

Klasifikacija oblaka točaka dobivenog LiDAR snimanjem iz zraka za detekciju zgrada i drugih građevina

Topić, Ana-Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2025

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:256:425996>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

repozitorij.geof.unizg.hr/en



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Ana-Marija Topić

**KLASIFIKACIJA OBLAKA
TOČAKA DOBIVENOG LiDAR SNIMANJEM IZ
ZRAKA ZA DETEKCIJU ZGRADA I DRUGIH
GRAĐEVINA**

Diplomski rad

Zagreb, 2025.

Ana-Marija Topić ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 2025.



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Ana-Marija Topić

**KLASIFIKACIJA OBLAKA
TOČAKA DOBIVENOG LiDAR SNIMANJEM IZ
ZRAKA ZA DETEKCIJU ZGRADA I DRUGIH
GRAĐEVINA**

Diplomski rad

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET



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

IZJAVLJUJEM

Ja, **Ana-Marija Topić**, (JMBAG: 0083227157), rođena dana 26.7.2000. u Splitu, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

I. AUTOR	
Ime i prezime:	Ana-Marija Topić
Datum i mjesto rođenja:	26. srpnja 2000.g., Split, Republika Hrvatska
II. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	Klasifikacija oblaka točaka dobivenog LiDAR snimanjem iz zraka za detekciju zgrada i drugih građevina
Broj stranica:	47
Broj tablica:	1
Broj slika:	35
Broj bibliografskih podataka:	12 + 14 URL-a
Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:	Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet
Mentor:	izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić
Komentor:	dr. sc. Josip Križanović
Voditelj:	Lana Ivković, mag. ing. geod. et geoinf.
III. OCJENA I OBRANA	
Datum zadavanja teme:	12.01.2024.
Datum obrane rada:	07.02.2025.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić
	dr.sc. Josip Križanović,
	izv. prof. dr. sc. Ante Marendić

Iskreno hvala mentoru izv. prof. dr. sc. Hrvoju Tomić na pomoći i znanju, koje mi je zajedno sa komentorom i voditeljicom, udijelio prilikom izrade ovog diplomskog rada. Također, ovim putem želim zahvaliti svim profesorima i asistentima na FGAG-u u Splitu i Geodetskom fakultetu u Zagrebu na prenesenom znanju tijekom studiranja.

Posebno zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i dečku koji su uz mene cijelo moje studiranje te su mi bili najveća podrška i moji vjerni navijači.

Veliko HVALA !

Klasifikacija oblaka točaka dobivenog LiDAR snimanjem iz zraka za detekciju zgrada i drugih građevina

Sažetak: Ovaj diplomski rad bavi se klasifikacijom oblaka točaka dobivenih LiDAR (eng. *Light Detection and Ranging*) snimanjem iz zraka s ciljem detekcije zgrada i drugih građevina te usporedbom tih podataka sa 3D modelom grada Zagreba. Na početku rada opisane su metode laserskog skeniranja iz zraka (eng. *Airborne Laser Scanning – ALS*) i sa zemlje (eng. *Terrestrial Laser Scanning - TLS*), koje predstavljaju ključne tehnike za prikupljanje prostorno preciznih podataka.

Rad se oslanja na analizu razine detalja (LOD) kod 3D modela Zagreba i korištenje softverskih alata otvorenog koda, kao što su *CloudCompare* i *Quantum GIS (QGIS)*, za obradu i analizu podataka. Obrada podataka uključuje ključne korake: rezanje, filtriranje, segmentaciju oblaka točaka na točke tla (eng. *ground points*) i ostale točke (eng. *non-ground points*), klasifikaciju točaka, projekciju oblaka točaka u horizontalnu ravninu te formiranje oblaka specifičnih za zgrade i građevine.

Važan korak je izvoz podataka u *.shp* format i formiranje poligona u *QGIS-u*, čime se omogućuje detaljna usporedba generiranih poligona s postojećim 3D modelom Zagreba. Takva usporedba omogućuje procjenu točnosti klasifikacije i detekcije građevinskih objekata, kao i dodatno unaprjeđenje modela.

Rezultati rada ukazuju na djelomično uspješnu primjenu tehnika klasifikacije oblaka točaka i alata otvorenog koda za stvaranje 3D modela gradova, no ističu i određena ograničenja u točnosti i preciznosti klasifikacije.

Ključne riječi: 3D model, Grad Zagreb, klasifikacija, LiDAR, oblak točaka, zgrade

Aerial LiDAR point cloud classification for the purpose of building and other structures detection

Abstract: *This thesis focuses on the classification of point clouds obtained through LiDAR (Light Detection and Ranging) aerial scanning, aiming to detect buildings and other structures and compare these data with the 3D model of the city of Zagreb. At the beginning of the thesis, methods of aerial laser scanning (Airborne Laser Scanning – ALS) and terrestrial laser scanning (Terrestrial Laser Scanning - TLS) are described, as they represent key techniques for collecting spatially precise data.*

The thesis relies on the analysis of the level of detail (LOD) in the 3D model of Zagreb and the use of open-source software tools, such as CloudCompare and Quantum GIS (QGIS), for data processing and analysis. The data processing workflow includes key steps: clipping, filtering, segmenting point clouds into ground points and non-ground points, classifying points, projecting point clouds into a horizontal plane, and generating point clouds specific to buildings and structures.

An important step involves exporting data into .shp format and creating polygons in QGIS, enabling a detailed comparison of the generated polygons with the existing 3D model of Zagreb. Such comparisons allow for the evaluation of the accuracy of classification and detection of building objects, as well as further improvement of the model.

The results of the thesis indicate the partially successful application of point cloud classification techniques and open-source tools for creating 3D city models, but also highlight certain limitations in the accuracy and precision of the classification.

Keywords: *3D model, City of Zagreb, classification, LiDAR, point cloud, buildings*

Sadržaj

1. UVOD	1
2. LIGHT DETECTION AND RANGING - LIDAR.....	2
2.1 LASERSKO SKENIRANJE IZ ZRAKA – ALS.....	3
2.2 LASERSKO SKENIRANJE SA ZEMLJE - TLS	4
3. 3D MODEL GRADA ZAGREBA.....	6
3.1 RAZINA DETALJA (LOD).....	7
4. SOFTVERI OTVORENOG KODA	9
4.1 CLOUDCOMPARE	9
4.2 QUANTUM GIS (QGIS).....	10
5. PODACI I PODRUČJE IZMJERE	12
5.1 DATOTEKA BAZE PROSTORNIH PODATAKA	12
5.2 LAS FORMAT	14
5.3 PODRUČJE IZMJERE.....	15
6. OBRADA PODATAKA.....	18
6.1 PRIPREMA PODATAKA ZA ZADANO PODRUČJE	18
6.2 FILTRIRANJE ULAZNIH PODATAKA	19
6.3. SEGMENTACIJA NA TOČKE TLA (ENG. GROUND POINTS) I OSTALE TOČKE (ENG. NON-GROUND POINTS).....	20
6.4 KLASIFIKACIJA OBLAKA TOČKA.....	21
6.5 PROJEKCIJA OBLAKA TOČKA U HORIZONTALNU RAVNINU I FORMIRANJE ODVOJENIH OBLAKA ZA ZGRADE.....	23
6.6 IZVOZ U .SHP FORMAT.....	24
6.7 FORMIRANJE POLIGONA U QGIS-U.....	25
6.8 USPOREDBA POLIGONA SA 3D MODELOM GRADA ZAGREBA	29
7. ZAKLJUČAK	40
LITERATURA.....	42
POPIS INTERNETSKIH STRANICA:	43
POPIS SLIKA	45
POPIS TABLICA.....	47

1. UVOD

Razvoj gradova i potreba za preciznim i ažurnim prostornim podacima postavljaju sve veće zahtjeve na razvoj tehnologije za snimanje i analizu okoliša. Jedna od ključnih tehnologija, a koja je uvelike poboljšala način na koji prikupljamo i analiziramo prostorne podatke, je Light Detection and Ranging (LiDAR). LiDAR tehnologijom omogućeno je prikupljanje trodimenzionalnih podataka o površini Zemlje i objektima koji se nalaze na njoj. Ova metoda korisna je za različite primjene poput prostornog planiranja, procjene rizika od prirodnih nepogoda, katastarske evidencije i ostale slične zadatke.

Bez obzira na napredak tehnologije prikupljanja LiDAR podataka, obrada i klasifikacija podataka i dalje predstavljaju izazov. Identifikacija i klasifikacija zgrada i drugih građevina unutar velikih skupova podataka zahtijeva napredne algoritme i pristupe koji mogu prepoznati i izdvojiti različite objekte na temelju njihovih karakteristika.

Ovaj diplomski rad istražuje mogućnosti klasifikacije zgrada i drugih građevina korištenjem oblaka točaka dobivenog LiDAR snimanjem iz zraka uz upotrebu slobodnih softverskih alata. Cilj istraživanja je analizirati kvalitetu i točnost klasifikacije koristeći slobodne softvere te usporediti dobivene rezultate s postojećim 3D vektorskim modelom Grada Zagreba. U ovom radu, istražit će se izgrađena područja s pretežitom kućama i višestambenim zgradama na području Grada Zagreba kako bi opisali prednosti i nedostatke korištenja slobodnih softvera za obradu LiDAR podataka.

Rad se sastoji od nekoliko ključnih dijelova. U prvom dijelu rada pružit će se teorijski okvir koji uključuje pregled LiDAR tehnologije. Nadalje prikazan je pregled slobodnih softverskih alata koji se koriste za ovu svrhu, a potom i koraci obrade podataka te analiza rezultata. U rezultatima je prikazana kvaliteta klasifikacije usporedbom s postojećim 3D modelom Grada Zagreba. Konačno, izneseni su zaključci, a koji su utemeljeni na dobivenim rezultatima. Ovaj rad doprinosi boljem razumijevanju mogućnosti i ograničenja slobodnih softverskih alata za obradu i klasifikaciju LiDAR podataka te njihovoj primjeni u praksi.

2. LIGHT DETECTION AND RANGING - LiDAR

U današnjem svijetu javlja se potreba za prikupljanjem i pohranjivanjem velikih količina podataka koji opisuju trodimenzionalna svojstva objekata oko nas. Prikupljanje velike količine podataka fizičkim kontaktom s objektom za svaku točku bilo bi nepraktično i dugotrajno, stoga se koristi fotogrametrija kao učinkovita metoda mjerenja bez neposrednog kontakta s objektom.

LiDAR je aktivni sustav daljinskog istraživanja koji koristi lasersku svjetlost (pulseve) za skeniranje i prikupljanje vrlo preciznih trodimenzionalnih (x, y, z) prostornih podataka o ciljevima. LiDAR sustavi se temelje na laserskom mjerenju udaljenosti, koje mjeri udaljenost između senzora (skenera) i cilja izračunavanjem produkta brzine svjetlosti i vremena potrebnog da emitirani laserski puls putuje do ciljanog objekta (Balenić i sur.,2013).

Tehnologija prostornog laserskog skeniranja postala je učinkovita i potpuno automatizirana metoda za prikupljanje prostornih podataka. Naziva se LiDAR (Light Detection and Ranging), iako je bilo prijedloga za upotrebu naziva LADAR (LAser Detection and Ranging) kako bi se naglasila upotreba lasera (Wehr i Lohr, 1999). Zbog velike učestalosti mjerenja (do 200 kHz) LiDAR može detaljno izmjeriti oblik površine terena i objekata u kratkom vremenu.

LIDAR je potpuno automatiziran, aktivan, optičko-mehanički postupak prikupljanja prostornih podataka dostupnih s aktualnih snimališta (Gajski, 2007). Zbog najbolje dostupnosti većih površina terena i pokretljivosti skenera najčešće se koriste avionske platforme. S druge strane, skeniranje s fiksnih stajališta pogodnije je za ograničena područja, izradu detaljnih modela zgrada i slično.

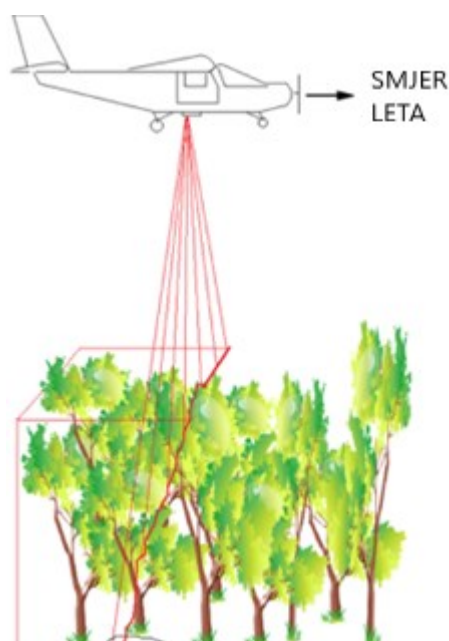
Tehnologija laserskog skeniranja, s obzirom na platformu koja nosi skener, se može podijeliti na:

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

Osim prostornog skeniranja LiDAR se, zbog svoje mogućnosti mjerenja brzine, smjera kretanja i gustoće čestica u atmosferi, još koristi i za praćenje fizikalnih procesa u atmosferi (Gajski, 2007).

2.1 LASERSKO SKENIRANJE IZ ZRAKA – ALS

Osnovni princip laserskog skeniranja iz zraka je prelijetanje područja izmjere zrakoplovom koji sa svoje donje strane nosi LiDAR. Područje izmjere se prelijeće u više nizova, širina jednog pojasa odnosno niza može se odrediti pomoću visine leta i vidnog kuta skenera (eng. Field of View – FOV). Cijelo se područje prema potrebi nadlijeće više puta kako bi se snimilo s potrebnim brojem nizova (Gajski, 2007). (Slika 1)



Slika 1 Lasersko skeniranje iz zraka (URL 1)

Sustav laserskog skeniranja iz zraka sastoji se od četiri osnovna hardverska dijela, a to su:

1. Laserski skener - laserski izvor generira energiju impulsa, laserski prijelnik detektira impulse laserske svjetlosti koji se reflektiraju natrag od ciljanih objekata,
2. Elektronički uređaj za mjerenje vremena – bilježi vrijeme proteklo od emitiranja do prijema odaslanog impulsa,
3. GPS (eng. Global Positioning System) - bilježi preciznu X,Y,Z lokaciju

- skenera, za točnije određivanje pozicije koristi fiksnu zemaljsku referentnu stanicu,
4. IMU (eng. Inertial measurement unit) – također bilježi lokaciju skenera, sastoji se od senzora koji bilježe brzinu, orijentaciju i gravitacijsku silu. IMU bilježi nagib, rotaciju i skretanje zrakoplova tijekom snimanja,
 5. Računalo za pohranu podataka i upravljanje sustavom - integrira podatke iz laserskog sustava, GPS-a i IMU-a za izradu podataka o lidarskim točkama (URL 2).

Kako je već navedeno, mjerenja se izvode s leteće platforme te se u novije vrijeme uz zrakoplove i helikoptere koriste i bespilotne letjelice. Ovisno o tome koja je platforma u pitanju visina leta može varirati. Tako u slučaju da se snimanje izvodi zrakoplovom visina leta je u rasponu 500 – 1000 m, za snimanja helikopterom visina leta je u rasponu 200 - 300 m dok bespilotne letjelice lete na visini od 50 m. Zbog visoke apsorpcije u vidljivim valnim duljinama ALS sustavi uobičajeno rade u bliskom infracrvenom valnom spektru (900 – 1064 nm) (Balenović i sur.,2013).

Udaljenost od senzora do mjerene točke određuje na osnovu mjerenja vremena koje je potrebno da laserski impuls stigne do objekta i reflektira se nazad. Laserski skener se sastoji od sljedećih glavnih dijelova:

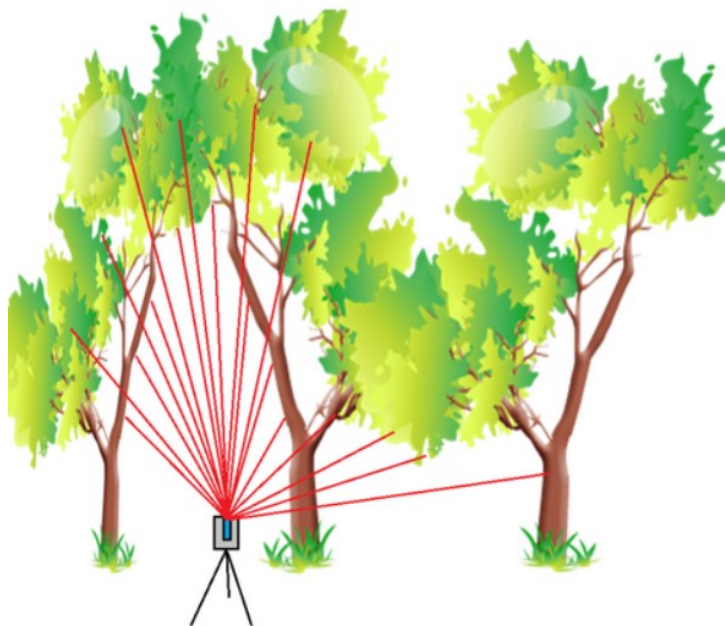
- impulsnog lasera, čija se učestalost pulsiranja može mijenjati
- mehanizma za skeniranje
- prijemnog senzora sa sklopom za mjerenje vremena putovanja laserskog impulsa (Gajski, 2007).

2.2 LASERSKO SKENIRANJE SA ZEMLJE - TLS

Od pojave prvih terestričkih laserskih sustava do danas, došlo je do velikog tehnološkog napretka. Danas su laserski skeneri (TLS) sve prisutnija metoda snimanja prostora.

Princip rada je vrlo sličan današnjim klasičnim geodetskim instrumentima s laserom, a koji su u upotrebi već godinama. Laserska zraka odaslana iz mjernog instrumenta se reflektira od objekta snimanja i vraća natrag do mjernog instrumenta. Kombinacija izmjerene udaljenosti i kuta s određenog stajališta daje koordinate tražene točke u 3D prostoru (Miler i sur., 2007). (Slika 2)

Terestrički laserski skeneri omogućuju brže i detaljnije prikupljanje podataka u odnosu na klasična laserska mjerenja. Geodetski stručnjaci, kao i drugi korisnici, prepoznaju prednosti 3D laserskog skeniranja kao novog alata za proširenje poslovnih mogućnosti u budućnosti.



Slika 2 Terestričko lasersko skeniranje (URL 3)

3. 3D MODEL GRADA ZAGREBA

3D model Grada Zagreba kombinira podatke o postojećim objektima zajedno sa slojevima iz područja urbanizma, arhitekture, topografije, javnih zelenih površina i sl. Glavni cilj projekta je potaknuti korištenje i unapređenje 3D modela grada u gradskoj upravi, obrazovanju, znanosti i drugim primjenama. Aplikacija omogućuje vizualizaciju slojeva i podloga, prilagodbu prikaza podataka, izbor objekata i dr.

Ažurirana verzija iz veljače 2020. godine uključuje 3D prikaz stabala iz Katastra zelenila, 3D mesh i oblak točaka za blok Ilica-Gundulićeva-Varšavska-Margaretska, oblak točaka i ortofoto za područje Svetice-Maksimir, vizualizaciju vodenih površina te alate za analizu vidljivosti i presjeke. Projekt vodi Gradski ured za strategijsko planiranje i razvoj Grada, a razvila ga je tvrtka GDi d.o.o. (URL 4).

Mogućnosti aplikacije, kao što su prilagodljivi prikazi podataka, izbor objekata i alati za mjerenje, omogućuju korisnicima interakciju s 3D modelom i izvlačenje značajnih uvida. Dodatno, uključivanje novih značajki u verziji iz veljače 2020., poput 3D prikaza stabala iz Katastra zelenila i alata za analizu vidljivosti i izradu presjeka, povećava korisnost 3D modela za različite namjene (URL 4).

Podaci su prikupljeni aerofotogrametrijskim snimanjem i kartiranjem iz 2008. godine te su kasnije dopunjeni podacima temeljenim na aerofotogrametrijskom i LiDAR snimanju (URL 5).



Slika 3 Sučelje 3D modela Grada Zagreba (URL 6)

3.1 RAZINA DETALJA (LOD)

Podaci o postojećim objektima u 3D obliku prikupljeni su iz različitih ranijih projekata u gradskoj upravi te predstavljaju kombinaciju stanja iz 2008., 2012. i 2019. godine te razine detaljnosti LOD 1 i LOD 2.

Postoji pet hijerarhijski poredanih razina detaljnosti prikaza objekata (LOD – eng. Level of Detail). Najjednostavniji prikaz nekog objekta kojim se prikažu samo konturne linije naziva se LOD1 ili tzv. model kutija (eng. box model), dodavanjem tekstura i prikazom krova dolazimo do sljedeće razine (LOD2). Dodavanjem vanjske arhitekture objekta na LOD2 dobivamo sljedeću razinu detaljnosti, odnosno LOD3. Kada u LOD3 dodamo detaljan prikaz unutrašnjosti objekta dobivamo najvišu razinu prikaza detalja odnosno LOD4 kao što je prikazano na slici 4 (Kolarek, 2009.) (Tablica 1).

Tablica 1 Opis razina detaljnosti (LOD-ova) (Kolarek 2009)

LOD	Opis razine detaljnosti prikaza objekta
0	prikaz digitalnog modela terena
1	prikaz osnovnih oblika objekata, tzv. model kutija (eng. box model)
2	prikaz objekata s teksturama i detaljnom strukturom krova
3	detaljan prikaz vanjske arhitekture objekata s detaljnom strukturom krova
4	detaljan prikaz unutrašnjosti objekata

Kako bi lakše razumjeli razine detaljnosti, slika 4 prikazuje svih pet razina prema Biljeckom (2017).

Vizualni prikaz pomaže da jasno vidimo razlike među razinama i bolje shvatimo koliko se detalja uključuje na svakoj od njih.



Slika 4 Prikaz pet razina detaljnosti (Biljecki, 2017)

4. SOFTVERI OTVORENOG KODA

Softver otvorenog koda (eng. open source software) je softver s izvornim kodom koji svatko može pregledati, modificirati i poboljšati (URL 7).

Neki softver ima izvorni kod koji samo osoba, tim ili organizacija koja ga je stvorila—i koja ima isključivu kontrolu nad njim—može mijenjati. Ljudi ovu vrstu softvera nazivaju "vlasničkim" ili softverom "zatvorenog koda" (URL 7).

U izradi diplomskog rada su korišteni softveri otvorenog koda, konkretnije CloudCompare i Quantum GIS (QGIS). Njihov opis je prikazan u sljedećim poglavljima.

4.1 CLOUDCOMPARE

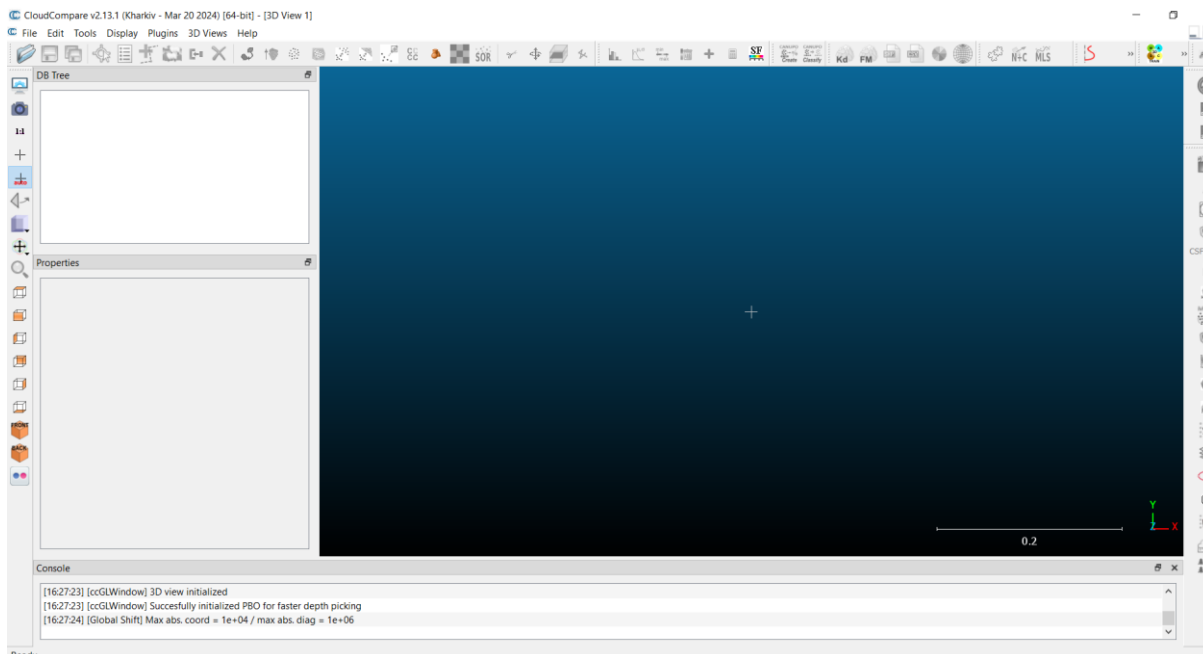
CloudCompare (URL 8) predstavlja besplatan softver otvorenog koda namijenjen obradi 3D oblaka točaka. Ovaj alat je izvorno namijenjen za usporedbu gustih 3D oblaka točaka, kao što su oni dobiveni laserskim skenerima.

Ključna karakteristika CloudCompare-a je njegova struktura octree, koja omogućuje velike mogućnosti pri usporedbi oblaka. Proširen je kako bi postao općenitiji softver za obradu 3D oblaka točaka. CloudCompare nudi širok spektar mogućnosti, kao što su osnovni alati za ručno uređivanje i prikaz 3D oblaka točaka te trokutastih mreža. Također, pruža pristup naprednim algoritmima obrade, poput projekcija, registracije, izračuna udaljenosti, statističkih analiza, segmentacije i slično.

CloudCompare se ističe kao popularan alat u različitim područjima primjene, uključujući geodeziju, kartografiju, arhitekturu, znanost o okolišu, forenziku te čak područje umjetne inteligencije. CloudCompare dostupan je za operacijske sustave Windows, macOS i Linux, čime pruža svestranost i pristupačnost korisnicima širom različitih platformi (Reitz i Wenzel, 2012).

CloudCompare ima jednostavno i intuitivno sučelje, prikazano na slici 5, koje je prilagođeno analizi oblaka točaka. Glavni dio sučelja čini vizualizacijski prostor u kojem korisnik može pregledavati, rotirati i zumirati podatke. Na vrhu se nalazi traka s alatima za učitavanje podataka, segmentaciju, registraciju i analizu oblaka točaka. Na lijevoj strani smješten je panel hijerarhije podataka (eng. DB Tree), koji prikazuje

sve učitane entitete i omogućava upravljanje vidljivošću i parametrima objekata. Dodatno, konzola smještena na dnu daje informacije o procesima i eventualnim greškama. Sučelje također nudi opcije za prilagodbu prikaza, uključujući promjenu boja i filtriranje podataka.



Slika 5 Sučelje softvera CloudCompare

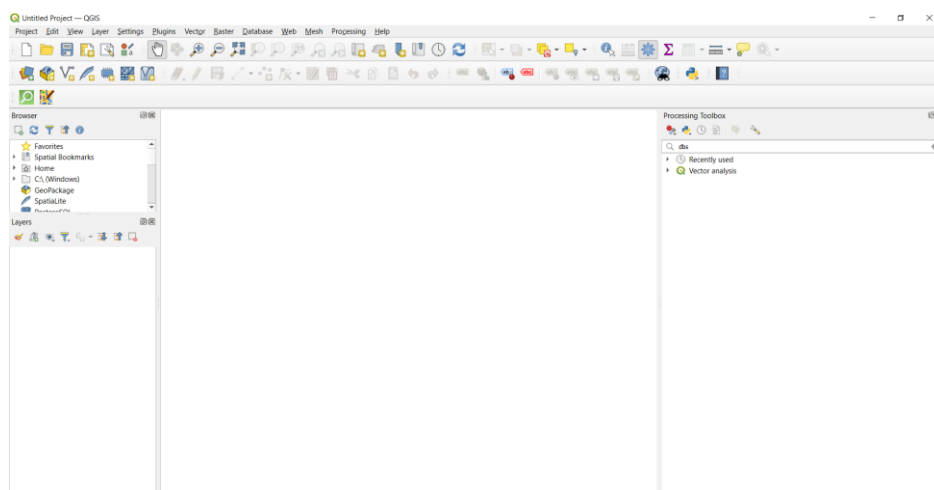
4.2 QUANTUM GIS (QGIS)

Quantum GIS (QGIS) besplatan je GIS softverski paket otvorenog koda koji je stvorio QGIS razvojni tim 2002. godine. Razvijen je kao dio Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) i dostupan je za različite operativne sustave, uključujući Windows, macOS i Linux. QGIS podržava širok spektar prostornih formata podataka, uključujući rastere, vektorske podatke, baze podataka i oblake točaka, što ga čini izuzetno fleksibilnim alatom za GIS analize (Flenniken i sur., 2020.).

QGIS podržava vektorske (točka, linija i poligon) i rasterske formate te oblake točaka. Uz to podržava i prostorne podatke, kao što su WMS i WFS, te georeferenciranje. Jedna od glavnih prednosti QGIS-a je njegova široka biblioteka dodataka (plugin-ova) koja omogućuje proširivanje osnovne funkcionalnosti, uključujući alate za analizu LiDAR podataka, 3D vizualizaciju i složene analize oblaka točaka. Integracija s drugim alatima poput GRASS GIS-a i SAGA GIS-a omogućuje korisnicima pristup naprednim analitičkim mogućnostima unutar jednog sučelja.

QGIS se često koristi u različitim područjima kao što su urbanizam, prostorno planiranje, znanstvena istraživanja i slično. Posebno je koristan za projekte koji zahtijevaju detaljnu analizu i usporedbu prostornih podataka, kao što je klasifikacija zgrada i građevina na temelju LiDAR oblaka točaka.

Službena web stranica QGIS-a (URL 9) pruža korisnicima pristup različitim verzijama softvera. Na stranici se nalaze stabilne verzije koje su preporučene za većinu korisnika zbog svoje pouzdanosti, kao i verzije u razvoju (eng. nightly builds) koje omogućuju testiranje najnovijih funkcionalnosti. Također, dostupne su arhivske verzije, koje omogućuju preuzimanje starijih izdanja softvera. Osim toga, web stranica nudi bogatu dokumentaciju, vodiče, forum i resurse za dodatke koji proširuju mogućnosti QGIS-a.



Slika 6 Sučelje softvera QGIS

5. PODACI I PODRUČJE IZMJERE

Podaci za obradu u obliku oblaka točaka dobiveni su primjenom tehnologije multisenzorskog snimanja Grada Zagreba, odnosno gradskih naselja Rudeš i Trešnjevka.

Podaci su dobiveni u 5 datoteka u LAS formatu, nalaze se u UTM sustavu zona 33, datum WGS84. Prikaz odgovara stanju 26. ožujka 2012. godine.

Kako bismo detaljno analizirali dobivene rezultate i provjerili kvalitetu klasifikacije, zadana je i ZG3D.gdb datoteka s kojom ćemo usporediti rezultate. Datoteka sadrži podatke izvezene sa internetske stranice „ZG 3D aplikacija“ (URL 4).

5.1 DATOTEKA BAZE PROSTORNIH PODATAKA

Na svojoj najosnovnijoj razini, ArcGIS baza prostornih podataka je kolekcija geografskih skupova podataka različitih tipova koji se čuvaju u zajedničkoj mapi sustava datoteka ili višekorisnički sustav upravljanja relacijskom bazom podataka kao što je Microsoft SQL Server, Oracle, PostgreSQL i slično. Baze prostornih podataka dolaze u puno veličina; imaju različit broj korisnika i može se skalirati od malih baza podataka za jednog korisnika izgrađenih na datotekama do većih baza prostornih podataka radnih grupa, odjela i poduzeća kojima pristupa mnogo korisnika (URL 10).

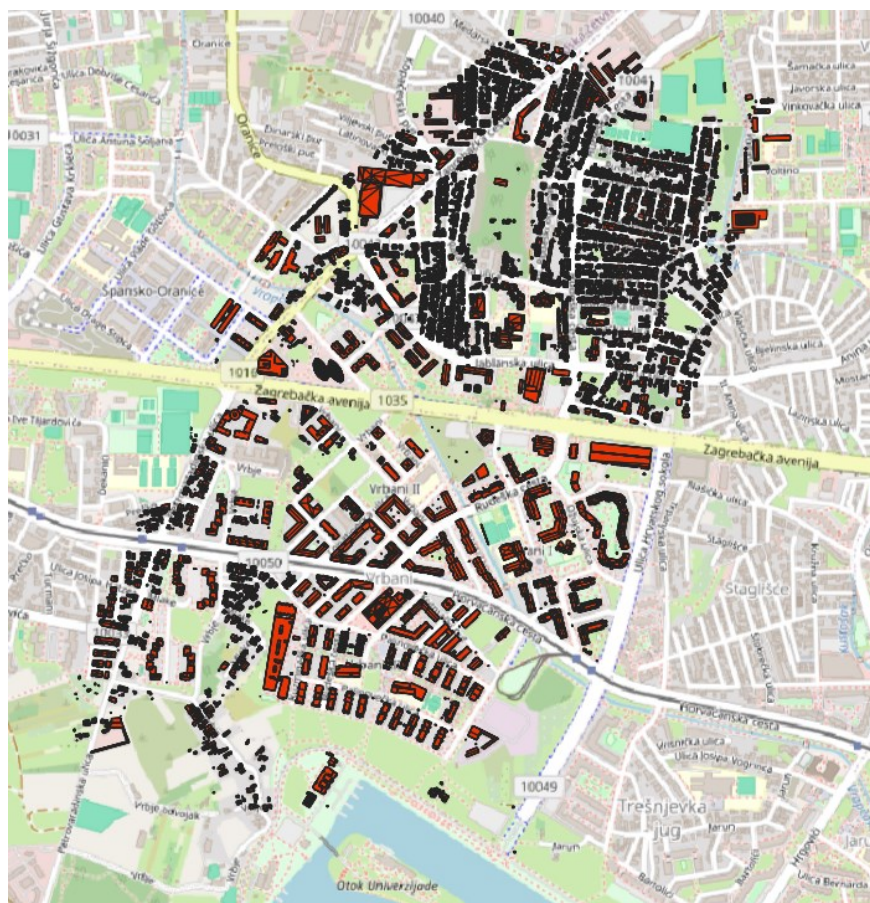
Datoteka baze prostornih podataka pohranjuje se kao više datoteka u mapi s nastavkom .gdb. Svaki skup podataka sadržan je u jednoj datoteci. Datoteke baza prostornih podataka dizajnirane su za uređivanje od strane jednog korisnika. Moguće je imati više od jednog uređivača koji istovremeno uređuje pod uvjetom da uređuju u različitim skupovima podataka obilježja, samostalnim klasama obilježja ili tablicama (URL 10).

Datoteke baza prostornih podataka predstavljaju fleksibilno i učinkovito rješenje za pohranu i upravljanje velikim količinama geografskih podataka. Zahvaljujući prilagođenoj strukturi podataka, omogućuju značajnu uštedu prostora u odnosu na tradicionalne formate poput shapefile-a, a istovremeno nude visoke performanse prilikom izvođenja složenih prostornih analiza. Njihova prenosivost i prilagodljivost

čine ih idealnim izborom za širok spektar GIS projekata, od individualne upotrebe do primjene u organizacijama (URL 10).

diplomski > Podaci (5) > ZG3D.gdb		Pretraži: ZG3D.gdb	
a0000001.gdbindexes GDBINDEXES datoteka 110 bajtova	a0000001.gdbtable GDBTABLE datoteka 323 bajtova	a0000001.gdbtablx GDBTABLX datoteka 5,03 KB	a0000001.TablesByName.atx ATX datoteka 4,02 KB
a0000002.gdbtablx GDBTABLX datoteka 5,03 KB	a0000003.gdbindexes GDBINDEXES datoteka 42 bajtova	a0000003.gdbtable GDBTABLE datoteka 1,01 KB	a0000003.gdbtablx GDBTABLX datoteka 5,03 KB
a0000004.CattemsByType.atx ATX datoteka 4,02 KB	a0000004.FDO_UUID.atx ATX datoteka 4,02 KB	a0000004.gdbindexes GDBINDEXES datoteka 310 bajtova	a0000004.gdbtable GDBTABLE datoteka 96,5 KB
a0000004.horizon HORIZON datoteka 32 bajtova	a0000004.spx SPX datoteka 4,02 KB	a0000005.CattemTypesByName.atx ATX datoteka	a0000005.CattemTypesByParentTypeID.atx ATX datoteka
a0000005.gdbindexes GDBINDEXES datoteka 296 bajtova	a0000005.gdbtable GDBTABLE datoteka 2,02 KB	a0000005.gdbtablx GDBTABLX datoteka 5,03 KB	a0000006.CatRelByDestinationID.atx ATX datoteka
a0000006.CatRelByType.atx ATX datoteka 4,02 KB	a0000006.FDO_UUID.atx ATX datoteka 4,02 KB	a0000006.gdbindexes GDBINDEXES datoteka 318 bajtova	a0000006.gdbtable GDBTABLE datoteka 263 bajtova
a0000007.CatRelTypesByBackwardLabel.atx ATX datoteka	a0000007.CatRelTypesByDestItemTypeID.atx ATX datoteka	a0000007.CatRelTypesByForwardLabel.atx ATX datoteka	a0000007.CatRelTypesByName.atx ATX datoteka 12,0 KB
a0000007.CatRelTypesByUUID.atx ATX datoteka 4,02 KB	a0000007.gdbindexes GDBINDEXES datoteka 602 bajtova	a0000007.gdbtable GDBTABLE datoteka 3,54 KB	a0000007.gdbtablx GDBTABLX datoteka 5,03 KB
a0000009.gdbtable GDBTABLE datoteka 3,33 MB	a0000009.gdbtablx GDBTABLX datoteka 35,0 KB	a0000009.horizon HORIZON datoteka 32 bajtova	a0000009.spx SPX datoteka 140 KB
timestamps Datoteka 400 bajtova			gdb Datoteka 4 bajtova

Slika 7 Prikaz sadržaja baze prostornih podataka

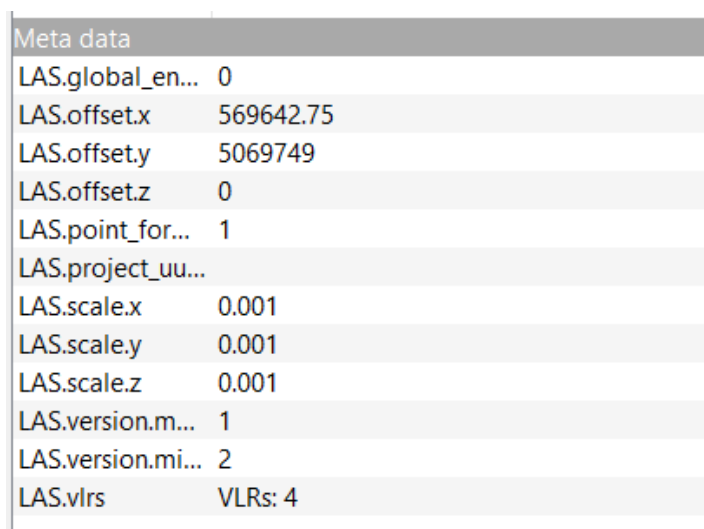


Slika 8 Učitana .gdb datoteka u QGIS

5.2 LAS FORMAT

LAS format je javni format podataka za razmjenu 3D oblaka točaka između korisnika. Iako je razvijen primarno za potrebe razmjene LiDAR podataka, danas podržava razmjenu bilo kojih 3D x, y, z, nizova (Ivšić i dr., 2016.).

LAS datoteke sadrže zbirku pojedinačnih LiDAR točaka, svaka sa skupom atributa kao što su X, Y i Z koordinate, vrijednosti intenziteta, povratni brojevi i klasifikacijski kodovi. Format je napravljen tako da bude fleksibilan, dopuštajući korisniku da odabere koji će atributi biti uključeni u datoteku, ovisno o njihovim potrebama. Jedna od prednosti LAS formata je ta što je dizajniran tako da se po potrebi mogu dodavati novi atributi. Osim toga, format uključuje informacije zaglavljaja koje pružaju važne metapodatke o datoteci, kao što su informacije o projekciji te datum i vrijeme ankete (URL 11).

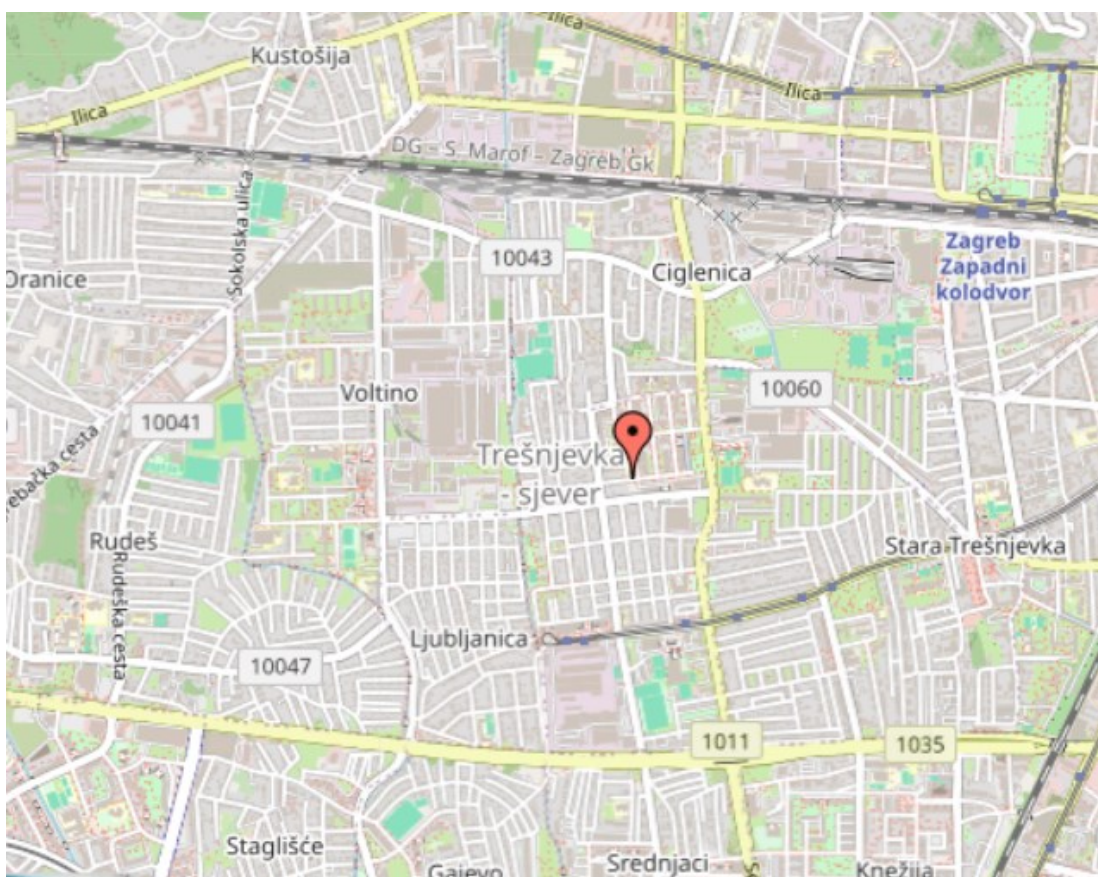
A screenshot of a table showing LAS meta-data. The table has a header row 'Meta data' and several rows of key-value pairs. The keys include LAS.global_en..., LAS.offset.x, LAS.offset.y, LAS.offset.z, LAS.point_for..., LAS.project_uu..., LAS.scale.x, LAS.scale.y, LAS.scale.z, LAS.version.m..., LAS.version.mi..., and LAS.vlrs. The values are 0, 569642.75, 5069749, 0, 1, LAS.project_uu..., 0.001, 0.001, 0.001, 1, 2, and VLRs: 4 respectively.

Meta data	
LAS.global_en...	0
LAS.offset.x	569642.75
LAS.offset.y	5069749
LAS.offset.z	0
LAS.point_for...	1
LAS.project_uu...	
LAS.scale.x	0.001
LAS.scale.y	0.001
LAS.scale.z	0.001
LAS.version.m...	1
LAS.version.mi...	2
LAS.vlrs	VLRs: 4

Slika 9 Metapodaci LAS formata

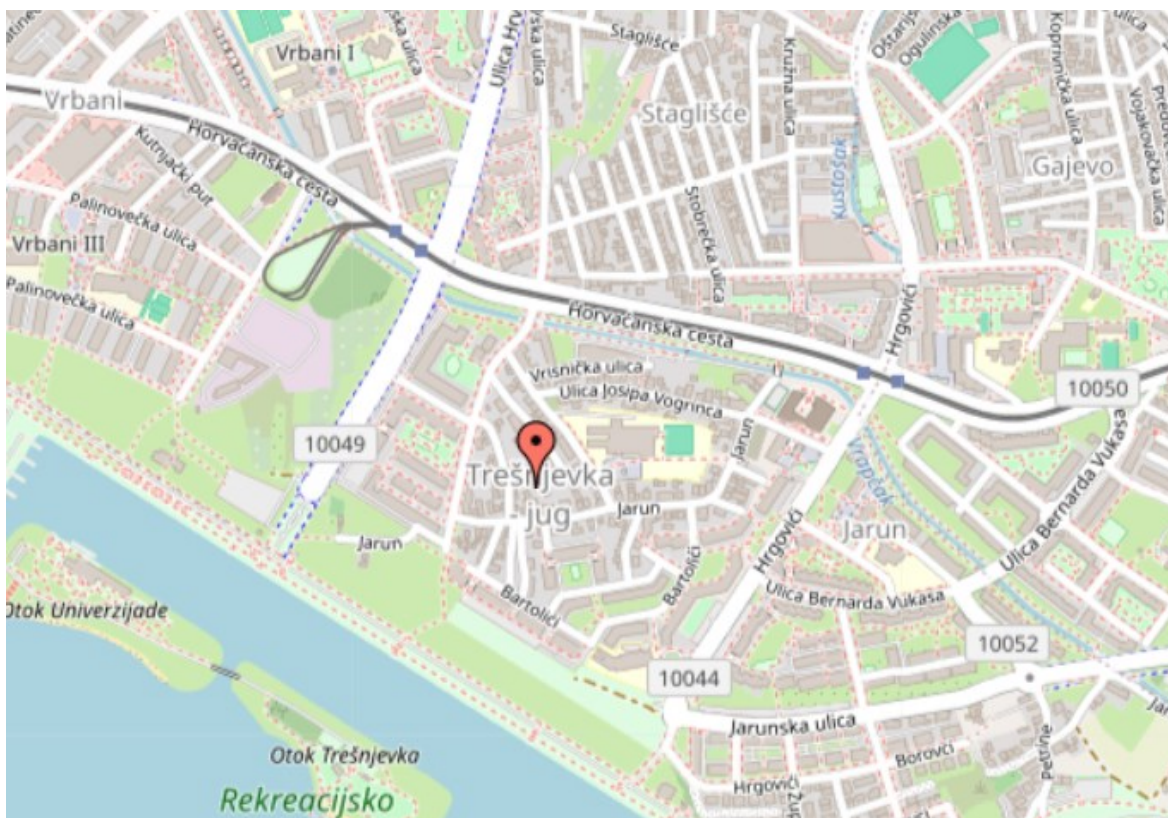
5.3 PODRUČJE IZMJERE

Trešnjevka-sjever je gradsko naselje (kvart) smješteno u zapadnom dijelu Zagreba (Slika 11). Na istoku četvrti prevladavaju pravilni gradski blokovi, za razliku od istočnog dijela koje se sastoji od uskih uličica sa gusto naseljenim kućama. Četvrt se proteže južno od željezničke pruge odnosno sjeverno od Ljubljanske/Zagrebačke avenije. Zapadnu granicu četvrti predstavlja Zagrebačka cesta, dok je sa istočne strane omeđena savskom cestom. Prema podacima iz 2011. godine površina četvrti iznosi 5.8 km² te se u njoj nalazi 55425 stanovnika. Prvotno je postojala općina Trešnjevka koja je Statutom Grada Zagreba (14. prosinca 1999.) podijeljena na Trešnjevka-sjever i Trešnjevka-jug (URL 12).



Slika 10 Protezanje kvarta Trešnjevka - sjever (URL 12)

Trešnjevka-jug je gradska četvrt Grada Zagreba. Četvrt obuhvaća dio Zagreba južno od Zagrebačke avenije, zapadno od Savske ceste, sjeverno od rijeke Save, a istočno od ulice Savska Opatovina (Slika 12). Prema podacima iz 2011. godine površina četvrti je 9.84 km², a broj stanovnika 66 674. Za razliku od ostalih četvrti, Trešnjevka – jug, ima dosta zelenih površina te je veliki dio tih površina neiskorišten (URL 12).



Slika 11 Protezanje kvarta Trešnjevka - jug (URL 12)

Rudeš je također gradsko naselje u zapadnom dijelu Zagreba i istoimeni mjesni odbor u gradskoj četvrti Trešnjevka – jug (Slika 13). Kvart je sa sjeverozapadne strane određen Zagrebačkom cestom, s istočne strane je omeđen potokom Kustošakom te s južne se nalazi Zagrebačka avenija. Za razliku od ostatka kvartova na tom području, u Rudešu je veća koncentracija obiteljskih kuća nego zgrada. Još jedna od zanimljivosti je da Rudeš nema centar u kojem se nalaze objekti kao što su lokali, trgovine i slično, već su oni raspoređeni po rubovima kvarta.

Površina naselja iznosi 110,77 ha (1,1077 km²). Prema popisu stanovništva iz 2011. godine u naselju se nalazi 10 881 stanovnik (URL 13).



Slika 12 Protezanje kvarta Rudeš 2013.g (URL 13)

6. OBRADA PODATAKA

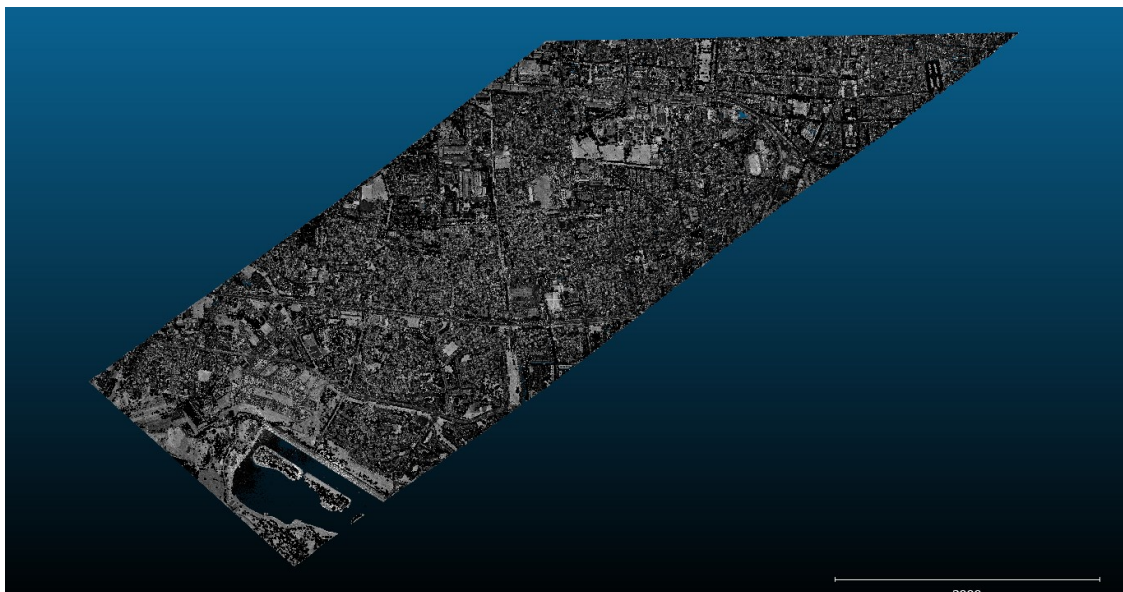
U ovom poglavlju opisana je primjena softverskih alata u procesu obrade podataka. Svaki pojedini korak je detaljno opisan u pod-poglavljima i popraćen vizualnim prikazom.

6.1 PRIPREMA PODATAKA ZA ZADANO PODRUČJE

Za potrebe analize i obrade podataka korišteno je pet zasebnih .las datoteka koje su sadržavale podatke oblaka točaka za šire područje grada Zagreba. Radi lakše obrade i upravljanja velikim količinama podataka, prvi korak bio je spajanje svih pet datoteka u jedan oblak točaka.

Nakon spajanja podataka, sljedeći korak bio je izrezivanje područja obuhvata kako bi izdvojili dio oblaka točaka. Budući da su početni podaci pokrivali šire područje grada, izrezivanje je omogućilo da smanjimo veličinu datoteke odnosno točaka u oblaku. Ovaj korak je bitan jer je omogućio lakše upravljanje podacima i povećanje brzine obrade podataka. Proces je proveden pomoću slobodnog softvera CloudCompare, koji nudi alate za precizno definjiranje granica obuhvata i selektivno izdvajanje podataka.

Nakon procesa izrezivanja podataka u softveru CloudCompare dobili smo oblak točaka koji sadrži podatke za gradska naselja Rudeš i Trešnjevka koji predstavljaju područje od interesa za daljnju obradu podataka (Slika 14).



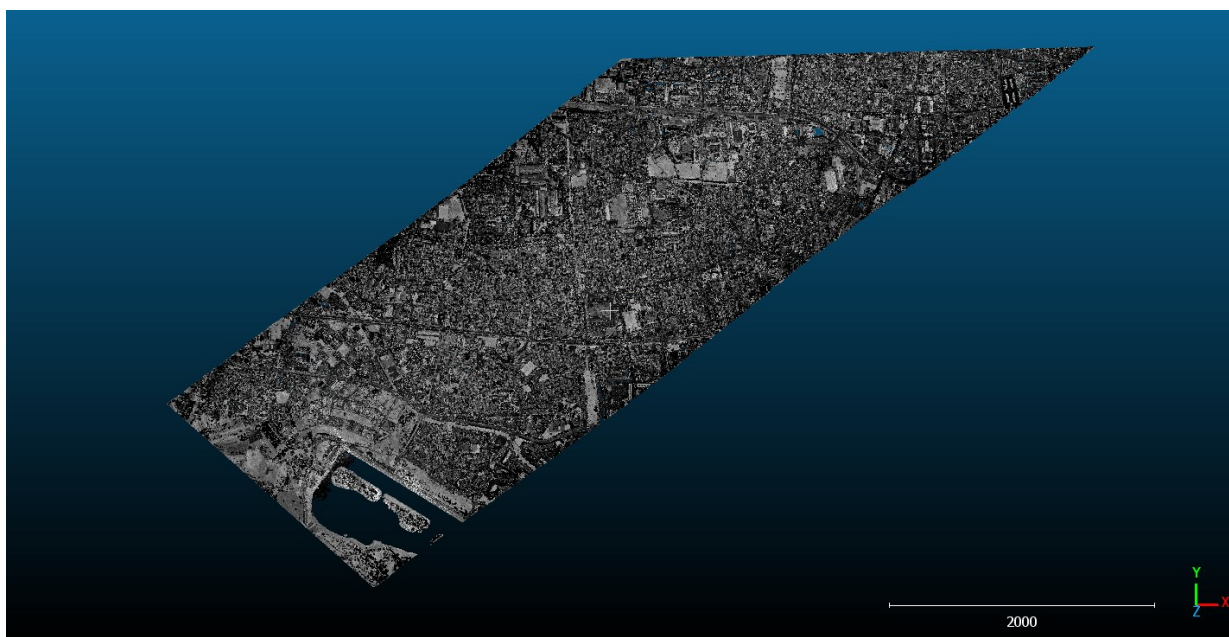
Slika 13 Područje obuhvata nakon rezanja

6.2 FILTRIRANJE ULAZNIH PODATAKA

Šumove treba ukloniti jer značajno utječu na rezultate predložene metode, koja ovisi o točkama smještenim u imaginarnoj koloni, stoga će točnost biti pogođena ako se šumovi koriste u drugim koracima obrade. CloudCompare koristi metodu uklanjanja statističkih izuzetaka, koja prosječno računa udaljenosti između susjednih točaka kako bi uklonila šumove (Arefi, Mahphood, 2022).

Šumovi su uklonjeni korištenjem metode *Statistical Outlier Removal* (SOR) dostupne u softveru CloudCompare. Ova metoda temelji se na statističkom pristupu analize udaljenosti između susjednih točaka u oblaku. SOR filter izračunava prosječnu udaljenost svake točke do njezinih najbližih susjeda i zatim uklanja one točke koje odstupaju izvan unaprijed definiranog raspona.

Primjena SOR filtra u ovom procesu osigurala je čist i precizno definiran oblak točaka. Ova tehnika filtriranja, koja se oslanja na rad Arefija i Mahphooda (2022), pokazala se učinkovitom u povećanju kvalitete podataka, čime je osnova za daljnje korake obrade i analize (Slika 15).

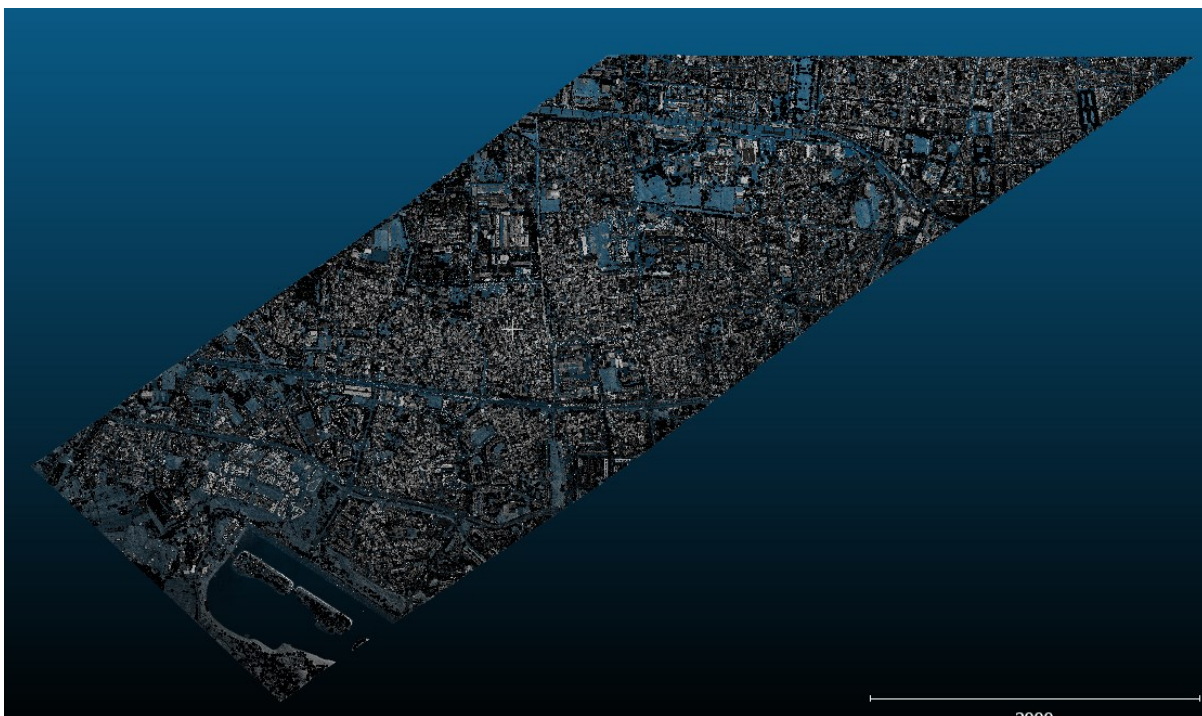


Slika 14 Oblak točaka nakon filtriranja

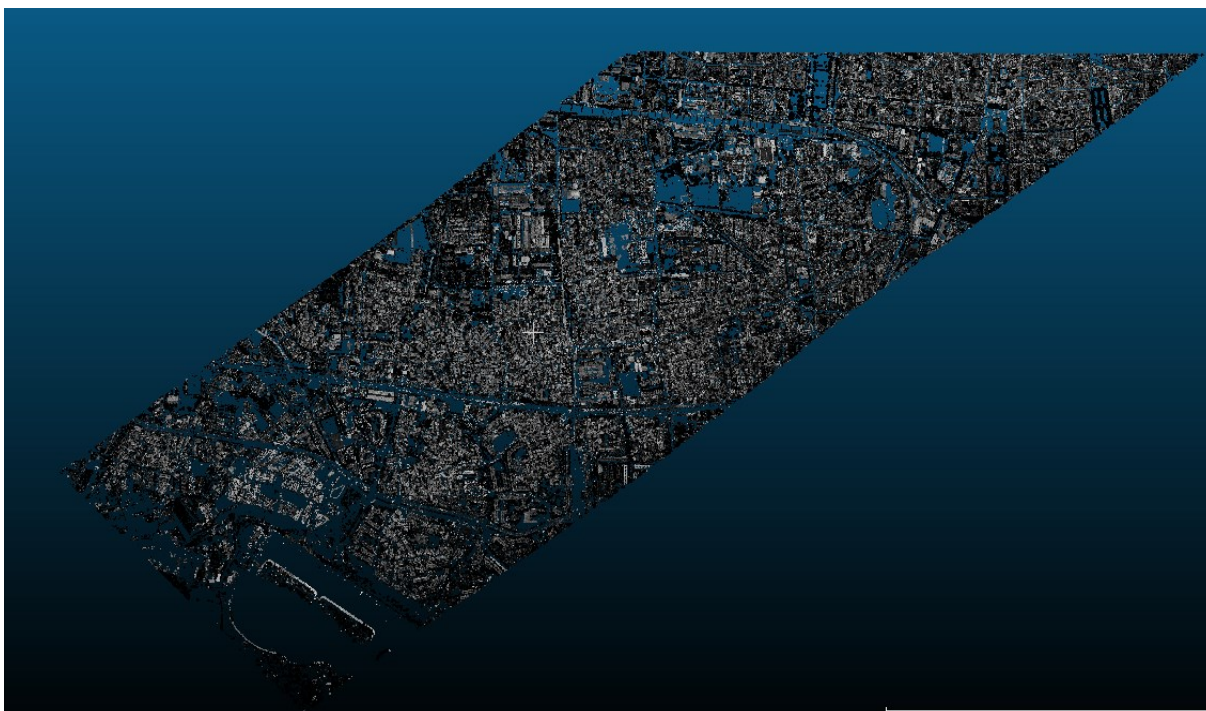
6.3. SEGMENTACIJA NA TOČKE TLA (ENG. GROUND POINTS) I OSTALE TOČKE (ENG. NON-GROUND POINTS)

LiDAR je neselektivna metoda kartiranja, odnosno oblak točaka sadrži točke tla (eng. ground points) i točke koje su iznad tla (eng. non-ground points). Za kvalitetnu klasifikaciju podataka prvo je potrebno točke u oblaku razdvojiti na točke tla i ostale točke. Ovaj korak je bitan jer omogućava izdvajanje i klasifikaciju ostalih objekata (vegetacije, zgrada i sl.).

U CloudCompare-u je segmentacija točaka tla i drugih točaka urađena pomoću *Cloth Simulation Filter* (CSF). CSF filter se koristi za izdvajanje točaka tla iz oblaka točaka dobivenih LiDAR skeniranjem. LiDAR oblak točaka se preokreće, a zatim se krutom tkaninom prekriva obrnuta površina. Analizom interakcija između čvorova tkanine i odgovarajućih LiDAR točaka mogu se odrediti lokacije čvorova tkanine kako bi se stvorila aproksimacija površine tla. Konačno, prizemne točke mogu se izdvojiti iz LiDAR oblaka točaka usporedbom izvornih LiDAR točaka i generirane površine (Zhang, Qi, Wan, Wang, Xie, Wang, & Yan, 2016).



Slika 15 LiDAR podaci koji sadrže točke tla i ostale točke



Slika 16 LiDAR podaci bez točaka tla (eng. non-ground points)

6.4 KLASIFIKACIJA OBLAKA TOČAKA

Budući ulazni podaci predstavljaju oblak točaka, svaka točka sadrži 3D koordinate koje odgovaraju točki na Zemljinoj površini od koje se zraka odbila. Osim koordinata, LiDAR sustav zapaža intenzitet povratnih signala i broj povratnih signala. Intenzitet refleksije daje važne podatke o karakteristikama površine od koje se zraka odbila te može biti koristan izvor informacija za određivanje šuma ili urbanih objekata, odnosno klasifikacije (Holmgren i Persson, 2004).

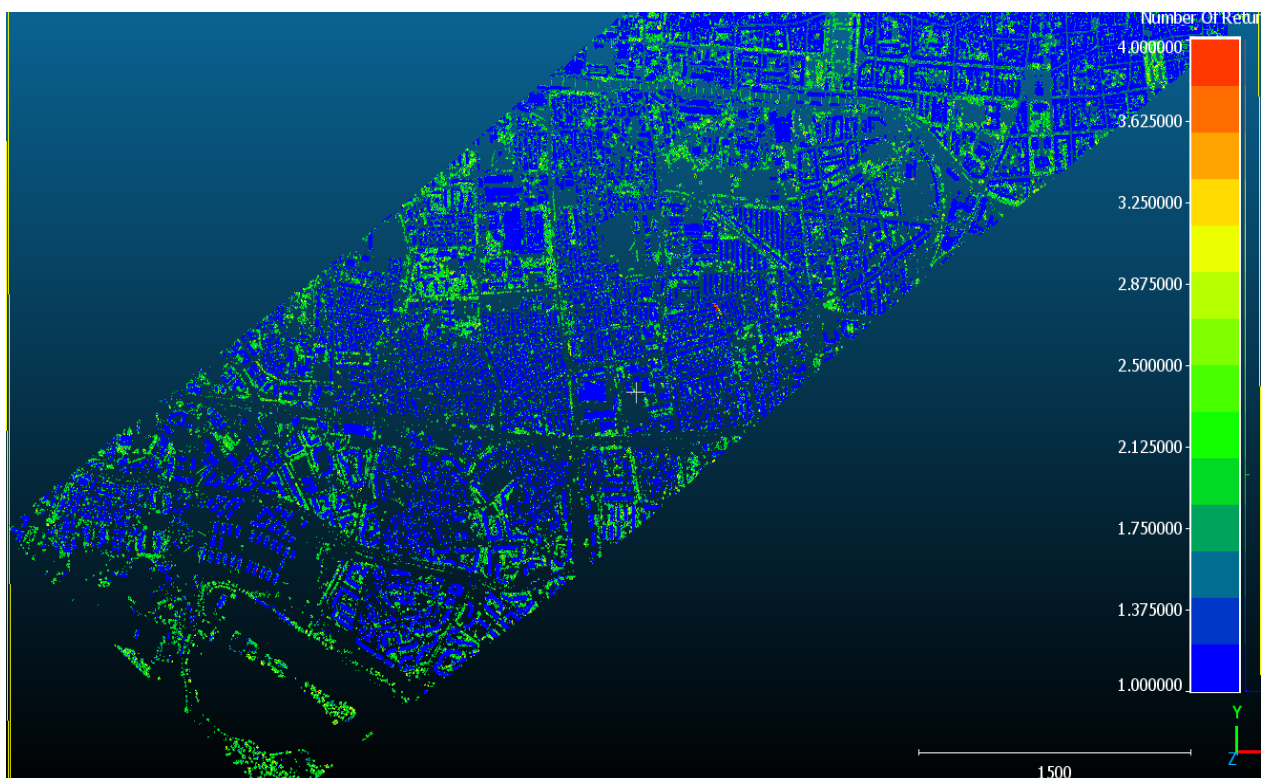
Nakon razdvajanja podataka oblaka točaka na točke koje predstavljaju površinu tla i sve ostale točke, dobili smo oblak točaka koji uključuje različite objekte urbane sredine kao što su zgrade, kuće, vegetacija i druge objekte.

Kako bismo iz oblaka točaka uklonili vegetaciju, koristili smo filtriranje temeljem atributa *Number Of Returns*. Ovaj atribut se često koristi u analizi LIDAR podataka te daje informacije o broju refleksija laserskog impulsa s različitih površina na putu od lasera do Zemljine površine te natrag do lasera. Vegetacija, zbog svoje slojevite strukture, često ima veći broj refleksija u usporedbi s čvrstim, glatkim površinama kao što su zgrade ili ceste. Zgrade i ostali urbani objekti u pravilu imaju jedan povratni signal zbog njihove homogenosti i ravnih površina. Uključivanjem legende na slici

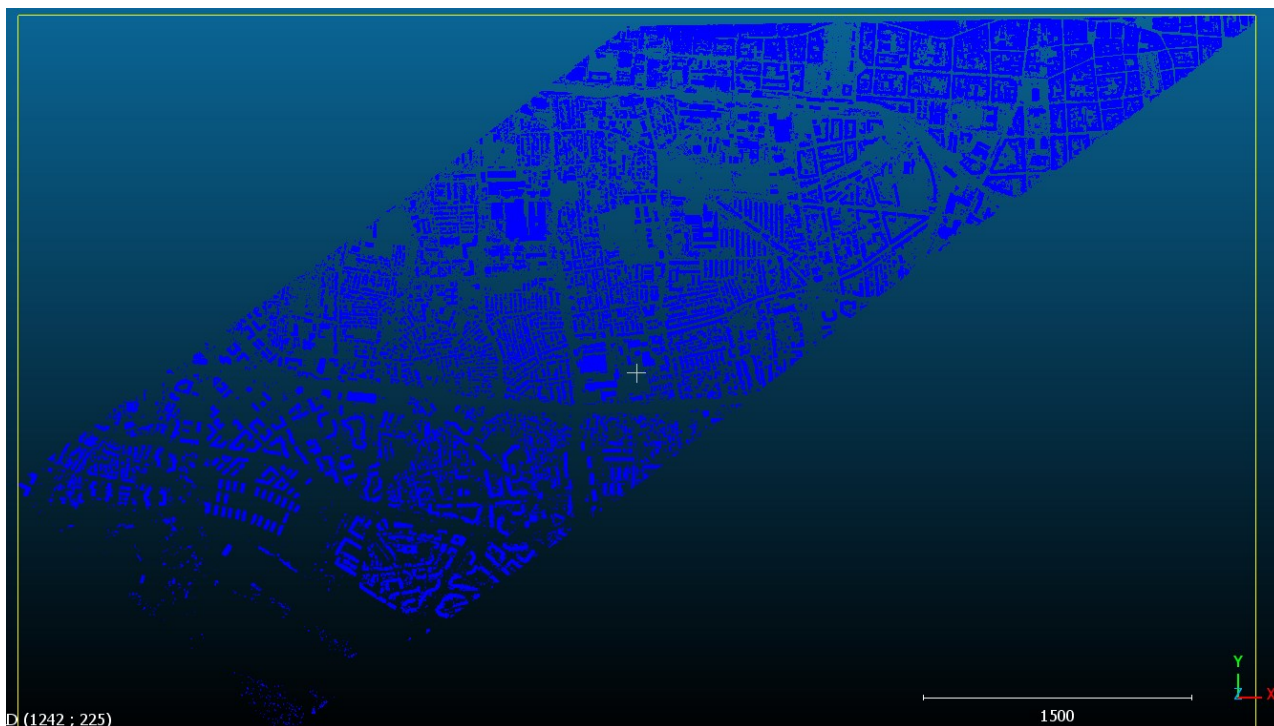
18 možemo vidjeti da vegetacija ima veći broj povratnih signala te je označena zelenom bojom.

Filtriranje je provedeno odabirom svih točaka čija vrijednost *Number Of Returns* prelazi 1,60. Ovaj prag je postavljen na temelju analize karakteristika podataka i omogućava pouzdanu separaciju vegetacije od drugih elemenata u urbanom području.

Nakon primjene ovog kriterija, izdvojili smo oblak točaka koji predstavlja zgrade unutar područja od interesa (Slika 19). Ovaj segment podataka osnova je daljnjoj obradi kako bismo dobili oblak točaka koji sadrži samo zgrade i građevine.



Slika 17 Oblak točaka prije izdvajanja vegetacije



Slika 18 Oblak točaka nakon uklanjanja vegetacije

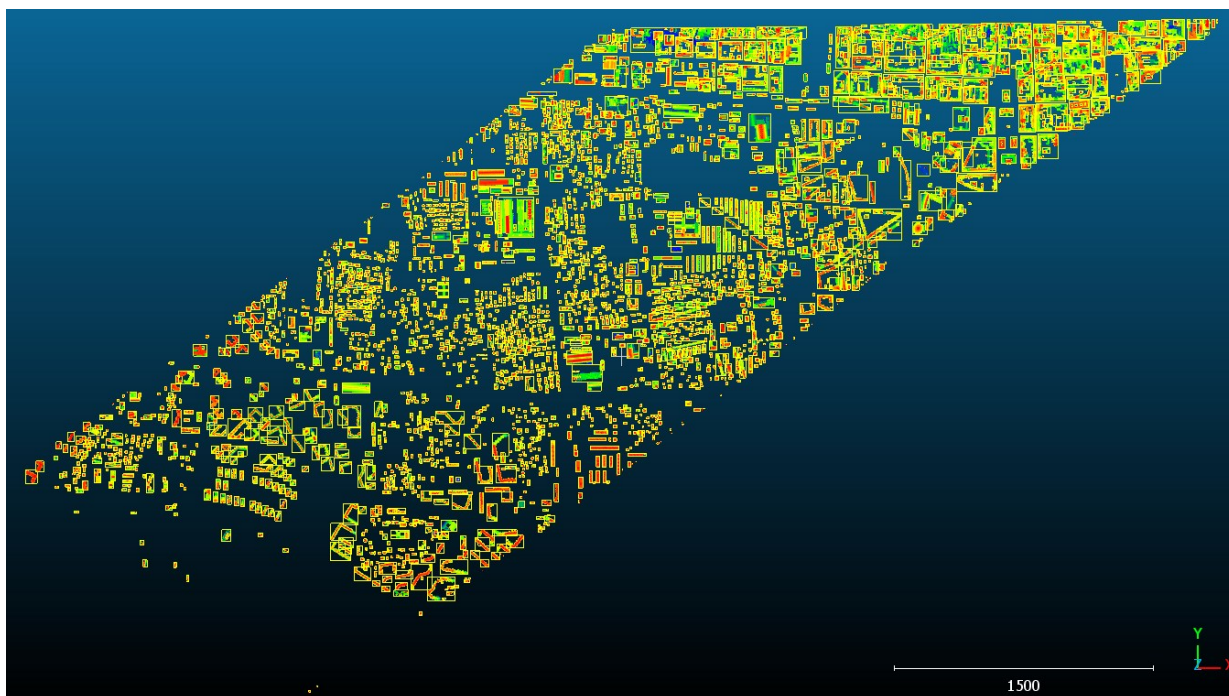
6.5 PROJEKCIJA OBLAKA TOČAKA U HORIZONTALNU RAVNINU I FORMIRANJE ODVOJENIH OBLAKA ZA ZGRADE

Jedan od ključnih koraka u obradi podataka bio je transformacija oblaka točaka iz 3D prostora u 2D ravninu kako bi se omogućila daljnja segmentacija zgrada. Ovaj korak je izveden korištenjem funkcije unutar softvera CloudCompare.

Za potrebe ovog postupka korištena je funkcija *Multiple/Scale*, pomoću koje je moguće skalirati oblak točaka duž odabrane osi. Postavljanjem vrijednosti varijable *Scale_Z* na 0, oblak točaka je spljošten tako da su sve točke projicirane u horizontalnu 2D ravninu. Ova transformacija otklanja vertikalnu komponentu (Z-osi), dok su horizontalne koordinate (X i Y) ostale nepromijenjene.

Nakon „spljoštavanja“ oblaka, za izdvajanje zgrada korištena je funkcija *Label Connected Components* unutar CloudCompare-a. Ova funkcija automatski prepoznaje i grupira povezane točke temeljem njihove prostorne bliskosti u 2D ravnini. Grupiranje (eng. Clustering) je algoritam strojnog učenja bez nadzora koji organizira i klasificira različite objekte, točke ili opažanja u grupe ili klustere na temelju sličnosti ili uzoraka (URL 8). Na taj način svaka zgrada postaje zaseban oblak točaka.

Rezultat ovog postupka bio je skup zasebnih oblaka točaka, od kojih svaki predstavlja jednu zgradu unutar područja interesa (Slika 20).

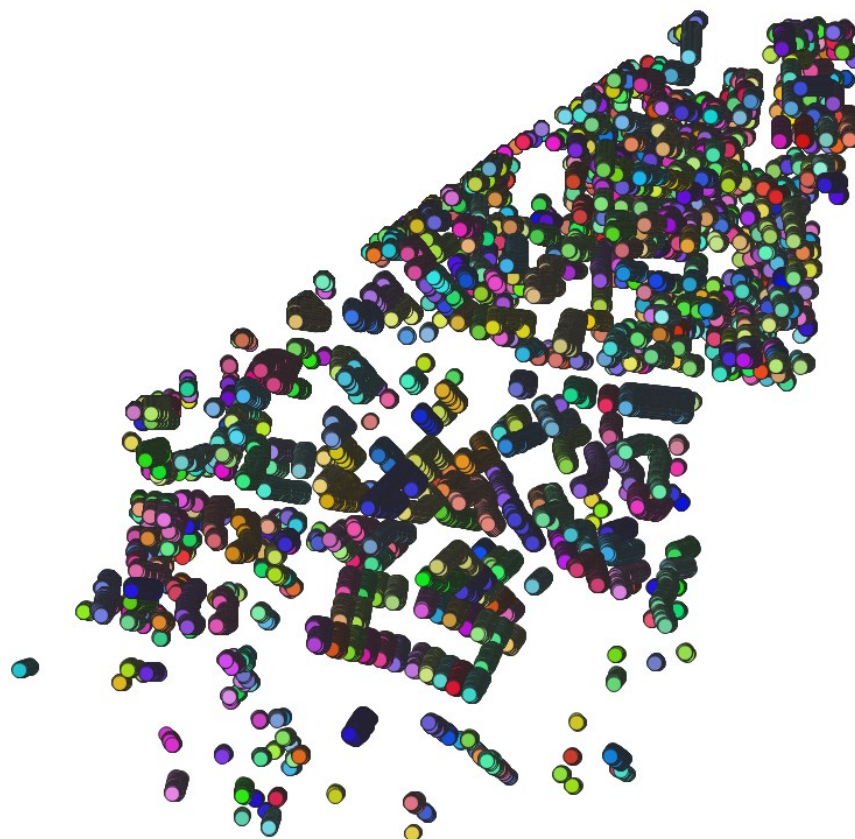


Slika 19 Točke zgrade podijeljene u klustere

6.6 IZVOZ U .SHP FORMAT

Nakon segmentacije i izdvajanja odvojenih oblaka točaka za zgrade, podaci su izvezeni u točkasti .shp format (Shapefile). Ovaj korak omogućio je daljnju obradu u GIS softveru, odnosno u QGIS-u, koji pruža napredne alate za prostornu analizu i vektorizaciju podataka.

Izvezeni .shp file s točkama koje predstavljaju zgrade učitani su u QGIS (Slika 21). Shapefile format je jednostavan, netopološki format za pohranu informacija o geometrijskoj lokaciji i atributima geografskih značajki. Geografske značajke u datoteci oblika mogu biti predstavljene točkama, linijama ili poligonima (područjima) (URL 14). Jedan je od najčešće korištenih formata u GIS-u zbog svoje kompatibilnosti s različitim GIS aplikacijama.



Slika 20 Učitani točkasti podaci u QGIS-u

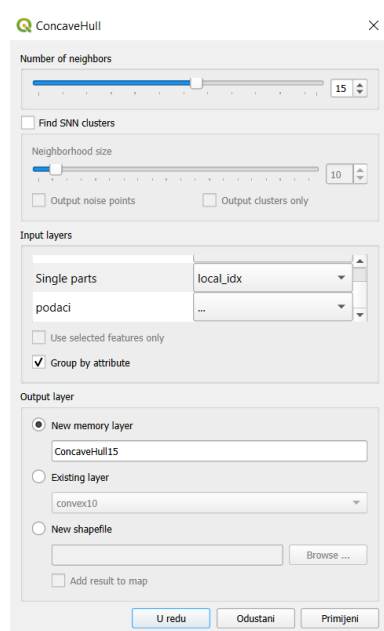
6.7 FORMIRANJE POLIGONA U QGIS-U

Nakon učitavanja, svaka skupina točaka, koja je prethodno predstavljala zgradu u oblaku točaka, tretirana je kao zaseban objekt. U QGIS-u je korišten alat *ConcaveHull* za pretvorbu tih točaka u poligone kao što je vidljivo na slici 23. *ConcaveHull* je geometrijska metoda koja izračunava konveksnu ljusku za svaku značajku u ulaznom sloju. Ova metoda koristi algoritme koji spajaju točke prema definiranim parametrima, poput broja susjeda (*k-nearest neighbors*) ili praga detaljnosti (*threshold*), čime se određuje koliko će poligon vjerno odražavati obris točaka. Postavljeni parametri za vrijednost najbližih susjeda vidljivi su na slici 22 (URL 9).

Za usporedbu, klasični *ConvexHull* izračunava najmanju konveksnu ljusku za skup točaka, zanemarujući udubljenja i detalje oblika. Rezultat je poligon s ravnim rubovima koji zatvara sve točke unutar sebe, koristan za grube procjene ili jednostavne granice. Međutim, ova metoda može preuveličati površinu i

pojednostaviti oblik, osobito kod nepravilnih geometrija poput kompleksnih zgrada ili objekata s prazninama.

ConcaveHull, s druge strane, nudi fleksibilniji pristup jer omogućava kreiranje poligona koji precizno opisuje stvarne granice zgrada. Ova metoda se koristi u slučajevima kada je potrebno detaljno mapiranje objekata ili analiza njihovih stvarnih prostornih karakteristika.



Slika 21 Parametri korišteni za funkciju ConcaveHull



Slika 22 Poligoni dobiveni korištenjem funkcije Concave Hull u QGIS

Prilikom postavljanja parametara za vrijednost *Number of Neighbors* isprobano je više mogućnosti. Odabirom manje vrijednosti za visoke stambene i građevinske objekte smo dobili poligone koji su poprilično izobličeni. Takav pristup omogućava generiranje poligona i za manje objekte, ali uz smanjenu preciznost i nepravilnosti u obliku.

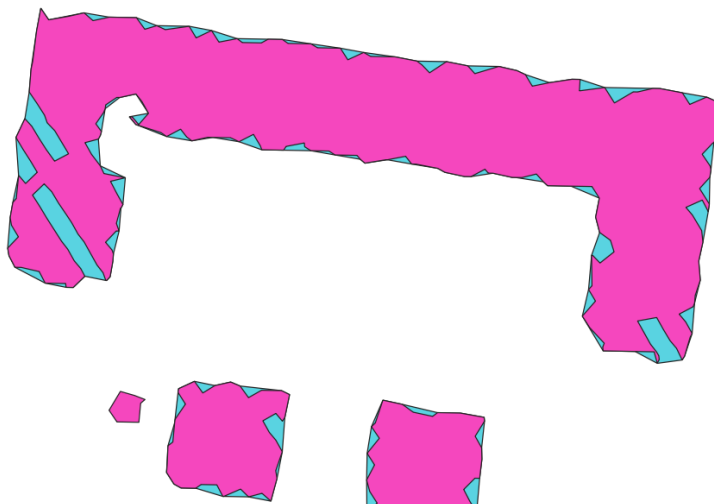
S druge strane, postavljanjem veće vrijednosti (npr. 15) dobiveni su poligoni koji prate linije zgrada za visoke objekte, ali za manje objekte koji nisu detaljno prikazani ne dobivamo poligone.

Na slici 24 prikazana je razlika između dvaju poligona, gdje se jasno vidi kako različite vrijednosti parametra *Number of Neighbors* utječu na rezultate. Gornji poligon, prikazan ljubičastom bojom, kreiran je s nižom vrijednošću parametra (vrijednost je postavljena na 5), što rezultira detaljnijim prikazom objekta. Ova vrijednost omogućava veću preciznost u

generiranju poligona, ali može dovesti do prepoznavanja manjih i potencijalno nevažnih objekata, kao što su vegetacija ili sitni građevinski elementi.

Donji poligon, prikazan plavom bojom, kreiran je s većom vrijednošću parametra (vrijednost je postavljena na 15), što rezultira generaliziranim poligonom. Ovaj pristup smanjuje broj točaka unutar poligona, čime se pojednostavljuje oblik i smanjuje detaljnost, ali istovremeno poboljšava preciznost u prepoznavanju većih objekata kao što su visoke zgrade. Ova generalizacija omogućava bolji pregled većih objekata, ali može dovesti do gubitka detalja za manja i manje razrađena područja.

Ova razlika između ljubičastog i plavog poligona pokazuje kako izbor parametra *Number of Neighbors* izravno utječe na ravnotežu između preciznosti i generalizacije pri modeliranju objekata na temelju oblaka točaka.



Slika 23 Razlika u poligonima dobivenim različitim vrijednostima za parametar *Number of Neighbors*

6.8 USPOREDBA POLIGONA SA 3D MODELOM GRADA ZAGREBA

Nakon kreiranja poligona, da bismo detaljnije proučili i analizirali točnost dobivenih rezultata, potrebno je poligone usporediti sa postojećim vektorskim 3D modelom grada Zagreba.

Budući da se izvorni LiDAR podaci odnose na 2012. godinu, a 3D model grada Zagreba na podatke iz 2008. godine koji su dopunjavani 2012. i 2019. godine, bilo je potrebno uzeti u obzir i vremensku komponentu. Kako bismo jasno vidjeli koje zgrade su izgrađene nakon 2012. godine u QGIS-u smo ih kategorizirali te obojali u drugu boju (žutu) kao što je vidljivo na slici 25. Na taj način ih možemo vrlo jednostavno isključiti iz analize kako ne bi utjecali na točnost podataka.



Slika 24 3D model grada Zagreba sa izdvojenim objektima iza 2012. godine

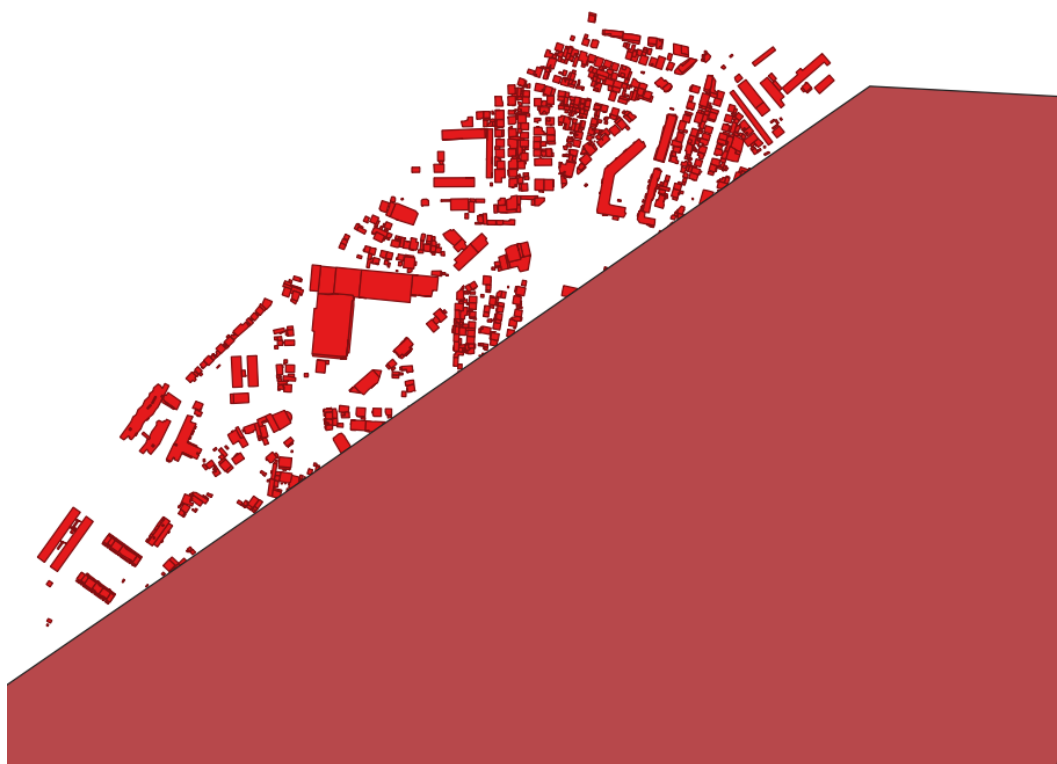
S obzirom da su ulazni podaci bili jako veliki, nije bilo moguće precizno odrediti područje obuhvata prilikom rezanja podataka u CloudCompare-u što također utječe na rezultate analize. Na slici 26 možemo primijetiti nedostatak podataka oblaka točaka 3D modela grada Zagreba u lijevom dijelu, odnosno formirane poligone u desnom dijelu za koje nemamo podatke 3D modela.



Slika 25 Neslaganje podataka 3D modela i LiDAR podataka

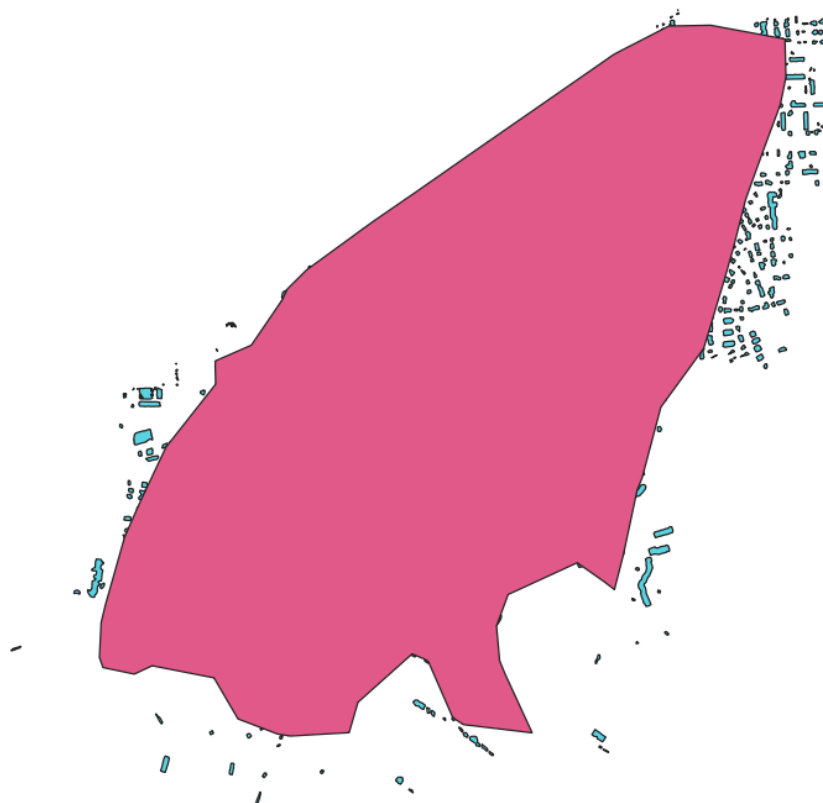
Kako bismo otklonili poligone koji zbog nedovoljno dobrog rezanja podataka na područje izmjere utječu na analizu podataka, kreirali smo poligon koji prekriva sve točke dobivene iz oblaka točaka. Funkcijom *Intersection* smo preklapili podatke 3D modela Grada Zagreba i dobiveni poligon te otklonili višak podataka, odnosno one koji se ne nalaze na našem području istraživanja kao što je vidljivo na slici 27.

Funkcija *Intersection* izdvaja preklapajuće dijelove značajki iz ulaznog sloja (Input layer) i sloja za preklapanje (Overlay layer). Značajke u izlaznom sloju "Intersection" dobivaju attribute preklapajućih značajki iz oba sloja, kako ulaznog tako i sloja za preklapanje (URL 9).



Slika 26 Prikaz podataka 3D modela koji ne upadaju u područje izmjere

Ista stvar je učinjena i za poligone dobivene iz oblaka točaka. Prvo su funkcijom *Random points inside polygons* kreirane točke unutar poligona 3D modela oko kojih smo funkcijom *ConcaveHull* kreirali poligon koji obuhvaća sve objekte 3D modela. Nakon toga su podaci dobiveni iz oblaka točaka preklopljeni dobivenim poligonom funkcijom *Intersection* te su na taj način otklonjeni poligoni koji nisu bili obuhvaćeni odnosno za koje nemamo poligone dobivene iz oblaka točaka (Slika 28).



Slika 27 Prikaz poligona dobivenih iz oblaka točaka koji se ne ulaze u područje izmjere

Rezanjem podataka otklonili smo one poligone koji se ne nalaze u našem području obuhvata i koji bi uvelike utjecali na analizu rezultata. Ovaj postupak omogućio je fokusiranje na podatke koji su relevantni za istraživanje te smanjenje mogućnosti pogreške i analizi podataka. Dobiveni poligoni koji će biti korišteni u daljnjoj analizi su prikazani na slici 29.



Slika 28 Dobiveni podaci za daljnju analizu

Površine predstavljaju jedan od najvažnijih atributa koji pokazuju uspješnost klasifikacije. Kako bismo mogli interpretirati podatke pomoću površine, potrebno je napraviti preklap objekata.

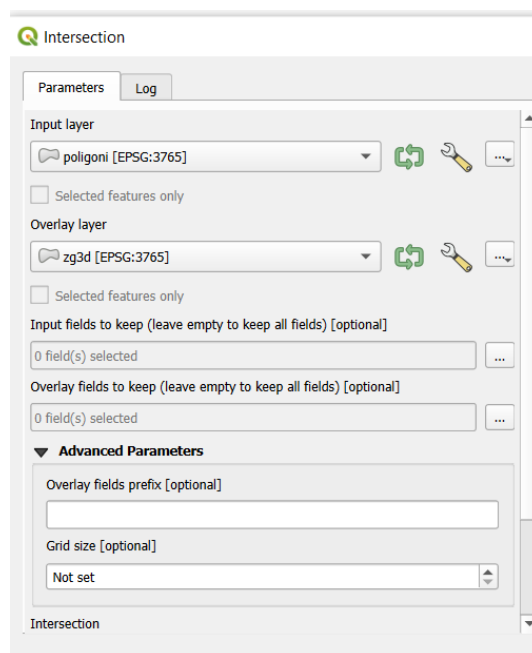
Budući da podaci 3D modela grada Zagreba nisu savršeni već se svaka zgrada sastoji od više objekata, prvi korak je bio sređivanja podataka. Funkcijom *Fix geometries* je popravljena geometrija podataka te funkcijom *Dissolve* (sa uključenom opcijom *Keep disjoint feature separate*) izbrisali unutarnje granice poligona te za svaku zgradu dobili zaseban poligon.

Algoritam *Dissolve* uzima vektorski sloj i kombinira njegove značajke u nove značajke. Može se odrediti jedan ili više atributa kako bi se spojile značajke koje pripadaju istoj klasi (imaju istu vrijednost za zadane attribute), ili se alternativno sve značajke mogu spojiti u jednu jedinstvenu značajku (URL 9).

Za novi sloj, u atributnoj tablici, je stvoren novi atribut *pov_3d* te je funkcijom *Field Calculator* izračunata površina za dobivene poligone. Pregledavanjem podataka prepoznato

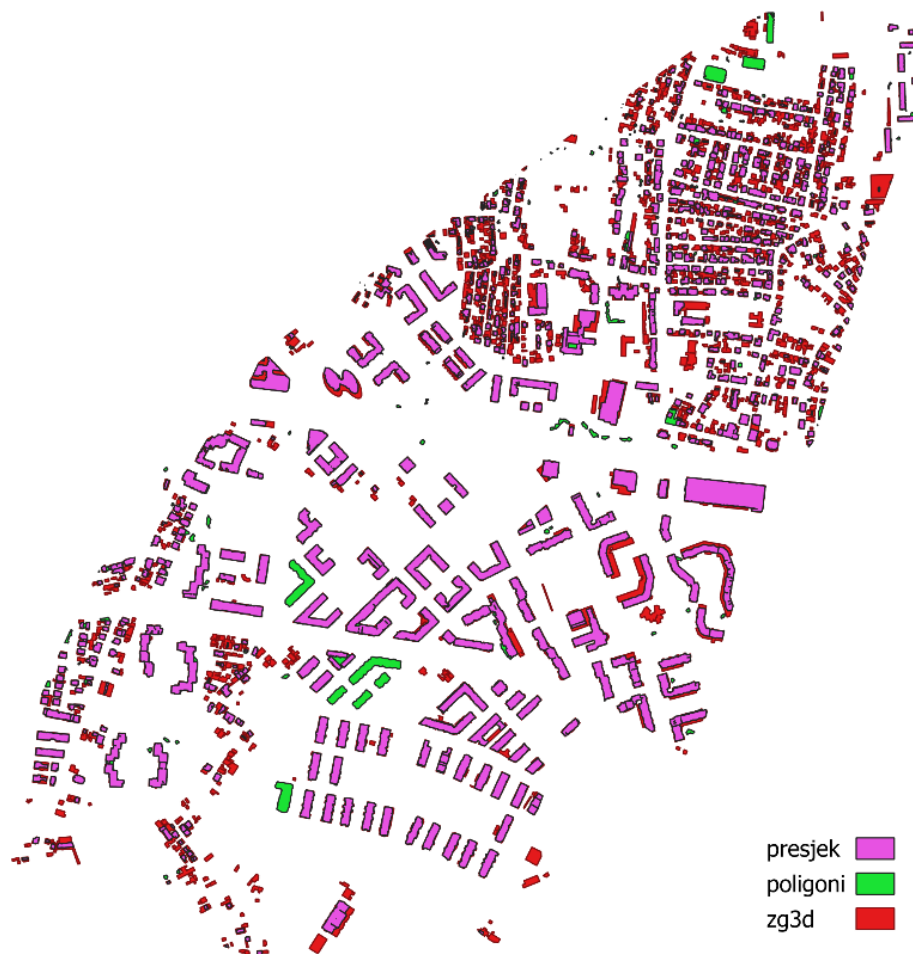
je da još uvijek postoje objekti koji nisu valjani te kako se ne bi narušavala točnost podataka u analizi, otklonjeni su svi poligone koji imaju površinu manju od 25 m².

Budući da imamo sve slojeve, potrebno je napraviti preklap tih dvaju slojeva. Preklapanje je izvedeno funkcijom *Intersection* gdje su za ulazni sloj postavljeni generirani poligoni, a za sloj preklapanja 3D model grada Zagreba.



Slika 29 Parametri postavljeni za funkciju *Intersection*

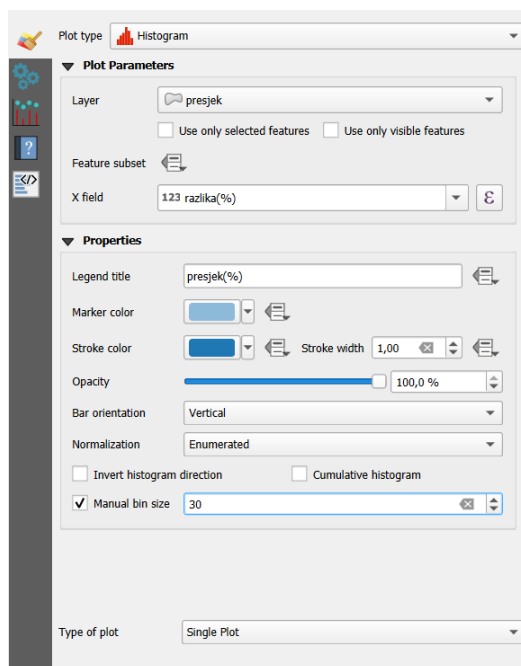
Pokretanjem navedene funkcije dobiven je sloj koji sadrži poligone koji su zajednički za oba sloja. U atributnoj tablici je formiran novi atribut *pov_pres* koji predstavlja površine dobivenih poligona te su funkcijom *Field Calculator* izračunate površine za dobivene poligone koje su nam potrebne za daljnju analizu. Dodatno, radi boljeg razumijevanja podataka, dodan je još jedan novi atribut u kojem je izračunat postotak preklapanja. Na slici 31 su prikazana sva tri poligona sa legendom.



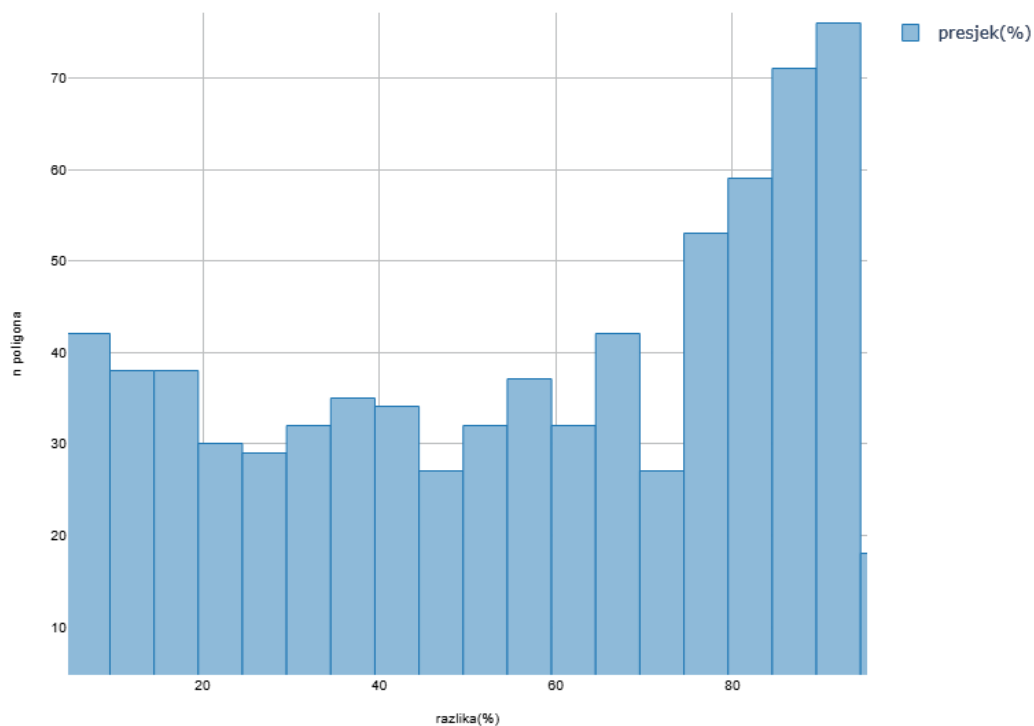
Slika 30 Prikaz preklapanja poligona

Za prikaz izračunatih površina, odnosno postotka preklapanja objekata, korišten je histogram. U QGIS-u je instaliran plugin *DataPlotly* pomoću kojeg je napravljen histogram. Za vrijednost na X-osi postavljeni su postotci preklapanja površina te je za broj klasa postavljeno 30. Na Y-osi prikazan je broj poligona koji pripadaju određenoj klasi. Na slici 32 vidljivi su postavljeni parametri za izvršenje funkcije.

Histogram preklapanja poligona (Slika 33) pokazuje da većina generiranih poligona ima visok postotak preklapanja s 3D modelom Grada Zagreba (na desnoj strani histograma), što ukazuje na dobru usklađenost podataka. Međutim, također postoji manji broj poligona s niskim postotkom preklapanja, što može biti posljedica šuma u podacima ili nesavršenosti u segmentaciji i klasifikaciji. Raspodjela postotka preklapanja je relativno široka, što ukazuje na varijacije u kvaliteti prepoznavanja objekata.



Slika 31 Parametri postavljeni za funkciju DataPlotly



Slika 32 Histogram raspodjele postotka preklapanja

Radi što detaljnije usporedbe podataka izračunat je omjer preklapanja podataka za sume površina poligona. Kako bismo mogli odrediti omjer ukupnih površina koje se preklapaju i površina poligona 3D modela, funkcijom *Basic statistics for fields* smo za svaki sloj

izračunali sumu površina. To smo učinili za objekte 3D modela Grada Zagreba te za poligone dobivene presjekom.

Omjer pokazuje koliko se dobro generirani poligoni preklapaju sa stvarnim objektima, odnosno objektima 3D modela Grada Zagreba. Omjer je izračunat prema formuli:

$$Omjer = \frac{\sum Površina presjeka}{\sum Površina 3D modela} * 100\%$$

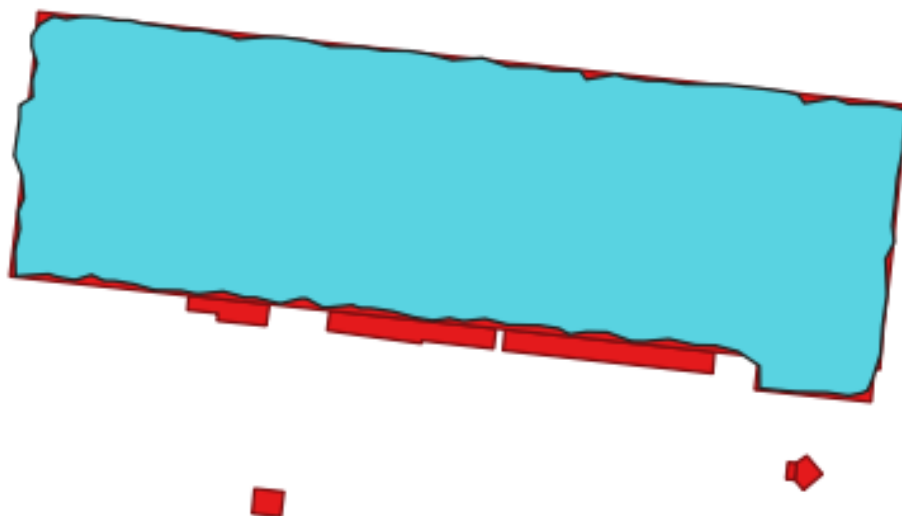
Uvrštavanjem podataka u formulu dobili smo sljedeći rezultat:

$$Omjer = \frac{219885}{379500} * 100\% \approx 58\%$$

Rezultat preklapanja od približno 58% ukazuje na solidan stupanj podudaranja između generiranih poligona i poligona iz 3D modela grada Zagreba. Ovaj postotak sugerira da je većina stvarnih objekata iz 3D modela uspješno identificirana kroz proces klasifikacije i generiranja poligona, što ukazuje na relativno dobru točnost provedenog postupka.

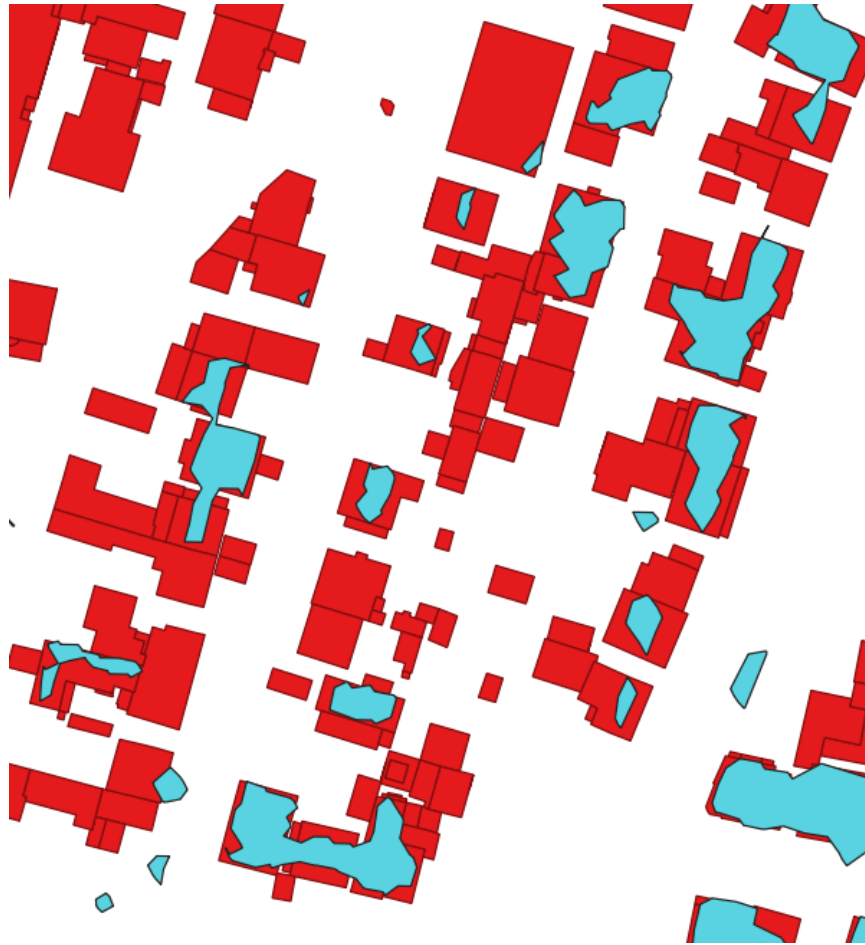
Nadalje, iz podataka učitanih u QGIS možemo primijetiti kako je i visina objekta imala utjecaj na klasifikaciju. Naime, prilikom filtracije podataka u CloudCompare-u dobiveni su bolji i precizniji rezultati za zgrade i visoke stambene objekte, dok su za obiteljske kuće dobiveni lošiji rezultati ili ih nema nikako. To ukazuje na potencijalna ograničenja prilikom rada s podacima niže rezolucije ili manje detaljnim segmentima oblaka točaka, gdje objekti manje visine mogu ostati neprepoznati ili neprikladno obrađeni.

Kao primjer smo približili jednu zgradu te prikazali na slici 32, a na kojoj se može jasno uočiti podudaranje poligona dobivenih iz oblaka točaka (na slici prikazanih plavom bojom) i poligona preuzetih sa mrežne stranice 3D modela grada Zagreba (na slici prikazanih crvenom bojom). Ovo podudaranje ukazuje na visoku preciznost klasifikacije kod viših objekata.



Slika 33 Preklapanje podataka 3D modela i LiDAR podataka za visoke objekte

S druge strane, na slici 33 je prikazano područje na kojem prevladavaju obiteljske kuće. Na tom dijelu je vidljivo lošija kvaliteta klasifikacije podataka te možemo primijetiti da za neke objekte uopće nemamo podatke, što potvrđuje potrebu za dodatnim prilagodbama parametara filtracije kako bi se osigurala bolja pokrivenost i preciznost za sve tipove građevina. Kao i na prethodnoj slici, LiDAR podaci su prikazani plavom bojom, a podaci 3D modela crvenom bojom.



Slika 34 Preklapanje podataka 3D modela i LiDAR podataka za niže objekte

7. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj diplomski rad provedena je klasifikacija LiDAR oblaka točaka za identifikaciju zgrada i drugih građevina na području Grada Zagreba (konkretnije gradskih naselja Rudeš i Trešnjevka) te usporedba dobivenih rezultata sa postojećim 3D modelom grada Zagreba.

Za obradu podataka korišteni su softveri otvorenog koda – CloudCompare i Quantum GIS (QGIS). Softveri su se pokazali jako dobri za ovu primjenu. U CloudCompare-u je provedeno određivanje podataka za predmetno područje izmjere, filtriranje podataka od šumova te segmentacija na točke tla i ostale točke. Na temelju broja povratnih signala uklonjena je vegetacija te su formirani zasebni oblaci točaka za svaku zgradu koji su izvezeni u shapefile (.shp) formatu. Izvezeni podaci su učitani u QGIS gdje su formirani poligoni iz navedenih podataka. Kako bi usporedili dobivene poligone sa postojećim, podatke smo preklapili, izračunali površine koje se preklapaju te ih iskazali u postotku za daljnju analizu.

Provedena analiza preklapanja generiranih poligona i postojećeg 3D modela grada Zagreba pružila je korisne informacije za određivanje točnosti i ograničenja korištenih metoda obrade podataka. Omjer preklapanja, koji iznosi približno 58%, pokazuje solidnu razinu podudaranja između stvarnih objekata iz 3D modela i poligona dobivenih iz LiDAR podataka. Ovaj rezultat ukazuje na to da je većina objekata uspješno prepoznata kroz proces klasifikacije, što potvrđuje pouzdanost korištenih tehnika, ali i mogućnost prilagođavanja parametara za bolju klasifikaciju.

Tijekom analize prepoznati su faktori koji utječu na točnost preklapanja, kao što su kvaliteta ulaznih podataka, razlike u vremenskom obuhvatu između LiDAR podataka i 3D modela te razlike u razini detalja podataka. Klasifikacija je pokazala bolje rezultate kod viših objekata, poput zgrada i stambenih objekata veće visine, dok su manji objekti poput obiteljskih kuća slabije prepoznati ili nisu prepoznati. Ovo ukazuje na potrebu za preciznijim podešavanjem parametara prilikom obrade oblaka točaka kako bi se osigurala bolja pokrivenost i preciznost za sve tipove građevina.

Nadalje, kroz vizualizaciju preklapanja podataka (npr. na slikama 34 i 35), jasno su prikazana područja dobre podudarnosti, ali i regije gdje nedostaju podaci. Na primjeru viših objekata, poput višestambenih zgrada, podudaranje je vrlo precizno, dok kod manjih objekata, poput obiteljskih kuća, dolazi do većih odstupanja ili izostanka podataka.

Dodatnim koracima, poput uklanjanja suvišnih podataka izvan područja obuhvata te primjenom funkcija poput *Fix Geometries*, *Dissolve* i *Intersection*, postignuta je standardizacija i pojednostavljenje podataka. To je omogućilo fokusiranje na ključne objekte unutar područja istraživanja i povećalo točnost analize.

Zaključno, rezultati ukazuju na uspješnost korištenih metoda obrade podataka, ali i na važnost prilagodbe parametara obrade kako bi se poboljšala klasifikacija i preklapanje objekata niže visine.

LITERATURA

Balenović, I., Alberti, G., Marjanović, H. (2013). Airborne laser Scanning – the Status and Perspectives for the Application in the South-East European Forestry, *Southeast European forestry*, 4(2): 59-79.

Biljecki, F. (2017). Level of detail in 3D city models, Doctoral dissertation, Delft University of Technology, Delft, Netherlands.

Flenniken, J. M., Stuglik, S., Iannone, B. V. (2020). Quantum GIS (QGIS): An Introduction to a Free Alternative to More Costly GIS Platforms.

Gajski, D. (2017). Osnove laserskog skeniranja iz zraka, *Ekscentar*, 10: 16-22.

Holmgren, J., Persson, A. (2004). Identifying Species of Individual Trees using Airborne Laser Scanner. *Remote Sensing of Environment*, vol. 90, str. 415–423.

Ivšić, L., Pribičević, B., Đapo, A., Kordić, B., Babić, L., Govorčin, M. (2016). Klasifikacija LiDAR podataka na području urbanog jezera Jarun i analiza kvalitete podataka.

Kolarek, M. (2009). CityGML, *Ekscentar*, 11, 32–35.

Miler, M., Đapo, A., Kordić, B., Medved, I. (2007). Terestrički laserski skeneri, *Ekscentar*, no. 10, pp. 35-38.

Reitz, R., Wenzel, M. (2012). CloudCompare: A 3D point cloud and mesh processing software. In *Proceedings of the 12th International Conference on 3D Vision (3DV 2012)*, pp. 51-60. IEEE.

Reutebuch, S. E., Andersen, H.-E., McGaughey, R. J. (2005). Light Detection and Ranging (LIDAR): An Emerging Tool for Multiple Resource Inventory. *J Forest*, 103(6), 286-292.

Wehr, A., Lohr, U. (1999). Airborne Laser Scanning—An Introduction and Overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 2-3, pp. 68-82.

Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., Yan, G. (2016). An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. *Remote Sensing*, 8(6), 501.

POPIS INTERNETSKIH STRANICA:

URL 1. Airborne Laser Scanning, <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/airborne-laser-scanning> (pristupljeno 20.05.2024.)

URL 2. Components of a Lidar System,
https://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP_216/lessons/lidar/components.html
(pristupljeno 22.05.2024)

URL 3. Terrestrial Laser Scanning, <https://www.earthscope.org/what-is/tls/>
(pristupljeno 20.05.2024.)

URL 4. ZG 3D aplikacija , <https://zagreb.hr/zg-3d-aplikacija/170267> (pristupljeno 20.05.2024.)

URL 5. Nacionalna infrastruktura prostornih podataka, 3D model Grada Zagreba,
<https://registri.nipp.hr/izvori/view.php?id=379> (pristupljeno 20.05.2024.)

URL 6. ZG3D: 3D model Grada Zagreba, <https://zagreb.gdi.net/zg3d/> (pristupljeno 22.05.2024)

URL 7. Opensource.com, <https://opensource.com/resources/what-open-source>
(pristupljeno 27.11.2024)

URL 8. CloudCompare, <https://cloudcompare.org/> (pristupljeno 25.05.2024)

URL 9. Quantum GIS, <https://www.qgis.org/project/overview/> (pristupljeno 03.12.2024.

URL 10. ArGIS Pro, <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/geodatabases/overview/types-of-geodatabases.htm> (pristupljeno 19.11.2024)

URL 9 Understanding LAS and LAZ File Formats,
<https://learn.rockrobotic.com/understanding-las-and-laz-file-formats> (pristupljeno 25.05.2024)

URL 12. Stara Trešnjevka,
<https://mapiranjetresnjevke.com/kategorija/kvartovi/stara-tresnjevka/> (pristupljeno 22.05.2024)

URL 13. Rudeš, <https://mapiranjetresnjevke.com/kvartovi/rudes/> (pristupljeno 25.05.2024)

URL 14. ArcMap, <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm> (pristupljeno 03.12.2024.)

POPIS SLIKA

Slika 1 Lasersko skeniranje iz zraka (URL 1).....	3
Slika 2 Terestričko lasersko skeniranje (URL 3)	5
Slika 3 Sučelje 3D modela Grada Zagreba (URL 4).....	6
Slika 4 Prikaz pet razina detaljnosti (Biljecki, 2017).....	8
Slika 5 Sučelje softvera CloudCompare.....	10
Slika 7 Sučelje softvera QGIS.....	11
Slika 8 Prikaz sadržaja baze prostornih podataka	13
Slika 9 Učitana .gdb datoteka u QGIS.....	13
Slika 10 Metapodaci LAS formata	14
Slika 11 Protezanje kvarta Trešnjevka - sjever (URL 6).....	15
Slika 12 Protezanje kvarta Trešnjevka - jug (URL 10).....	16
Slika 13 Protezanje kvarta Rudeš 2013.g (URL 7)	17
Slika 14 Područje obuhvata nakon rezanja.....	18
Slika 15 Oblak točaka nakon filtriranja.....	19
Slika 16 LiDAR podaci koji sadrže točke tla i ostale točke	20
Slika 17 LiDAR podaci bez točaka tla (eng. non-ground points)	21
Slika 18 Oblak točaka prije izdvajanja vegetacije.....	22
Slika 19 Oblak točaka nakon uklanjanja vegetacije	23
Slika 20 Točke zgrade podijeljene u klastere	24
Slika 21 Učitani točkasti podaci u QGIS-u	25
Slika 22 Parametri korišteni za funkciju ConcaveHull	26
Slika 23 Poligoni dobiveni korištenjem funkcije Concave Hull u QGIS.....	27
Slika 24 Razlika u poligonima dobivenim različitim vrijednostima za parametar Number of Neighbors	28
Slika 25 3D model grada Zagreba sa izdvojenim objektima iza 2012. godine	29
Slika 26 Neslaganje podataka 3D modela i LiDAR podataka.....	30
Slika 27 Prikaz podataka 3D modela koji ne upadaju u područje izmjere	31
Slika 28 Prikaz poligona dobivenih iz oblaka točaka koji se ne ulaze u područje izmjere. 32	
Slika 29 Dobiveni podaci za daljnju analizu	33
Slika 30 Parametri postavljeni za funkciju Intersection	34
Slika 31 Prikaz preklapanja poligona	35
Slika 32 Parametri postavljeni za funkciju DataPlotly	36

Slika 33 Histogram raspodjele postotka preklapanja	36
Slika 34 Preklapanje podataka 3D modela i LiDAR podataka za visoke objekte.....	38
Slika 35 Preklapanje podataka 3D modela i LiDAR podataka za niže objekte	39

POPIS TABLICA

Tablica 1 Opis razina detaljnosti (LOD-ova) (Kolarek 2009)..... 7



Ana-Marija Topić

📍 **Kućna** : Vinjani Donji 254a, 21260, Imotski, Hrvatska

✉ **E-adresa**: amtopic26@gmail.com 📞 **Telefonski broj**: (+385) 977723782

📱 **WhatsApp Messenger**: WhatsApp

Spol: Žensko **Datum rođenja**: 26/07/2000 **Državljanstvo**: hrvatsko

OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

[2015 – 2019] **Opća gimnazija**

Gimnazija dr. Mate Ujevića

Mjesto: Ul. Bruna Bušića 59, 21260, Imotski |

[2019 – 2022] **Sveučilišni prvostupnik (baccalaureus) inženjer geodezije i geoinformatike**

Fakultet građevine, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu <https://gradst.unist.hr/>

Mjesto: Ul. Matice hrvatske 15, 21000, Split | **Zemlja**: Hrvatska |

[2022 – Trenutačno] **Magistar inženjer geodezije i geoinformatike**

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu <https://www.geof.unizg.hr/>

Mjesto: Savska cesta 144A, 10000, Zagreb | **Zemlja**: Hrvatska |

RADNO ISKUSTVO

[2023 – Trenutačno] **Geodetska tehničarka**

GEOMETRIK ING d.o.o.

Mjesto: Ante Starčevića 1, Imotski | **Zemlja**: Hrvatska

- terenska mjerenja
- obavljanje geodetskih poslova u uredu
- rad sa strankama
- obavljanje katastarskih poslova

[06/2020 – 09/2020] **Konobarica**

Restaurant Bracera

Mjesto: Podluka 15, Baška Voda | **Zemlja**: Hrvatska

VOZAČKA DOZVOLA

Automobili: B 2018

JEZIČNE VJEŠTINE

Materinski jezik/jezici: hrvatski

Drugi jezici:

engleski

SLUŠANJE B2 ČITANJE B2 PISANJE B2

GOVORNA PRODUKCIJA B2 GOVORNA INTERAKCIJA B2

Razine: A1 i A2: temeljni korisnik; B1 i B2: samostalni korisnik; C1 i C2: iskusni korisnik

DIGITALNE VJEŠTINE

Moje digitalne vještine

poznavanje Microsoft Office Alata | AutoCad (Computer Aided Design Software) | Rad u GIS softverima i obrada prostornih podataka (ArcMap, QGIS, Agisoft Metashape) | Rad u softveru CloudCompare

