela jest vizualizacija snimljenog područja ili nekog njegovog dijela. Kao i oblak točaka, ovaj proizvod obrade podataka omogućava trodimenzionalni prikaz. Na slikama ispod vidljivi su prikazi teksturiranog plošnog modela iz različitih kutova.



Slika 65 Teksturirani plošni model snimljene ceste (1)



Slika 66 Teksturirani plošni model snimljene ceste (2)

Pogodnost teksturiranog plošnog modela je preglednost snimljenog područja na način da je omogućen “hod” kroz model, te zaustavljanje pogleda i uvećavanje dijela snimljenog područja od interesa.



Slika 67 Teksturirani plošni model snimljene ceste (uvećano)

Teksturirani plošni model još je zahvalniji kod raznovrsnije konfiguracije terene, kod kojih teren obiluje neravninama, te kod područja ispunjenog objektima

različitima po obliku, veličini, boji itd. U tom slučaju ova vrsta prikaza snimljenog područja koristi svoj puni potencijal, jer korisniku pruža brzi i realni uvid u područje od interesa iz različitih kutova i s različitih visina.

6.5 Usporedba aerofotogrametrijskog snimanja i georeferenciranog videa

Cilj ovog rada je, kao što je u uvodnom poglavlju spomenuto, usporediti aerofotogrametrijsku metodu prikupljanja prometnih geoinformacija s georeferenciranim videom. Budući da se radi o metodama (tehnikama) prikupljanja geoinformacija, za kriterije za usporedbu odabrani su:

- brzina prikupljanja i obrade geoinformacija,
- količina prikupljenih geoinformacija,
- kvaliteta prikupljenih geoinformacija i
- ekonomičnost upotrebe metode.

Što se tiče kriterija *brzine prikupljanja i obrade geoinformacija*, bitni čimbenici koji određuju ovaj parametar je brzina pokretnog osjetila koje prikuplja podatke, smetnje tijekom prikupljanja podataka, potreba snimanja dionice u oba smjera i automatizacija obrade podataka koju koristi pojedina metoda.

Kod georeferenciranog videa pokretno osjetilo je vozilo (najčešće automobil) koje vozi cestom prilagođenom brzinom, najčešće oko 30 km/h, te na vožnju utječu smetnje kao što su gužve, raskrižja, semafori i ostali mogući zastoji. S obzirom na to da kamera ima mogućnost snimanja pod kutom od 360°, jednom dionicom ceste dovoljno je proći u jednom smjeru, tj. nije potrebno vraćati se drugim smjerom. Obrada prikupljenih podataka uglavnom je automatizirana u prilagođenim softverima pa, iako iziskuje određeno vrijeme, ne zahtijeva praćenje procesa od strane korisnika. Aerofotogrametrijska metoda za pokretno osjetilo koristi bespilotnu letjelicu koja leti po unaprijed definiranoj trajektoriji. DJI Phantom 4 RTK ima ograničenje brzine od 50 km/h, ali kod leta nema smetnji, što znači da je brzina ujednačena za cijelo vrijeme leta. Bespilotna letjelica, nakon što snimi određenu dionicu ceste u jednom smjeru, mora to isto učiniti i u drugom smjeru kako bi osim uzdužnog osigurala i poprečni

preklop snimki (fotografija), te time omogućila kvalitetne 3D predstave snimljenog područja. Obrada podataka je kao i kod georeferenciranog videa automatizirana, ali nudi veći broj različitih proizvoda u odnosu na georeferencirani video pa traje duže. Zaključno, što se tiče kriterija brzine i obrade prikupljenih podataka, prednost ima georeferencirani video, ali prvenstveno zbog trajanja obrade podataka.

Drugi kriterij uspoređuje *količinu prikupljenih geoinformacija*. Georeferenciranim videom geoinformacije se dobivaju iz fotografija, na kojima su vidljivi svi objekti koje vozač vidi dok upravlja vozilom. Uočavaju se atributi objekata, dok se prostorna komponenta najčešće određuje relativno. Kod aerofotogrametrijske metode jedan od proizvoda je oblak točaka, skup jako velikog broja točaka od kojih je svaka definirana položajno, visinski i intenzitetom boje. Oblak točaka izrađen za potrebe ovog rada sadrži više od 24 milijuna točaka od kojih svaka ima tri koordinate, atribut intenziteta boje i klasu, što za pohranu iziskuje veliku količinu slobodnog prostora. Iz navedenog slijedi da se aerofotogrametrijskom metodom prikupi neusporedivo veći broj geoinformacija.

Što se *kvalitete prikupljenih geoinformacija* tiče, prednost je opet na strani aerofotogrametrijske metode, prvenstveno zbog raznovrsnijih proizvoda koje korisniku nudi. Dok georeferenciranim videom korisnik dobiva niz georeferenciranih fotografija, to isto kod aerofotogrametrijske metode dobiva kao sirovi materijal, a nakon obrade tih fotografija i čitav niz predstava snimljenog područja. Prostorna komponenta geoinformacija kao jedan od pokazatelja kvalitete očituje osjetnu razliku između ovih metoda. Dok se kod georeferenciranog videa pokretno osjetilo pozicionira približno (metarska točnost), pri čemu se visinska komponenta pozicioniranja zanemaruje, kod aerofotogrametrijske metode položajno i visinsko pozicioniranje je visokoprecizno (centimetarska točnost kod bespilotnih letjelica s RTK dodatkom). Točnost pozicioniranja pokretnog osjetila uvjetuje točnost prikupljenih prometnih geoinformacija.

Posljednji kriterij koji ukazuje na *ekonomičnost upotrebe pojedine metode* uzima u obzir prethodno nabrojane kriterije te financijsko gledište. Obradeni kriteriji daju prednost aerofotogrametrijskoj metodi u količini i kvaliteti prikupljenih geoinformacija, dok se nedostatak očituje u brzini prikupljanja i obradi istih. Što se financijskog gledišta tiče, obje metode zahtijevaju ulaganje u hardver i softver.

Hardver je u slučaju georeferenciranog videa automobil kao pokretno osjetilo opremljen kamerom i jedinicom sa sustavom pozicioniranja, dok softveri nisu pretežito složeni i sofisticirani pa im cijena ne prelazi prosječnu cijenu softvera takve vrste. Uzme li se u obzir da u modernom svijetu u današnje vrijeme automobil ne predstavlja posebni luksuz, te ga posjeduje većina odraslih ljudi, a standarde kamere i sustava pozicioniranja zadovoljava malo moderniji pametni telefon, dolazi se do zaključka da metoda prikupljanja podataka u svrhu izrade georeferenciranog videa ne zahtijeva veće financijsko ulaganje.

Kod aerofotogrametrijske metode hardver predstavlja bespilotna letjelica s upravljačem, kod koje je za ovakvu vrstu radova poželjan RTK dodatak, a trenutna cijena takve letjelice je oko 40 tisuća kuna. Za obradu aerofotogrametrijskih podataka neophodan je softver prilagođen za tu potrebu, te dodatni za upravljanje (manipulaciju) proizvoda nastalih obradom. Cijena tih dvaju softvera prelazi cijenu letjelice, pa se dolazi do ulaganja od približno 100 tisuća kuna.

Iz navedenog je očito da je aerofotogrametrijska metoda financijski zahtjevnija od georeferenciranog videa, ali gledajući ostale kriterije, opravdava tu razliku u cijeni ponajviše velikom količinom visokokvalitetnih podataka (geoinformacija) koje prikuplja relativno brzo.

7 ZAKLJUČAK

Prostorni podaci kao informacije s prostornom komponentom (referencom) predstavljaju standard današnjeg društva. Gotovo da nema gospodarske grane i znanstvene discipline koja ne zahtijeva prostornu komponentu za podatke kojima se služi, a u svakodnevnoj su i civilnoj upotrebi. Iz toga proizlazi da je zahtjev današnjeg svijeta što brže i efikasnije prikupljanje što veće količine prostornih podataka.

Jedan od načina proširenja skupa podataka dobivenih tradicionalnim metodama mjerenja je fuzija podataka prikupljenih različitim metodama. Primjer takve fuzije je georeferencirani video i aerofotogrametrijsko snimanje koja osigurava veliku količinu različitih informacija. Georeferencirani video predstavlja brzi i efikasni način prikupljanja pojedinih prostornih podataka za prometne svrhe (evidencija stanja cesta i podaci o prometnim tokovima), dok aerofotogrametrija omogućava brzo prikupljanje velike količine statičkih podataka od interesa s visokom razinom pouzdanosti. Postupak aerofotogrametrijskog snimanja znatno se ubrzao prelaskom sa zrakoplova specijaliziranih za te svrhe na bespilotne letjelice.

Svrha ovog rada bila je usporediti proizvod dobiven aerofotogrametrijski, bespilotnom letjelicom s proizvodom georeferenciranog videa, odnosno provjeriti postoje li prednosti i koje su. Bitna razlika u startu kod ovih dviju metoda jest perspektiva iz koje se područje od interesa prikazuje stoga je zanimljiv razvoj metoda baziranih na fuziji prikupljenih podataka tih metoda. Kod georeferenciranog se videa to područje prikazuje iz perspektive vozača koji upravlja vozilom s kojeg se snima video, dok se kod bespilotne letjelice dobiva snimak iz zraka, koja može biti vertikalna ili pod nagibom. Svaka od ovih perspektiva nudi pogodnosti i ima svoje prednosti, a kombinacijom se postiže najbolji uvid u područje od interesa.

Obavljeno je aerofotogrametrijsko snimanje dijela lokalne ceste u svrhu prikupljanja prometnih geoinformacija, koje su pomoću adekvatnih softvera obrađene i dobiveni su rezultati u vidu različitih predstava snimljenog područja. Najveća razlika između dobivenih proizvoda i georeferenciranog videa jest mogućnost trodimenzionalnog mjerenja dimenzija i udaljenosti na cijelom snimljenom području,

Što to konkretno predstavlja za prometne geoinformacije, pokazano je na primjeru kolničke konstrukcije, oznaka na kolniku i zaštitne ograde. Naime, održavanje cesta u koje spada evidencija stanja i sanacija zakonom je propisana obaveza upravitelja cesta, a aerofotogrametrijskom metodom je na primjeru snimljene ceste pokazano kako je na jednostavan način moguće evidentirati stanje, pozicionirati, odrediti dimenzije i udaljenosti svih oštećenja na cesti u svrhu što lakše sanacije istih.

Kao nedostatak aerofotogrametrijske metode u svrhu prikupljanja prometnih geoinformacija ističu se obrada podataka koja zbog velikog broja različitih proizvoda koje nudi može trajati dugo, ali više od toga cijena koju korisnik treba izdvojiti za hardver i softver, a koja je iznadprosječna ako se uzmu u obzir financijski zahtjevi ostalih metoda prikupljanja geoinformacija.

Kao zaključak se nameće da ove dvije metode ne stoje jedna nasuprot drugoj, već su u dobroj mjeri komplementarne. To znači da se fuzijom, tj. kombiniranim korištenjem nadopunjuju, odnosno da prednosti jedne metode pokrivaju nedostatke druge, a posljedično korisniku pružaju kompletni obujam prometnih geoinformacija, što je i konačni cilj.

LITERATURA

1. Tutić, D. Vučetić, N. Lapaine, M.: *Uvod u GIS*, Predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet; HR;2002.
2. Lacković, P.: *Primjena GIS-a u prostornom planiranju - određivanje optimalne lokacije novih studentskih domova u Gradu Zagrebu*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet; HR;2020.
3. Matus, M.: *Geografski informacijski sustavi i njihov značaj za turizam*, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet; HR;2015.
4. Zrinjski, M. Barković, Đ. Matika, K. *Razvoj i modernizacija GNSS-a*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2019, 1, HR;2019.
5. Bačić, Ž. *Satelitsko pozicioniranje*, Predavanje, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, HR;2018.
6. Zrinjski, M. Barković, Đ. Bačić, Ž. *Modernizacija GNSS-a (GNSS 2)*, Pregledni znanstveni članak, Geodetski list 2005, 1, HR;2005.
7. Markovinović, D. *Globalni pozicijski sustav (GPS)*, Stručni rad, Ekscentar br.4, HR;2001.
8. Marinčić, D. *Globalni pozicijski sustavi*, Znanstveni članak, BIH;2002.
9. Budimir, D. *Metoda procjene prostorno-vremenskih indikatora javnog gradskog prijevoza zasnovana na pokretnim osjetilima*, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, HR;2016.
10. Grgić, T. *Usporedba performansi bespilotnih letjelica u civilne svrhe*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, HR;2021.
11. Vugdelija, K. *Bespilotne letjelice, razvoj, značaj i primjena u šumarstvu*, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, HR;2016.

12. Sanseović, S. *Izmjera i vizualizacija crkve Sv. Mihovila u Dolu na Hvaru*, Diplomski rad, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, HR;2017.
13. Kolarek, M. *Bespilotne letjelice za potrebe fotogrametrije*, Stručni rad, Ekscentar br.12, HR;2010.

POPIS SLIKA

| | | |
|----------|---|----|
| Slika 1 | Temeljne komponente GIS-a..... | 10 |
| Slika 2 | Prikaz Zemljinih orbita | 17 |
| Slika 3 | Logo GLONASS sustava | 20 |
| Slika 4 | Logo Galileo sustava | 22 |
| Slika 5 | Logo BeiDou sustava | 23 |
| Slika 6 | Princip određivanja položaja uz pomoć GNSS-a | 25 |
| Slika 7 | Apsolutno statičko i kinematičko pozicioniranje | 27 |
| Slika 8 | Relativno pozicioniranje | 28 |
| Slika 9 | Statičko relativno pozicioniranje | 28 |
| Slika 10 | Kinematičko relativno pozicioniranje | 29 |
| Slika 11 | Sustav za prikupljanje podataka pokretnim osjetilima..... | 32 |
| Slika 12 | Bespilotna letjelica "Firebee" | 36 |
| Slika 13 | Bespilotna letjelica Phantom 4 RTK - DJI s daljinskim upravljačem i zaslonom | 38 |
| Slika 14 | Nagib kamere bespilotne letjelice DJI Phantom 4 RTK | 40 |
| Slika 15 | Glavno sučelje aplikacije DJI GS RTK..... | 41 |
| Slika 16 | Službeni podaci Hrvatskih cesta o cesti odabranoj za aerofotogrametrijsko snimanje | 43 |
| Slika 17 | Aerodromska karta aerodroma Sinj | 44 |
| Slika 18 | Područje odabrano za početnu i završnu točku leta..... | 45 |
| Slika 19 | Sučelje aplikacije DJI GS RTK s metodama planiranja leta..... | 46 |
| Slika 20 | Iscrtavanje osi ceste u AutoCAD Civil 3d..... | 47 |
| Slika 21 | Iscrtavanje osi ceste u AutoCAD Civil 3d (povećano)..... | 47 |
| Slika 22 | Os ceste u Google Earth Pro..... | 48 |
| Slika 23 | Podešavanje visine leta u aplikaciji DJI GS RTK..... | 49 |

| | | |
|----------|---|----|
| Slika 24 | Podešavanje poprečnog i uzdužnog preklopa snimki u aplikaciji DJI GS RTK. | 50 |
| Slika 25 | Početna i završna točka leta..... | 51 |
| Slika 26 | Uključivanje opcije RTK pozicioniranja letjelice u aplikaciji..... | 52 |
| Slika 27 | Logo kompanije Pix4d..... | 53 |
| Slika 28 | Princip izjednačenja zrakovnih snopova..... | 54 |
| Slika 29 | Otvaranje novog projekta u softveru Pix4Dmapper..... | 56 |
| Slika 30 | Upis naziva projekta i putanje za pohranu | 57 |
| Slika 31 | Učitavanje fotografija prikupljenih snimanjem iz zraka | 58 |
| Slika 32 | Definiranje ulaznog koordinatnog sustava i popis učitanih fotografija | 59 |
| Slika 33 | Odabir izlaznog koordinatnog sustava | 60 |
| Slika 34 | Opće postavke inicijalnog procesa obrade podataka | 61 |
| Slika 35 | Postavke povezivanja fotografija inicijalnog procesa obrade podataka | 62 |
| Slika 36 | Ključne točke snimljenog područja..... | 63 |
| Slika 37 | Uparivanje fotografija i računanje optimalnih elemenata orijentacije kamere.... | 64 |
| Slika 38 | Obrada fotografija nastalih s nagibom kamere od -45° i -60°..... | 65 |
| Slika 39 | Postavke oblaka točaka..... | 66 |
| Slika 40 | Trajanje izrade i klasifikacije oblaka točaka..... | 67 |
| Slika 41 | Rezultati obrade oblaka točaka..... | 67 |
| Slika 42 | Postavke teksturiranog plošnog modela..... | 68 |
| Slika 43 | Trajanje izrade teksturiranog plošnog modela..... | 68 |
| Slika 44 | Postavke DSM-a i ortofota..... | 69 |
| Slika 45 | Fotografija znaka za zavoj na cesti snimljena iz zraka s nagibom kamere od -90° | 70 |
| Slika 46 | Fotografija smjerokaznog stupića snimljena iz zraka s nagibom kamere od -90°. | 71 |
| Slika 47 | Fotografija znaka za zavoj na cesti snimljena iz zraka s nagibom kamere od -60° | 71 |
| Slika 48 | Fotografija smjerokaznog stupića snimljena iz zraka s nagibom kamere od -60°. | 72 |
| Slika 49 | Fotografija znaka za zavoj na cesti snimljena iz zraka s nagibom kamere od -45° | 72 |

| | | |
|----------|--|----|
| Slika 50 | Fotografija smjerokaznog stupića snimljena iz zraka s nagibom kamere od -45° .. | 73 |
| Slika 51 | Primjer oštećenja oznaka na kolniku..... | 74 |
| Slika 52 | Zaštitna (odbojna) ograda uz cestu..... | 75 |
| Slika 53 | Zaštitna (odbojna) ograda uz cestu (uvećano)..... | 75 |
| Slika 54 | Sanirane linijske pukotine na snimljenoj cesti s dimenzijama i udaljenostima... | 76 |
| Slika 55 | Sanirana linijska pukotina na snimljenoj cesti s dimenzijom..... | 77 |
| Slika 56 | Oštećene oznake na kolniku na snimljenoj cesti s dimenzijama..... | 77 |
| Slika 57 | Oštećene oznake na kolniku na snimljenoj cesti s dimenzijama (uvećano)..... | 78 |
| Slika 58 | Dimenzija oznake na kolniku na snimljenoj cesti..... | 78 |
| Slika 59 | Oblak točaka snimljene ceste..... | 79 |
| Slika 60 | Oblak točaka snimljene ceste (uvećano)..... | 79 |
| Slika 61 | Primjer poprečnog profila ceste..... | 80 |
| Slika 62 | Primjer uzdužnog profila ceste..... | 80 |
| Slika 63 | Primjer slobodno postavljenog profila | 81 |
| Slika 64 | Mjerenje visine u slobodno postavljenom profilu..... | 82 |
| Slika 65 | Teksturirani plošni model snimljene ceste (1)..... | 82 |
| Slika 66 | Teksturirani plošni model snimljene ceste (2)..... | 83 |
| Slika 67 | Teksturirani plošni model snimljene ceste (uvećano)..... | 83 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1 Područja i načini primjene GIS-a..... | 14 |
| Tablica 2 Postojeći i planirani satelitski navigacijski sustavi..... | 16 |
| Tablica 3 Prikaz najvažnijih GNSS pogrešaka i njihov utjecaj na mjerenje..... | 30 |
| Tablica 4 Specifikacije bespilotne letjelice Phantom 4 RTK - DJI..... | 37 |



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **DOBIVANJE PROMETNIH GEOINFORMACIJA ZASNOVANO NA**

FUZIJI GNSS PODATAKAI VIDEO SADRŽAJA

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, _____ 9/14/2021 _____

Student/ica:

(potpis)