



Sveučilište u Zagrebu  
Geodetski fakultet  
Integrirani sustavi u geomatici

## **Integracija GNSS-a i GIS-aplikacija (Map-matching) u mobilnim telefonima**

U Zagrebu, 07.01.2026.

Andrea Marić, Ivana Krulčić

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	3
2. GNSS U MOBILNIM TELEFONIMA .....	4
3. MAP-MATCHING ALGORITMI U MOBILNIM TELEFONIMA.....	5
4. INTEGRACIJA GNSS, INS I GIS-A .....	6
5. TERENSKA IZMJERA.....	7
5.1. Opis testne rute .....	7
5.2. Korišteni uređaji i aplikacije.....	8
5.3. Način prikupljanja podataka .....	9
6. OBRADA I VIZUALIZACIJA PODATAKA .....	10
6.1. Konverzija i priprema zapisa .....	10
6.2. Ujednačavanje koordinatnog sustava.....	10
6.3. Uvoz podataka u QGIS .....	11
6.4. Vizualizacija trajektorija u QGIS-u .....	11
6.5. Analiza i vizualizacija GNSS sirovih podataka u aplikaciji Android GNSS Analysis.....	12
6.5.1. Skyplot GNSS satelita.....	13
6.5.2. Jačina GNSS signala – C/No svih satelita .....	14
6.5.3. GNSS sateliti prema C/No vrijednostima.....	15
6.5.4. Pseudoudaljenosti GNSS satelita tijekom mjerenja.....	16
6.5.5. Pozicijsko rješenje primjenom WLS metode i Kalmanovog filtra .....	18
6.5.6. PRR/ADR pogreške faznih GNSS mjerenja.....	20
7. ANALIZA REZULTATA .....	22
7.1. Usporedba sirovih GNSS podataka i map-matching trajektorije.....	22
7.2. Pretvorba točkastih podataka u linijske objekte i izračun duljine.....	27
7.3. Analiza odstupanja pomoću Hub Distance i statistička obrada .....	28
8. ZAKLJUČAK.....	31
LITERATURA .....	32

## 1. UVOD

Razvoj satelitskih navigacijskih sustava (GNSS – Global Navigation Satellite System) i njihova sve šira primjena u mobilnim uređajima omogućili su prikupljanje velikih količina prostornih podataka visoke vremenske rezolucije. Pametni telefoni, uz korištenje specijaliziranih GNSS aplikacija, danas predstavljaju pristupačan alat za bilježenje lokacijskih podataka, iako se njihova kvaliteta i točnost i dalje često uspoređuju s profesionalnim GNSS uređajima. Analiza takvih podataka zahtijeva odgovarajuće postupke obrade, vizualizacije i interpretacije kako bi se ispravno procijenile njihove mogućnosti i ograničenja.

Cilj ovog seminara jest prikaz postupaka obrade, vizualizacije i analize GNSS podataka prikupljenih iz različitih izvora, uključujući mobilne aplikacije OsmAnd i GNSS Logger, kao i referentni profesionalni GNSS uređaj. Poseban naglasak stavljen je na usporedbu sirovih GNSS zapisa i map-matching trajektorija te na analizu utjecaja različitih uvjeta prijema na kvalitetu prikaza kretanja.

Prikupljeni podaci najprije su konvertirani u jedinstveni format i ujednačeni u istom koordinatnom sustavu, nakon čega su u GIS okruženju QGIS provedene prostorne analize i kartografske vizualizacije trajektorija. Dodatno, GNSS zapisi prikupljeni mobilnim uređajima analizirani su u aplikaciji Android GNSS Analysis, gdje su dobiveni grafički prikazi karakteristika GNSS signala, poput jačine signala i dostupnosti satelita.

Kroz ovaj seminar prikazan je cjelovit tijek rada – od prikupljanja i pripreme GNSS podataka, preko njihove vizualizacije, do analize rezultata – s ciljem boljeg razumijevanja ponašanja mobilnih GNSS rješenja u stvarnim uvjetima te njihove usporedbe s profesionalnim GNSS mjerenjima.

## 2. GNSS U MOBILNIM TELEFONIMA

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) predstavljaju osnovu za određivanje položaja u pametnim telefonima te se široko koriste u navigacijskim i lokacijskim aplikacijama. U odnosu na profesionalne GNSS prijavnike, mobilni telefoni koriste jednostavnije GNSS čipove i male integrirane antene, zbog čega kvaliteta i točnost dobivenih pozicijskih podataka ograničena.

Suvremeni Android uređaji omogućuju pristup sirovim GNSS mjerenjima, čime je moguće analizirati stvarno ponašanje GNSS prijavnika u mobilnim telefonima. Međutim, kako ističe Van Diggelen (2022), takva mjerenja u pravilu sadrže znatan šum i osjetljiva su na vanjske utjecaje, osobito u uvjetima kretanja i u složenim prostornim okruženjima.

Jedan od glavnih problema GNSS pozicioniranja u mobilnim telefonima javlja se u urbanim područjima. Visoke zgrade i uske ulice uzrokuju zaklanjanje satelitskog signala i multipath efekt, pri čemu reflektirani signali dovode do pogrešaka u određivanju položaja. Posljedica toga su nestabilne GNSS pozicije, prostorna odstupanja i „skakanje“ točaka duž stvarne putanje kretanja. (Zangenehjad i Gao, 2021).

Za razliku od geodetskih GNSS sustava, mobilni telefoni u pravilu ne koriste diferencijalne korekcije niti napredne metode obrade podataka. Pozicioniranje se temelji na kontinuiranom prikupljanju GNSS podataka tijekom kretanja, pri čemu se pogreške signala ne mogu u potpunosti eliminirati. Zbog toga sirovi GNSS podaci prikupljeni pametnim telefonima često ne pružaju potpuno pouzdan prikaz stvarne putanje korisnika.

U novijim pristupima naglašava se potreba za nadopunjavanjem GNSS podataka dodatnim izvorima informacija, poput inercijskih senzora ugrađenih u pametne telefone. Istraživanja pokazuju da kombinacija GNSS i inercijskih mjerenja može poboljšati stabilnost pozicioniranja u uvjetima slabog GNSS signala (Zhang et al., 2024). Ipak, u svakodnevnim navigacijskim aplikacijama ključnu ulogu u poboljšanju prikaza kretanja ima softverska obrada GNSS podataka.

Zbog navedenih ograničenja GNSS-a u mobilnim telefonima, navigacijske aplikacije koriste dodatne algoritme koji povezuju GNSS mjerenja s digitalnim kartama. Time se omogućuje stabilniji i realističniji prikaz kretanja korisnika, što čini osnovu za primjenu map-matching algoritama.

### 3. MAP-MATCHING ALGORITMI U MOBILNIM TELEFONIMA

Map-matching predstavlja postupak uklapanja položaja dobivenog GNSS mjerenjima na odgovarajuće elemente digitalne karte, najčešće cestovne ili pješačke mreže. Iako se navigacijski sustavi oslanjaju na GNSS kao osnovni izvor pozicijskih podataka, u stvarnim uvjetima dolazi do prostornog neslaganja između izmjerenih položaja i kartografskih objekata. To neslaganje posljedica je pogrešaka GNSS mjerenja, ali i ograničenja kvalitete digitalnih karata. U mobilnim telefonima, map-matching algoritmi imaju ključnu ulogu jer GNSS podaci često sadrže šum, osobito u urbanim sredinama. GNSS točke mogu odstupati od stvarne prometnice i nalaziti se izvan cestovne mreže iako je jasno da se kretanje korisnika odvija unutar nje. Map-matching algoritmi nastoje odrediti na kojoj se prometnici korisnik nalazi te gdje se na toj prometnici njegova pozicija najvjerojatnije nalazi (Xi et al., 2014).

Osnovni princip map-matchinga temelji se na kombiniranju geometrijskih i topoloških informacija digitalne karte s nizom uzastopnih GNSS mjerenja. Umjesto promatranja pojedinačnih GNSS točaka, algoritmi uzimaju u obzir kontinuitet kretanja, smjer gibanja i prethodne pozicije kako bi procijenili najvjerojatniju trasu kretanja korisnika. Time se smanjuje utjecaj trenutnih pogrešaka GNSS signala i postiže stabilniji prikaz putanje.

U literaturi se razlikuju različiti pristupi map-matchingu, uključujući polu-determinističke i probabilističke algoritme. Polu-deterministički pristupi oslanjaju se na poznatu početnu poziciju i smjer kretanja te primjenjuju niz uvjetovanih testova kako bi se odredila odgovarajuća prometnica. Probabilistički algoritmi definiraju prostor vjerojatnosti oko GNSS pozicije te traže segment ili skup segmenata karte koji se najbolje uklapaju u taj prostor pogreške (Xi et al., 2014; Berjisian i Bigazzi, 2023).

Primjena map-matchinga posebno je važna u složenim urbanim okruženjima, gdje se često pojavljuju paralelne prometnice, raskrižja i uske ulice. U takvim uvjetima pojedinačno GNSS mjerenje nije dovoljno za pouzdano određivanje stvarne trase, već je potrebno analizirati niz uzastopnih pozicija i njihovu povezanost s kartografskom mrežom. Istraživanja pokazuju da map-matching značajno poboljšava prostornu konzistentnost trajektorija dobivenih pametnim telefonima, u usporedbi sa sirovim GNSS podacima (Berjisian i Bigazzi, 2023).

Međutim, važno je naglasiti da map-matching algoritmi ne uklanjaju izvorne pogreške GNSS mjerenja, već ih interpretiraju i prilagođavaju u odnosu na dostupne kartografske podatke. Navigacijska putanja dobivena primjenom map-matchinga predstavlja optimizirani prikaz kretanja korisnika, koji je prilagođen cestovnoj ili pješačkoj mreži, ali ne mora u potpunosti odgovarati stvarnoj GNSS trajektoriji. U određenim situacijama, poput složenih raskrižja ili paralelnih prometnica, algoritam može privremeno pogrešno odrediti prometnicu ili kasniti u prepoznavanju promjene smjera (Xi et al., 2014).

Noviji pristupi map-matchingu usmjereni su na specifične oblike kretanja, poput pješačke navigacije u urbanim kanjonima. Weng et al. (2025) ističu da prilagodba algoritama pješačkim površinama, kao što su nogostupi, može dodatno poboljšati pouzdanost pozicioniranja pametnih telefona u uvjetima slabog GNSS signala. Takvi primjeri potvrđuju važnost integracije GNSS mjerenja s kvalitetnim GIS podacima u mobilnim navigacijskim aplikacijama.

## 4. INTEGRACIJA GNSS, INS I GIS-A

U mobilnim navigacijskim sustavima GNSS predstavlja osnovni izvor informacije o položaju, no u stvarnim uvjetima kretanja često nije dovoljan za pouzdano i kontinuirano pozicioniranje. U urbanim sredinama dolazi do zaklanjanja satelitskog signala, refleksija i gubitka vidljivost satelita, zbog čega GNSS mjerenja postaje nestabilna. Kako bi navigacija i u takvim uvjetima ostala funkcionalna, mobilne aplikacije koriste integraciju GNSS-a s inercijskim sensorima i GIS podacima.

Pametni telefoni opremljeni su inercijskim sensorima, prvenstveno akcelerometrima i žiroskopima, koji omogućuju mjerenje ubrzanja i promjene smjera kretanja korisnika. Ti senzori čine osnovu inercijskog navigacijskog sustava (INS) te omogućuju praćenje relativnog gibanja u kratkim vremenskim intervalima. Za razliku od GNSS-a, inercijski senzori nisu ovisni o vanjskim signalima te mogu osigurati informacije o kretanju i u trenucima kada je GNSS oslabljen ili privremeno nedostupan. Integracija GNSS-a i INS-a temelji se na međusobnom nadopunjavanju njihovih svojstava. GNSS pruža apsolutnu informaciju o položaju, ali je osjetljiv na smetnje iz okoline, dok INS omogućuje kontinuirano praćenje gibanja, ali s vremenom akumulira pogrešku. Kombiniranjem ova dva sustava moguće je ublažiti njihove pojedinačne nedostatke i postići stabilnije pozicioniranje u izazovnim uvjetima kretanja. Zhang et al. (2024) ističu da takva senzorska fuzija na pametnim telefonima omogućuje pouzdanije određivanje položaja u urbanim sredinama, osobito tijekom kratkotrajnih prekida GNSS signala.

U mobilnim navigacijskim aplikacijama senzorska fuzija provodi se unutar softverskog okvira koji uključuje i GIS komponente. Digitalne karte pružaju prostorni kontekst u kojem se interpretiraju GNSS i inercijska mjerenja, dok algoritmi obrade podataka analiziraju kontinuitet gibanja, smjer kretanja i prethodne pozicije korisnika. Na temelju tih informacija aplikacija procjenjuje najvjerojatniju putanju kretanja, čak i kada pojedinačna GNSS mjerenja nisu pouzdana. Važnu ulogu u tom procesu ima map-matching, koji povezuje senzorska mjerenja s elementima digitalne karte, poput cestovne ili pješačke mreže. Dok inercijski senzori pružaju informaciju o promjeni položaja i smjera, map-matching omogućuje korekciju apsolutne pozicije u odnosu na prostorna ograničenja stvarnog okruženja. Kombinacija senzorske fuzije i map-matching algoritama omogućuje navigacijskim aplikacijama da „pogode“ kretanje korisnika i osiguraju stabilan prikaz putanje, čak i u složenim urbanim uvjetima. Važno je naglasiti da takav prikaz kretanja ne predstavlja isključivo rezultat mjerenja, već interpretaciju temeljenu na kombinaciji GNSS podataka, inercijskih senzora i GIS informacija. Navigacijska putanja dobivena integracijom GNSS-a, INS-a i map-matchinga predstavlja optimizirani prikaz kretanja korisnika, prilagođen prostornim ograničenjima digitalne karte. Upravo ta integracija omogućuje da mobilna navigacija ostane funkcionalna i pouzdana u situacijama kada samostalni GNSS ne bi bio dovoljan.

U kontekstu ovog seminara, integracija GNSS-a, INS-a i GIS-a objašnjava razlike između sirovih GNSS trajektorija i navigacijskih putanja dobivenih mobilnim aplikacijama. Razumijevanje tog procesa ključno je za interpretaciju rezultata praktične analize i usporedbu GNSS Logger zapisa s map-matched trajektorijama u GIS okruženju.

## 5. TERENSKA IZMJERA

Terenska izmjera provedena je s ciljem prikupljanja GNSS trajektorija pomoću mobilnih uređaja te njihove usporedbe s navigacijskim putanjama dobivenima primjenom map-matching algoritma. Dobivena je unaprijed definirana testna ruta, a mjerenje je provedeno u realnim urbanim uvjetima kretanja pješaka.

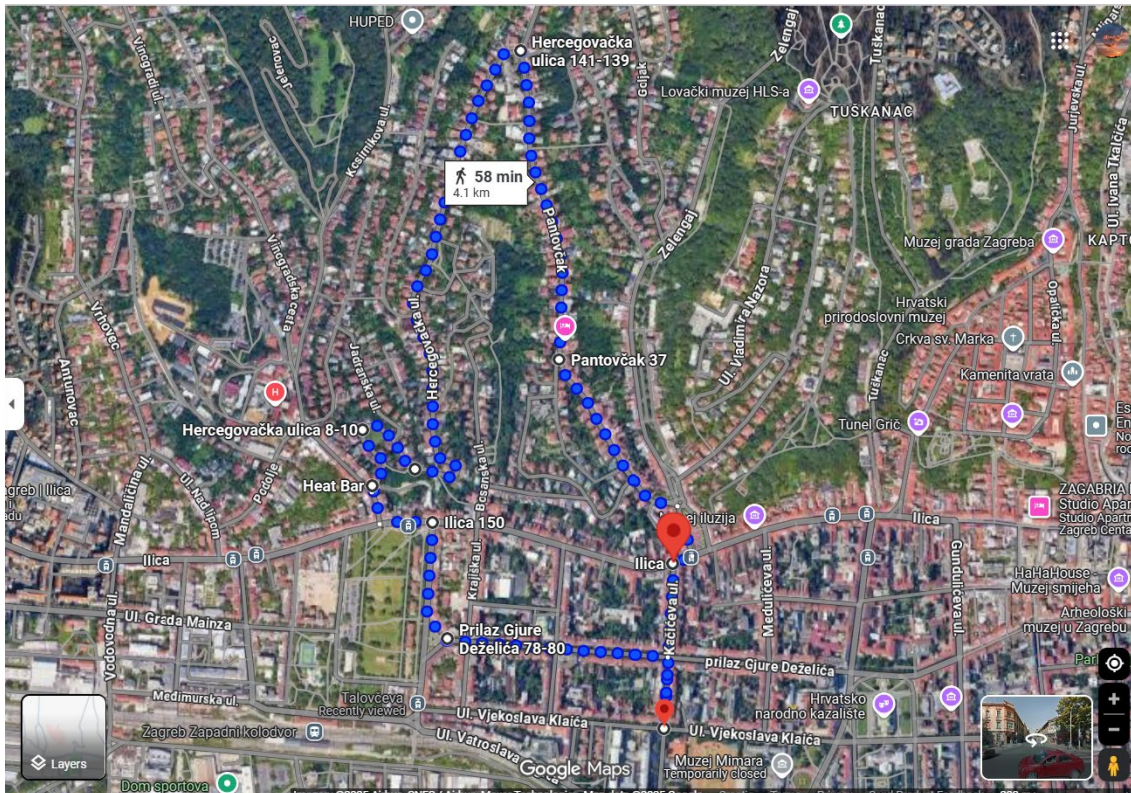


*Slika 1. Terenska izmjera*

### 5.1. Opis testne rute

Dobivena je testna ruta T2, koja obuhvaća kretanje ulicama Kačićeva – Pantovčak – Hercegovačka – Ilica – Republike Austrije – Prilaz Gjura Deželića – Kačićeva te čini zatvorenu pješačku trasu u urbanom području grada Zagreba. Ruta prolazi kroz prostorno raznoliko gradsko okruženje koje uključuje dijelove različite gustoće izgradnje i prometne strukture. Trasa obuhvaća stambene ulice, prometnije gradske pravce, raskrižja te dijelove s izraženim promjenama smjera kretanja. Takva kombinacija elemenata omogućuje obuhvat različitih tipova urbanog prostora unutar jedne kontinuirane rute. Dionice rute kroz Pantovčak karakterizirana je mirnijim gradskim okruženjem s nižom gustoćom izgradnje i većim udjelom zelenih površina, dok se dionica kroz Ilicu odvija kroz središnji gradski prostor s kontinuiranom uličnom izgradnjom i većim prometnim opterećenjem. Ostatak rute povezuje ove dvije cjeline prolaskom kroz ulice različite širine i konfiguracije.

Planirana testna ruta prikazana je na Slici 2, preuzetoj iz aplikacije Google Maps, gdje je vidljiv preporučeni pješački smjer kretanja korišten tijekom terenske izmjere.



Slika 2. Prikaz planirane testne rute u Google Maps-u

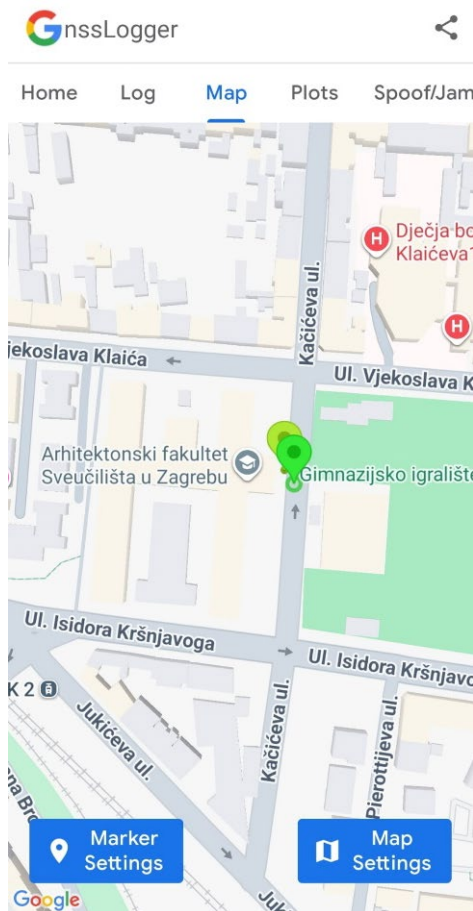
## 5.2. Korišteni uređaji i aplikacije

Tijekom terenske izmjere korištena su dva pametna telefona različitih generacija i tržišnih razreda, s ciljem usporedbe prikupljanja GNSS podataka na uređajima s različitim hardverskim i senzorskim karakteristikama. Takav pristup omogućuje uvid u ponašanje GNSS pozicioniranja na suvremenim i jednostavnijim mobilnim uređajima u stvarnim uvjetima kretanja. Kao uređaj novije generacije korišten je Samsung Galaxy S24 Ultra, koji pripada višem tehnološkom razredu pametnih telefona. Uređaj je opremljen naprednim GNSS mogućnostima i suvremenim senzorskim sklopom. Kao usporedni uređaj, korišten je Samsung Galaxy A24, koji pripada srednjoj klasi pametnih telefona i predstavlja uređaj srednje klase s jednostavnijim hardverskim karakteristikama u odnosu na Galaxy S24 Ultra. Uključivanjem ovih uređaja u mjerenje omogućena je usporedba ponašanja GNSS pozicioniranja između različitih klasa mobilnih telefona.

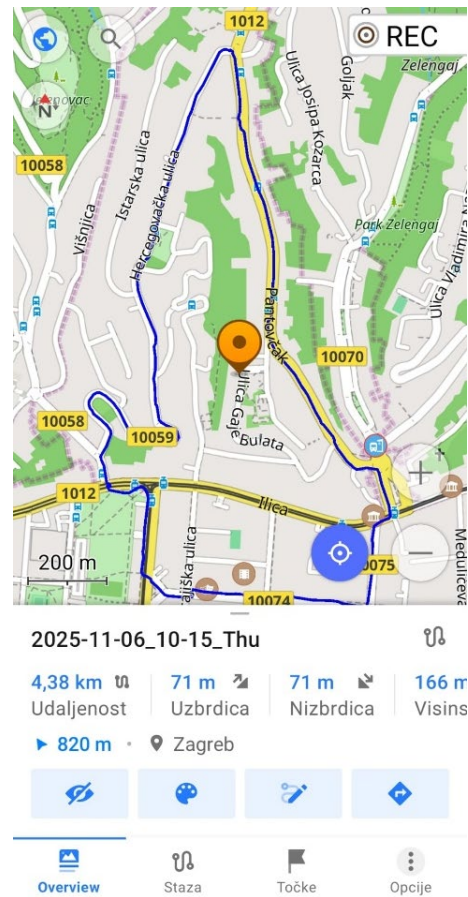
Za prikupljanje sirovih GNSS podataka, na oba mobilna telefona korištena je aplikacija GNSS Logger, koja omogućuje zapis GNSS mjerenja pogodnih za daljnju analizu. Istovremeno, za navigaciju i bilježenje putanje s primijenjenim map-matching algoritmom korištena je aplikacija OSMand, koja se temelji na OpenStreetMap kartografskoj podlozi.

Osim mobilnih telefona, tijekom terenske izmjere korišten je i profesionalni GNSS uređaj koji je služio kao referentni izvor pozicijskih podataka. Kao referentni GNSS prijammnik korišten je Topcon HiPer SR, uređaj namijenjen visoko preciznim geodetskim mjerenjima.

Prikupljanje podataka provedeno je pomoću aplikacije MAGNET Field, instalirane na kontroleru, koja omogućuje upravljanje GNSS mjerenjem, pohranu opažanja i izvoz podataka za daljnju obradu. Referentni GNSS zapisi korišteni su kao usporedna osnova za analizu sirovih GNSS podataka prikupljenih mobilnim uređajima te za procjenu utjecaja prostornih uvjeta na kvalitetu pozicioniranja.



Slika 3. GNSS Logger aplikacija



Slika 4. OSMand aplikacija

### 5.3. Način prikupljanja podataka

Prikupljanje podataka provedeno je prolaskom rute pješice. Mjerenja su obavljena 14. studenoga 2025. godine, u vremenskom razdoblju od 12:30 do 13:40 sati. Tijekom obilaska svi korišteni uređaji i aplikacije bili su aktivni istovremeno kako bi se osigurala međusobna usporedivost prikupljenih podataka. Mjerenja su provedena istovremeno pomoću oba mobilna telefona i GNSS uređaja, pri čemu su aplikacije GNSS Logger i OSMand paralelno bilježile kretanje duž cijele trase. Time su svi skupovi podataka prikupljeni pod jednakim prostornim i vremenskim uvjetima. Podaci prikupljeni aplikacijom GNSS Logger pohranjeni su u formatima NMEA i KML, dok je aplikacija OSMand omogućila izvoz navigacijske putanje u GPX formatu. Podaci s GNSS uređaja zabilježeni su u tekstualnom (TXT) formatu. Svi prikupljeni podaci korišteni su za daljnju analizu u GIS okruženju.

## 6. OBRADA I VIZUALIZACIJA PODATAKA

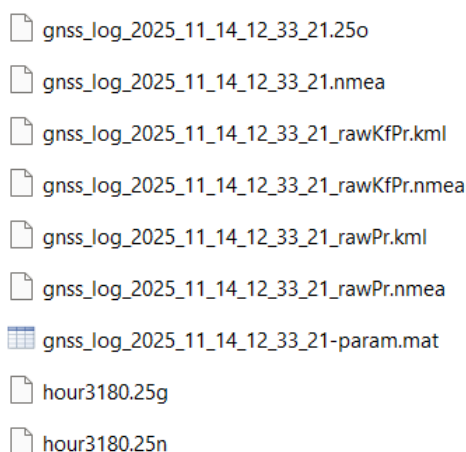
U ovom poglavlju opisan je postupak obrade i vizualizacije podataka prikupljenih različitim GNSS sustavima i uređajima. Podaci su prikupljeni pomoću dvije mobilne aplikacije (OsmAnd i GNSS Logger) te zasebnim GNSS uređajem, a zatim objedinjeni i analizirani u GIS i specijaliziranom GNSS softverskom okruženju. Cilj obrade bio je osigurati prostornu i vremensku usporedivost podataka te omogućiti njihov pregledan grafički i kartografski prikaz.

### 6.1. Konverzija i priprema zapisa

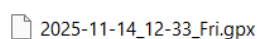
Budući da su podaci prikupljeni različitim aplikacijama i uređajima, prvi korak obrade bila je konverzija zapisa u jedinstveni i kompatibilni format.

- Podaci iz aplikacije OsmAnd izvezeni su u standardnom GPX formatu.
- Podaci iz aplikacije GNSS Logger preuzeti su u formatima NMEA i RINEX, čime su dostupni i zapisi o kretanju te sirova GNSS mjerenja za dodatnu analizu.
- Podaci prikupljeni GNSS uređajem preuzeti su u TXT datoteci te su korišteni kao zaseban skup mjerenja (referentni zapis) za usporedbu

Svi zapisi prilagođeni su za daljnju obradu i uvoz u QGIS, pri čemu je osigurana dosljedna struktura atributnih podataka.



Slika 5. Prikaz dobivenih datoteka GNSS loggera



Slika 6. Prikaz dobivene datoteke OSMand aplikacije

### 6.2. Ujednačavanje koordinatnog sustava

GNSS podaci standardno su zapisani u globalnom koordinatnom sustavu WGS84 (EPSG:4326). Prije prostorne analize provedena je provjera koordinatnih sustava svih slojeva.

U QGIS okruženju:

- svim slojevima dodijeljen je isti referentni koordinatni sustav,
- po potrebi je izvršena reprojekcija podataka,
- osigurana je prostorna podudarnost svih izvora podataka.

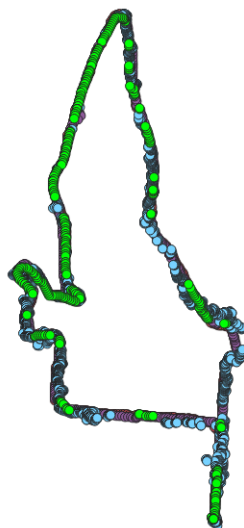
Ovim postupkom omogućeno je njihovo istovremeno prikazivanje i usporedba unutar istog kartografskog prikaza.

### 6.3. Uvoz podataka u QGIS

Pripremljeni podaci iz svih izvora uvezeni su u QGIS kao vektorski slojevi:

- točkasti slojevi GNSS mjerenja, OsmAnda i GNSS uređaja.

Za svaki sloj provedena je provjera atributne tablice, prostorne ispravnosti i vremenskog slijeda mjerenja. Time je stvoren objedinjeni prostorni skup podataka koji omogućuje usporedbu različitih GNSS izvora u istom okruženju.



*Slika 7. Prikaz svih učitanih slojeva u QGIS*

### 6.4. Vizualizacija trajektorija u QGIS-u

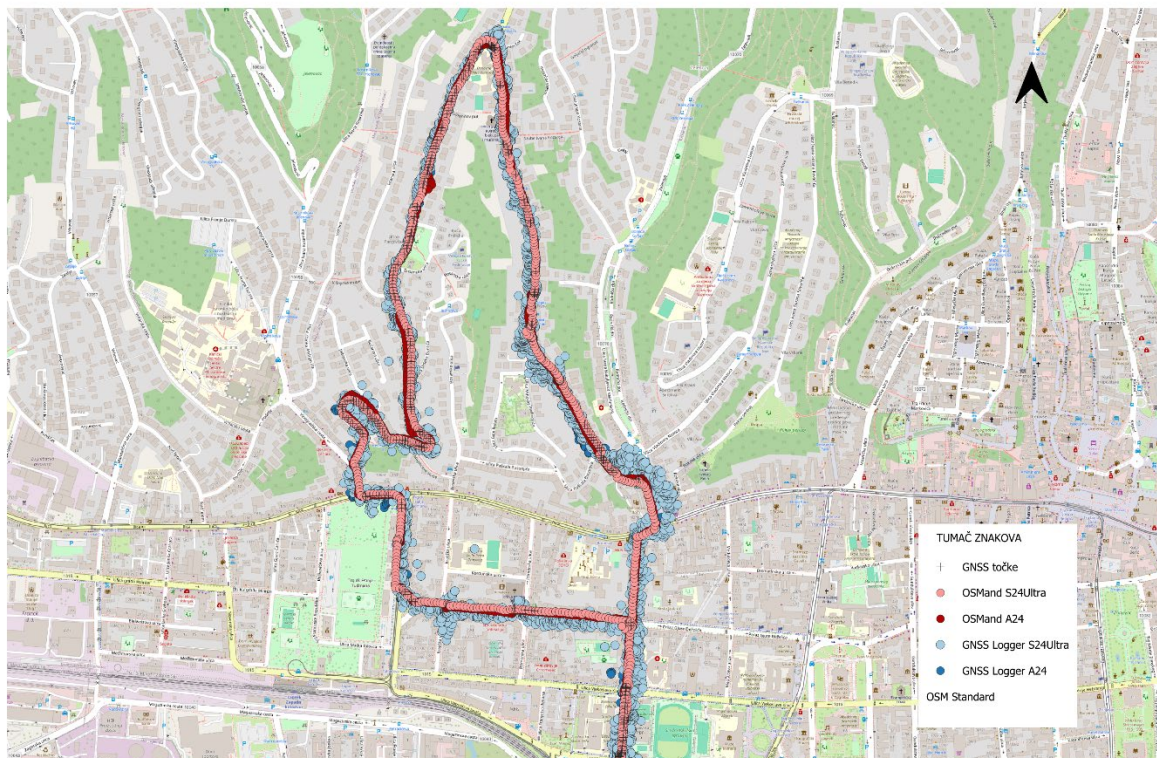
Na temelju učitanih podataka izrađene su trajektorije kretanja za svaki izvor mjerenja. Trajektorije su prikazane na istoj karti, pri čemu je svaki izvor podataka vizualno razlikovan.

Ovakav prikaz omogućuje:

- vizualnu usporedbu tragova dobivenih različitim uređajima,
- uočavanje prostorne konzistentnosti i odstupanja,
- osnovni pregled kvalitete GNSS pozicioniranja.

Vizualizacija u QGIS-u korištena je kao temelj za daljnju analizu podataka.

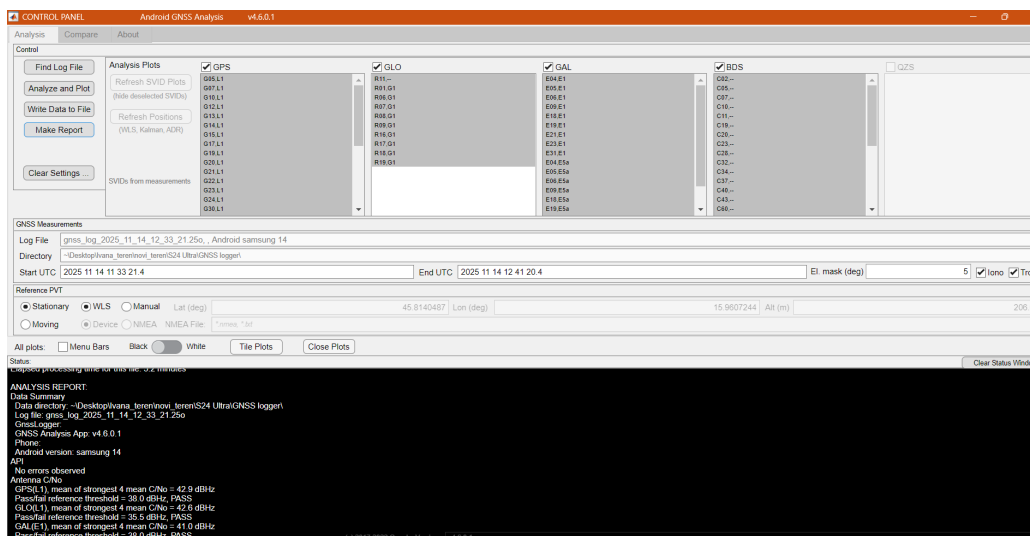
Kartografski prikaz trajektorija prikupljenih različitim GNSS uređajima



Slika 8. Kartografski prikaz trajektorije kretanja

## 6.5. Analiza i vizualizacija GNSS sirovih podataka u aplikaciji Android GNSS Analysis

Android GNSS Analysis je desktop aplikacija razvijena za analizu GNSS mjernih podataka prikupljenih Android uređajima. Aplikacija omogućuje detaljan uvid u kvalitetu GNSS signala, ponašanje satelitskih sustava te procjenu točnosti pozicioniranja.



Slika 9. Prikaz sučelja Android GNSS Analysis aplikacije

U aplikaciju se mogu učitati GNSS podaci prikupljeni mobilnim aplikacijama poput GNSS Logger ili sličnih alata. Podržani su sljedeći tipovi podataka:

- GNSS log datoteke (TXT / CSV / RINEX format)
- Sirova GNSS mjerenja (raw measurements)
- Podaci o poziciji (geografska širina, dužina, visina)
- Vremenski zapisi (UTC)
- Podaci o satelitima (SVID, konstelacija)
- Jačina signala (C/No – carrier-to-noise ratio)
- Elevacija i azimut satelita
- DOP parametri (HDOP, VDOP, PDOP)
- Podaci o korištenim konstelacijama: GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou.

Aplikacija omogućuje generiranje različitih grafova, uključujući: C/No kroz vrijeme, broj vidljivih satelita, DOP vrijednosti, raspored satelita po konstelacijama, promjene pozicije tijekom mjerenja. Grafovi služe prvenstveno za vizualnu analizu i ne mogu se izravno izvesti, već se u praksi koriste: snimke zaslona (screenshots) ili se podaci izvoze i naknadno obrađuju u drugim alatima (npr. QGIS, Excel).

Tijekom obrade sirovih GNSS mjerenja u alatu Android GNSS Analysis uočeno je da se detaljnija analiza može uspješno provesti za podatke prikupljene uređajem Samsung Galaxy S24 Ultra, dok je za podatke prikupljene uređajem Samsung Galaxy A24 analiza bila ograničena. Prilikom obrade podataka za Galaxy A24 aplikacija je prijavljivala poteškoće u strukturi RINEX zapisa (prazne retke) te prekide u obradi, što upućuje na nedostatak kontinuiranih i dovoljno kvalitetnih sirovih GNSS mjerenja potrebnih za stabilan izračun pozicijskih rješenja. Takav rezultat ne predstavlja pogrešku u provedbi terenskog mjerenja, već ukazuje na praktična ograničenja prikupljanja i obrade sirovih GNSS podataka na mobilnim uređajima niže klase, osobito u urbanim uvjetima gdje je GNSS signal često zaklonjen ili oslabljen.

### 6.5.1. Skyplot GNSS satelita

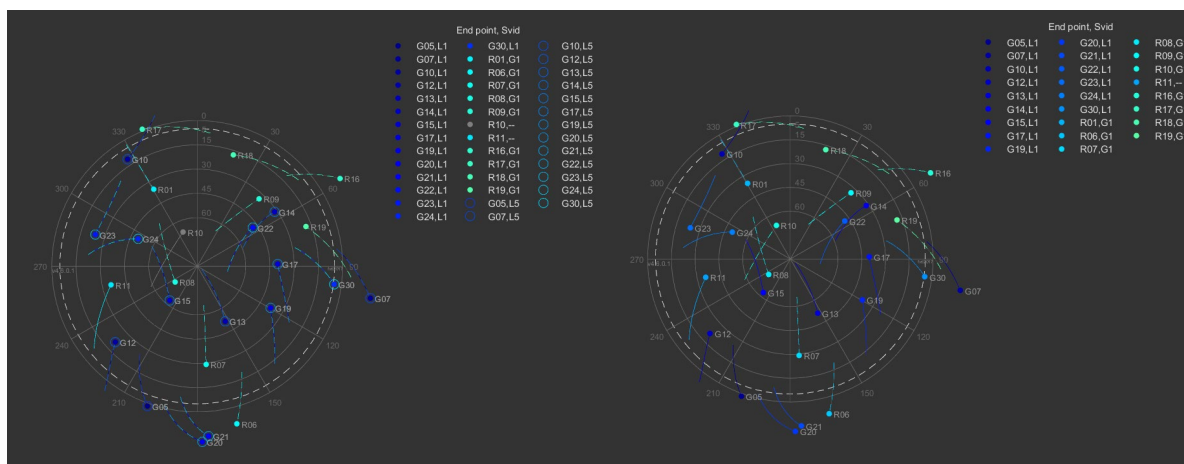
Skyplot grafički prikazuje položaj GNSS satelita na nebu u odnosu na prijamnik, izražen kroz azimut i elevaciju, te omogućuje procjenu vidljivosti satelita i njihove prostorne raspodjele tijekom mjerenja. Ravnomjernija prostorna raspodjela satelita općenito osigurava povoljnije geometrijske uvjete za određivanje položaja, dok ograničena vidljivost i „praznine” u raspodjeli mogu povećati osjetljivost GNSS prijama na smetnje, osobito u urbanom okruženju, gdje su prisutni zaklanjanje signala i multipath efekti.

U prikazanim skyplotovima vidljivo je da su mjerenja provedena u istom vremenu i na istoj lokaciji, zbog čega je raspored i položaj satelita na nebu za oba uređaja vrlo sličan. U oba slučaja zabilježeni su sateliti GNSS konstelacija GPS i GLONASS, dok Galileo sateliti u ovom mjerenju nisu evidentirani, iako ih uređaji inače podržavaju.

Skyplot za Samsung Galaxy S24 Ultra (Slika 10, lijevo) pokazuje veći broj praćenih satelita te prisutnost signala na više frekvencija (L1 i L5). Zahvaljujući višefrekventnom GNSS prijemu i naprednijem prijemniku, tragovi satelita su dulji i kontinuiraniji, što upućuje na stabilnije praćenje signala tijekom većeg dijela mjerenja. Takva konfiguracija doprinosi povoljnijim

uvjetima za određivanje položaja te većoj otpornosti GNSS prijama na zaklanjanje i refleksije signala.

S druge strane, skyplot za Samsung Galaxy A24 (Slika 10, desno) prikazuje manji broj praćenih satelita. Budući da uređaj koristi isključivo jednofrekventni GNSS prijam (L1), prijam signala osjetljiviji je na nepovoljne uvjete u urbanom okruženju. Tragovi satelita su kraći i češće prekinuti, što upućuje na nestabilnije praćenje signala i veću osjetljivost na zaklanjanje i multipath efekte.



Slika 10. Skyplot GNSS satelita – Samsung Galaxy S24 Ultra (lijevo) i Samsung Galaxy A24 (desno)

Usporedbom skyplotova može se zaključiti da uređaj novije generacije, Samsung Galaxy S24 Ultra, ostvaruje stabilniji i pouzdaniji GNSS prijam u odnosu na Samsung Galaxy A24, što se može povezati s višefrekventnom GNSS prijmom i naprednijim hardverskim mogućnostima prijmnika.

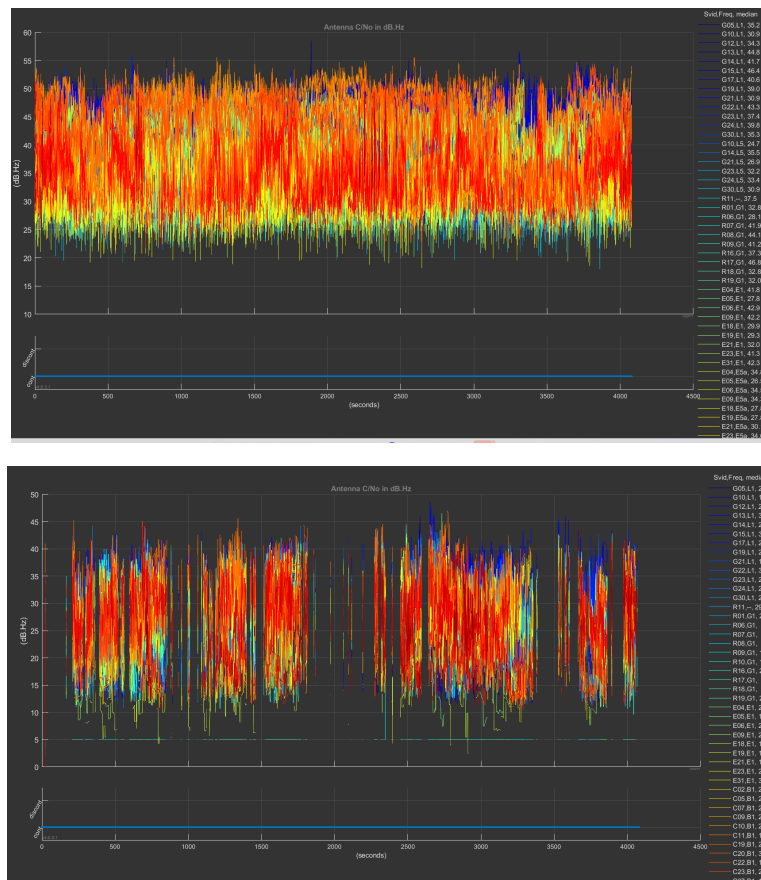
### 6.5.2. Jačina GNSS signala – $C/N_0$ svih satelita

$C/N_0$  predstavlja omjer jačine GNSS signala i šuma te se koristi kao pokazatelj kvalitete prijama signala na prijmniku. Stabilnije i više  $C/N_0$  vrijednosti upućuju na kvalitetniji prijam, dok nagle promjene i česti padovi mogu biti povezani sa zaklanjanjem signala i multipath efektom u urbanim uvjetima.

Analiza  $C/N_0$  vrijednosti za Samsung Galaxy S24 Ultra (Slika 11) pokazuje relativno stabilan prijam GNSS signala uz umjerene fluktuacije kroz vrijeme. Većina vrijednosti nalazi se u višem rasponu, što upućuje na to da uređaj veći dio mjerenja zadržava kontinuirano praćenje satelita. Na grafu se ne uočavaju značajniji prekidi u zapisu  $C/N_0$  vrijednosti, što upućuje na kontinuiran GNSS prijam kroz gotovo cijelo trajanje mjerenja. To ukazuje na stabilnu kvalitetu signala i manju podložnost kratkotrajnim smetnjama u urbanom okruženju. Takvo ponašanje  $C/N_0$  vrijednosti predstavlja dobar preduvjet za stabilna sirova mjerenja, jer smanjuje vjerojatnost gubitka praćenja satelita i omogućuje pouzdaniji izračun pseudoudaljenosti i pozicija.

$C/N_0$  graf za Samsung Galaxy A24 pokazuje izraženije fluktuacije, niže vrijednosti omjera signal–šum te česte prekide u zapisu, vidljive kao diskontinuiteti u vremenskoj seriji. To upućuje na osjetljiviji prijam GNSS signala i veću podložnost promjenama okruženja, poput zaklanjanja i refleksija signala. Niže i nestabilnije  $C/N_0$  vrijednosti mogu dovesti do češćih

prekida u praćenju satelita, što se kasnije očituje kroz diskontinuitete u pseudoudaljenostima te veću raspšrenost i nestabilnost izračunatih pozicija.



Slika 11. C/N<sub>0</sub> graf svih satelita – Samsung Galaxy S24 Ultra (gore) i Samsung Galaxy A24 (dolje)

Vizualnom usporedbom grafova uočava se da Galaxy S24 Ultra zadržava kontinuitet GNSS signala gotovo bez prekida, uz C/N<sub>0</sub> vrijednosti pretežito u višem rasponu (~30–45 dB-Hz). Nasuprot tome, kod Galaxy A24 signal je izrazito fragmentiran s čestim diskontinuitetima („rupama“ u zapisu) i pretežno nižim C/N<sub>0</sub> vrijednostima (~15–30 dB-Hz), što je vidljivo i kroz kolorit grafa, gdje dominiraju segmenti slabijeg signala uz izraženiji šum. Uočene razlike u kvaliteti GNSS signala (C/N<sub>0</sub>) konzistentne su s razlikama u prostornom ponašanju trajektorija u GIS analizi, gdje se kod slabijeg prijama očekuje izraženiji šum i veća odstupanja od stvarne trase.

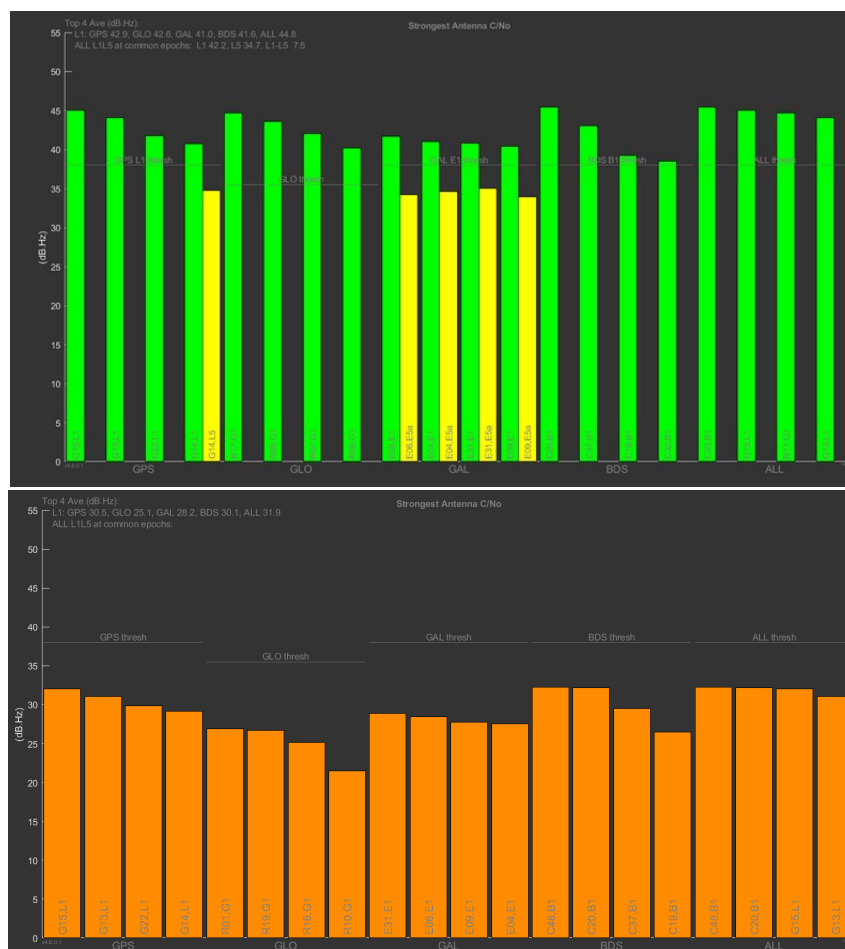
### 6.5.3. GNSS sateliti prema C/N<sub>0</sub> vrijednostima

Graf najjačih C/N<sub>0</sub> vrijednosti prikazuje satelite s najkvalitetnijim signalom tijekom mjerenja te omogućuje uvid u to u kolikoj se mjeri uređaj u praksi „oslanja“ na mali broj satelita ili ima stabilnu podršku većeg broja izvora signala. Takva analiza važna je jer pokazuje robusnost GNSS rješenja u uvjetima promjenjive vidljivosti satelita.

Za Samsung Galaxy S24 Ultra (Slika 12) uočavaju se viši i stabilniji C/N<sub>0</sub> maksimumi za satelite iz više GNSS sustava. To upućuje na to da se pozicijsko rješenje ne oslanja na jedan ili dva dominantna satelita, već koristi veći broj kvalitetnih signala. Takav pristup povećava

otpornost rješenja na kratkotrajne smetnje, poput prolaska uz zgrade ili djelomičnog zaklanjanja neba, te doprinosi stabilnijoj rekonstrukciji trajektorije.

Kod Samsung Galaxy A24 C/N<sub>0</sub> vrijednosti su niže i neujednačenije, uz manji broj satelita s izraženo snažnim signalom. U takvim uvjetima rješenje postaje osjetljivije na gubitak pojedinog satelita (npr. pri prolasku kroz urbanije dijelove), što se može odraziti na veću raspršenost pozicija i otežanu stabilnu rekonstrukciju trajektorije.



Slika 12. Najjači C/N<sub>0</sub> sateliti – Samsung Galaxy S24 Ultra (gore) i Samsung Galaxy A24 (dolje)

Vizualna usporedba najjačih C/N<sub>0</sub> vrijednosti pokazuje da Samsung Galaxy S24 Ultra bilježi veći broj satelita s izraženo snažnim signalom (C/N<sub>0</sub> > 40 dB-Hz), pri čemu su ti sateliti raspoređeni kroz više GNSS konstelacija. Nasuprot tome, kod Samsung Galaxy A24 tek manji broj satelita doseže takve vrijednosti, uz neujednačenu zastupljenost konstelacija, što upućuje na oslanjanje pozicijskog rješenja na ograničen skup snažnih signala.

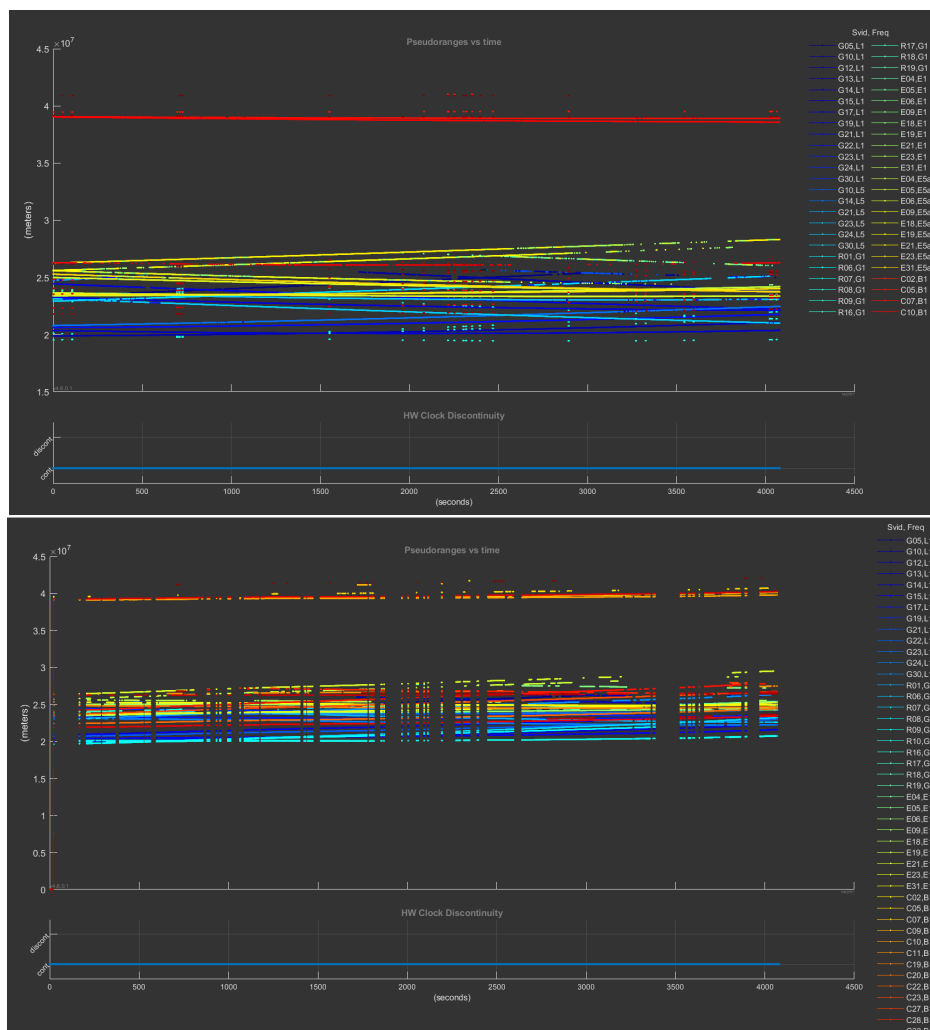
#### 6.5.4. Pseudoudaljenosti GNSS satelita tijekom mjerenja

Pseudoudaljenosti predstavljaju osnovna GNSS mjerenja temeljena na vremenu prolaska signala od satelita do prijammnika te čine temelj za izračun položaja. Kontinuiran i stabilan zapis pseudoudaljenosti preduvjet je za pouzdano pozicijsko rješenje, dok prekidi u zapisu upućuju na probleme s praćenjem satelita ili kvalitetom signala.

Graf pseudoudaljenosti za Samsung Galaxy S24 Ultra (Slika 13) pokazuje kontinuirana mjerenja za veći broj satelita bez izraženih prekida. Pseudoudaljenosti imaju ujednačen i

postupan trend kroz vrijeme, što je očekivano s obzirom na promjenu geometrije satelita tijekom kretanja. Takav zapis upućuje na stabilno prikupljanje sirovih GNSS podataka i omogućuje izračun WLS pozicija u većini epoha mjerenja. Na grafu je vidljivo da se pseudoudaljenosti za veći broj satelita kod Galaxy S24 Ultra prate kontinuirano kroz gotovo cijelo trajanje mjerenja, bez izraženih diskontinuiteta, što upućuje na stabilno praćenje GNSS signala i dostatnu satelitsku geometriju u većini epoha.

Nasuprot tome, graf pseudoudaljenosti za Samsung Galaxy A24 pokazuje česte prekide i diskontinuitete u mjerenjima. Sateliti se često pojavljuju i nestaju iz zapisa, što ukazuje na nestabilno praćenje GNSS signala. Zbog čestih prekida u zapisu pseudoudaljenosti, broj istodobno praćenih satelita u pojedinim epohama je smanjen, što može onemogućiti izračun stabilnog položaja ili rezultirati slabijom geometrijom satelita. Takav zapis otežava izračun stabilnog položaja, što je u skladu s uočenim ograničenjima u prethodnim analizama te s većom raspršenosti dobivenih pozicija.



Slika 13. Pseudoudaljenosti GNSS satelita – Samsung Galaxy S24 Ultra (gore) i Samsung Galaxy A24 (dolje)

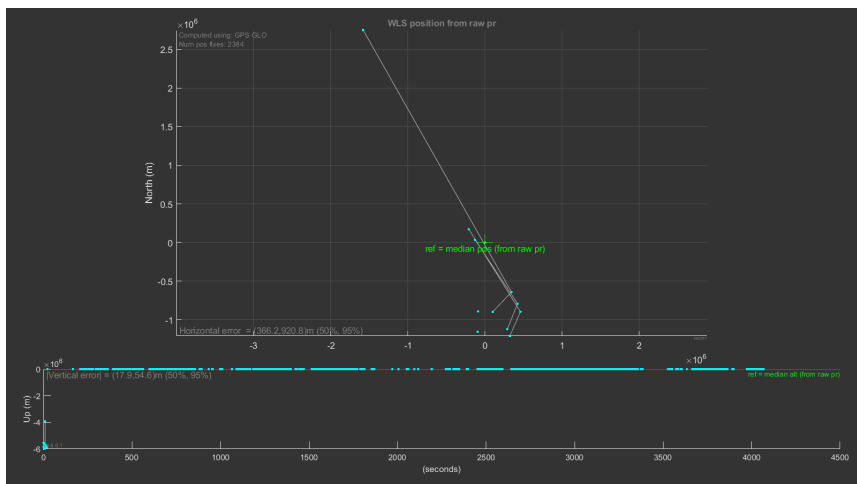
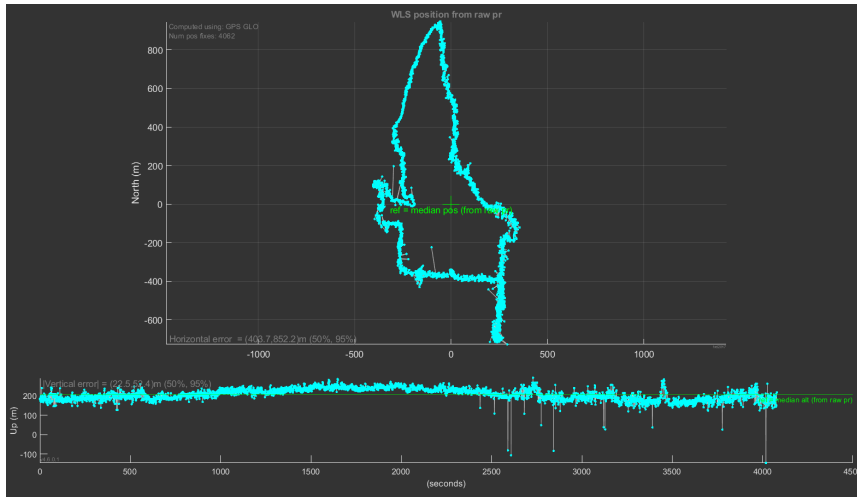
### 6.5.5. Pozicijsko rješenje primjenom WLS metode i Kalmanovog filtra

WLS (Weighted Least Squares) metoda koristi se za izračun položaja iz sirovih GNSS mjerenja, pri čemu se pojedinim mjerenjima pridaju ponderi ovisno o njihovoj pouzdanosti. Kalmanov filter zatim koristi vremensku povezanost mjerenja kako bi smanjio šum i poboljšao kontinuitet trajektorije, pri čemu cilj nije „zamijeniti“ sirova mjerenja, već dobiti stabilniji i pregledniji prikaz kretanja.

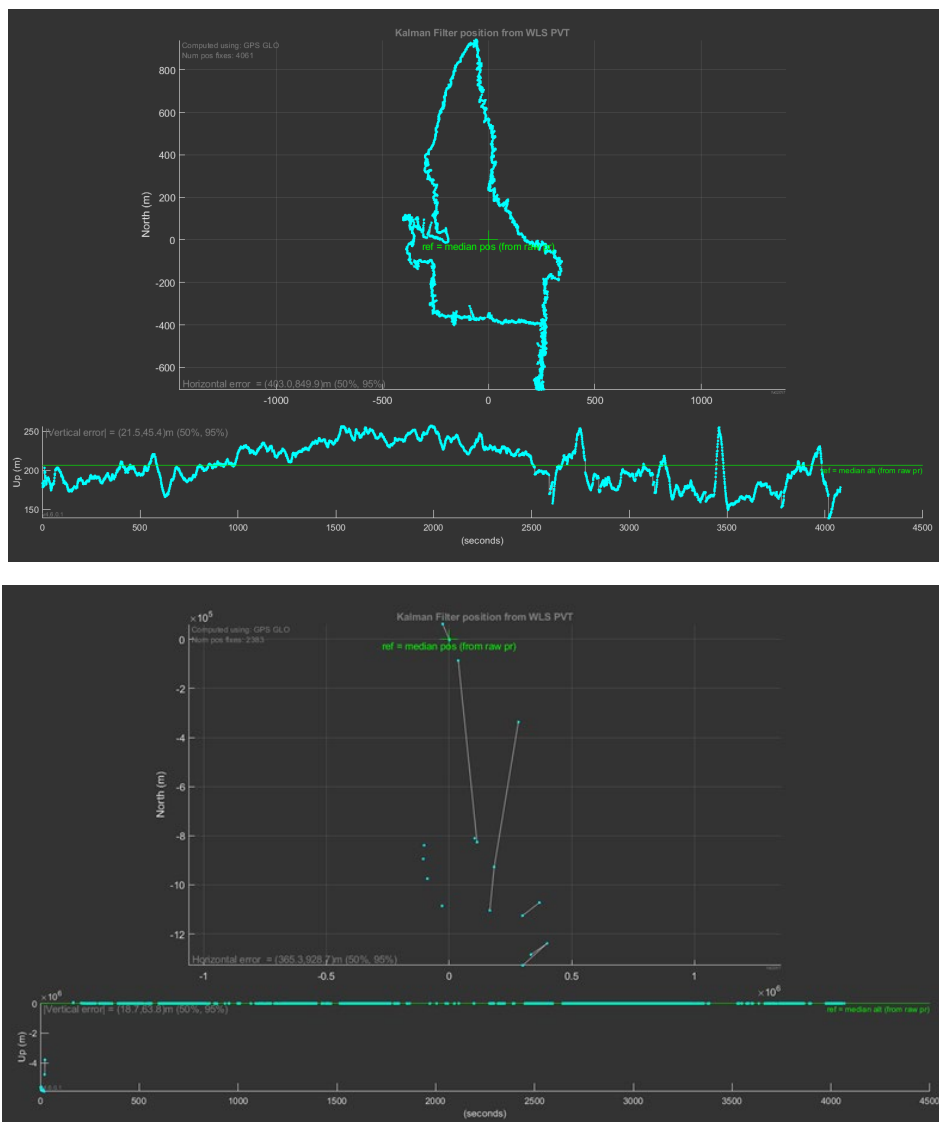
WLS pozicije za Samsung Galaxy S24 Ultra (Slika 14) pokazuju umjerenu raspršenost i povremene oscilacije („cik-cak“), što je očekivano za sirova GNSS rješenja u urbanom okruženju. Unatoč raspršenosti, može se uočiti kontinuirana i smisljeno oblikovana trajektorija, što upućuje na to da su pseudoudaljenosti bile dostupne u većini epoha te da je geometrija satelita bila dovoljna za izračun pozicija.

Nakon primjene Kalmanovog filtra (Slika 15) trajektorija je vidljivo zaglađena, uz smanjenje kratkotrajnih oscilacija i poboljšan kontinuitet položaja. Takvo poboljšanje potvrđuje da su sirova mjerenja uređaja Galaxy S24 Ultra bila dovoljno stabilna i konzistentna da filtriranje ima stvaran učinak.

Za Samsung Galaxy A24 dobiven je ograničen broj izračunatih pozicija, uz izražene prekide i veliku raspršenost. Zbog diskontinuiteta u pseudoudaljenostima i nestabilne kvalitete signala, WLS rješenja ne tvore kontinuiranu trajektoriju, a primjena Kalmanovog filtra ne dovodi do značajnog poboljšanja kontinuiteta. Ovakav rezultat u skladu je s ranije uočenim ograničenjima u sirovim GNSS mjerenjima za ovaj uređaj.



Slika 14. WLS pozicije – Samsung Galaxy S24 Ultra (gore) i i Samsung Galaxy A24 (dolje)



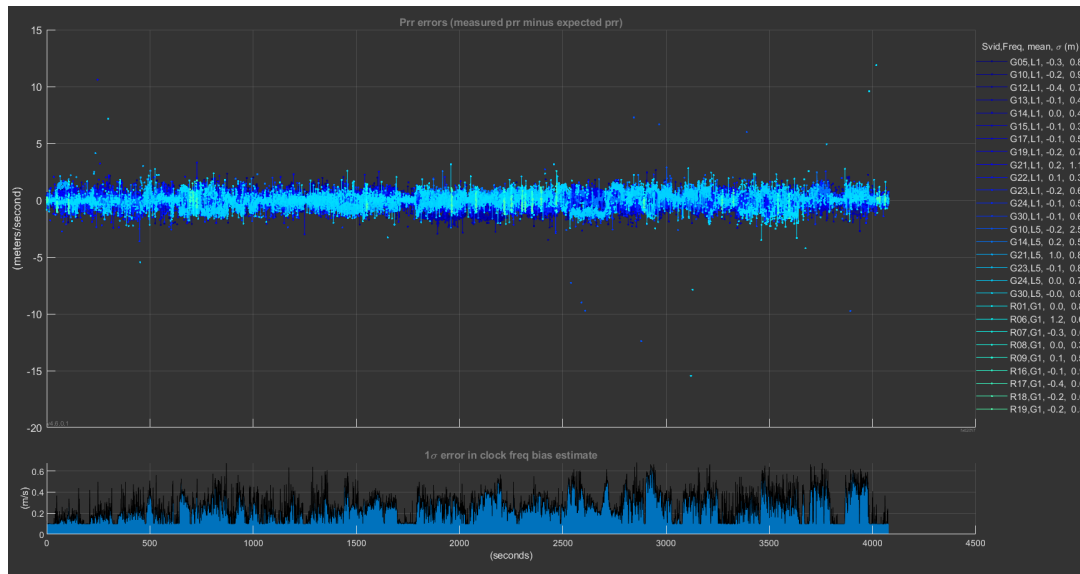
Slika 15. Kalman filtrirane pozicije – Samsung Galaxy S24 Ultra (gore) i i Samsung Galaxy A24 (dolje)

### 6.5.6. PRR/ADR pogreške faznih GNSS mjerenja

PRR (Pseudo Range Rate) i ADR (Accumulated Delta Range) odnose se na brzinske i fazne komponente GNSS mjerenja te služe kao indikatori stabilnosti praćenja signala kroz vrijeme. U ovom radu grafovi se koriste kvalitativno, kako bi se provjerilo postoje li nagli skokovi ili veća odstupanja koja mogu upućivati na nestabilnost praćenja GNSS signala.

Graf ADR/PRR pogrešaka za Samsung Galaxy S24 Ultra (Slika 16) pokazuje da je većina vrijednosti koncentrirana oko nulte vrijednosti, uz povremene kratkotrajne skokove. Takav obrazac upućuje na uglavnom stabilno praćenje faze GNSS signala tijekom mjerenja, pri čemu su povremena odstupanja očekivana tijekom kretanja u urbanom okruženju zbog zaklanjanja i refleksija signala. Izostanak

dugotrajnih ili izrazito velikih skokova potvrđuje da su sirova mjerenja dovoljno konzistentna za daljnju obradu i primjenu Kalmanovog filtra.



Slika 16. PRR/ADR pogreške – Samsung Galaxy S24 Ultra

Za Samsung Galaxy A24 analiza PRR/ADR pogrešaka nije provedena, budući da zbog prekida u zapisu sirovih GNSS podataka i nestabilnog praćenja faze signala nije bilo moguće pouzdano izračunati ove pokazatelje. Ovaj rezultat u skladu je s prethodno uočenim diskontinuitetima u pseudoudaljenostima i slabijom kvalitetom prijama GNSS signala za navedeni uređaj.

## 7. ANALIZA REZULTATA

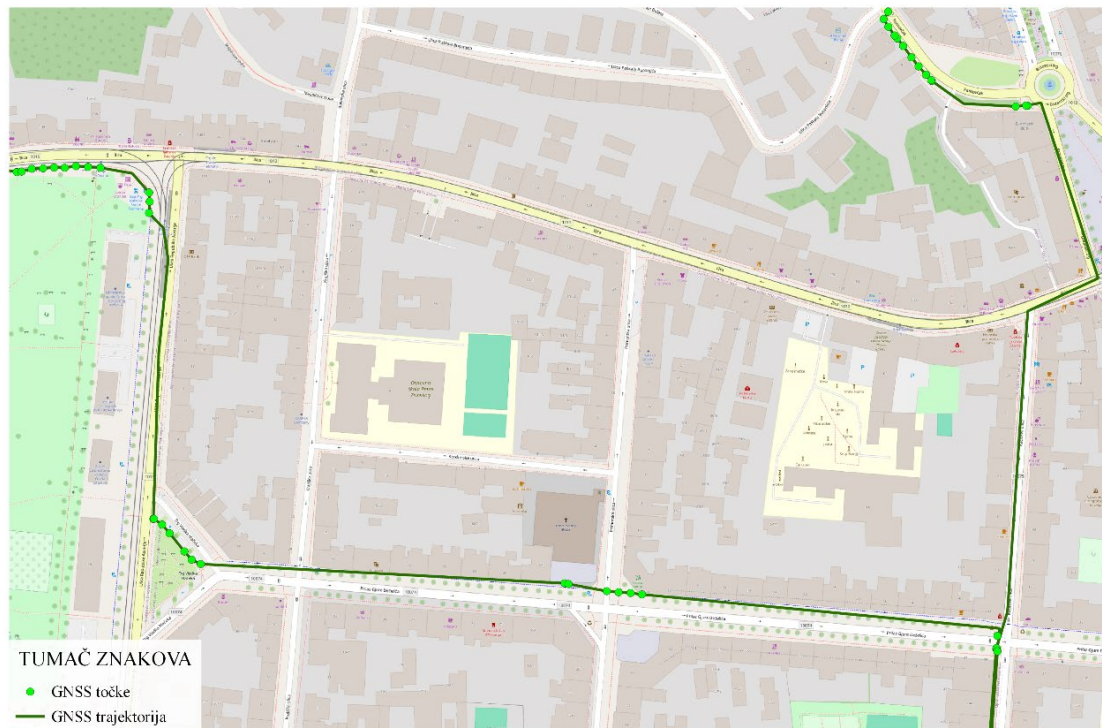
### 7.1. Usporedba sirovih GNSS podataka i map-matching trajektorije

Provedena je analiza i usporedba sirovih GNSS podataka prikupljenih mobilnim uređajima pomoću aplikacije GNSS Logger te map-matching trajektorija dobivenih primjenom GIS aplikacije OsmAnd. Uz mobilne zapise prikazani su i GNSS podaci prikupljeni referentnim GNSS uređajem, koji služe kao dodatna prostorna informacija o uvjetima GNSS prijema i stabilnosti dobivenih trajektorija.

Sirovi GNSS podaci mobilnih uređaja prikazani su u obliku diskretnih točaka koje predstavljaju izračunata pozicijska rješenja, prikupljana u vremenskom intervalu od 5 sekundi. Takvi zapisi izravno odražavaju trenutačne uvjete GNSS prijema te su osjetljivi na zaklonjenost satelita i lokalne poremećaje signala. Map-matching trajektorije predstavljaju interpretirani prikaz kretanja prilagođen cestovnoj mreži, pri čemu se sirova GNSS mjerenja povezuju s postojećom prometnom infrastrukturom. GNSS podaci prikupljeni referentnim GNSS uređajem na cijeloj analiziranoj trajektoriji sastoje se isključivo od fiksnih (FIXED) rješenja. Razlike u kontinuitetu i prostornoj raspodjeli točaka između pojedinih dionica ne proizlaze iz tipa rješenja, već iz prostornog okruženja i dostupnosti GNSS signala. Prikazane GNSS trajektorije referentnog uređaja formirane su naknadnom interpolacijom dostupnih FIXED točaka u GIS okruženju, te služe kao indikativni prikaz kretanja.

Na dionici Kačićeve ulice, Ilice i Prilaza Gjura Deželića (Slike 17–19), koju karakterizira gusta urbana izgradnja i izražen urbani kanjon, referentni GNSS uređaj bilježi manji broj dostupnih GNSS točaka, što onemogućuje kontinuiran i ujednačen prikaz trajektorije kretanja (Slika 17). Takvo ponašanje posljedica je ograničene vidljivosti neba i nepovoljnih uvjeta GNSS prijema u urbanom okruženju.

### Kačićeva ulica, Ilica i Prilaz Gjure Deželića



Slika 17. GNSS zapisi referentnog GNSS uređaja – Kačićeva, Ilica i Prilaz Gjure Deželića

Sirovi GNSS zapisi prikupljeni mobilnim uređajima na istoj dionici pokazuju znatnu raspršenost točaka i česta odstupanja od osi kolnika, osobito u blizini raskrižja i zelenih površina. Kod uređaja Samsung Galaxy S24 Ultra GNSS Logger zapisi pokazuju relativno ujednačeniji prostorni raspored, iako su i dalje prisutna lokalna odstupanja tipična za urbani kanjon (Slika 18). Nasuprot tome, kod uređaja Samsung Galaxy A24 uočena je izrazita nekonzistentnost sirovih GNSS podataka, koja se očituje kao „ispucanost“ zapisa, veća prostorna disperzija točaka i povremeni prekidi trajektorije (Slika 19). Vizualno je uočljivo da su kod uređaja A24 odstupanja često bočno pomaknuta u odnosu na osi prometnica, što upućuje na multipath učinke i nestabilan GNSS prijam u gustom urbanom okruženju. Takvi zapisi upućuju na nestabilniji GNSS prijem i ograničenja mobilnog GNSS senzora u zahtjevnim urbanim uvjetima. Primjenom map-matching postupka dobivene trajektorije za oba mobilna uređaja pravilno prate cestovnu mrežu i zadržavaju se unutar kolničkog profila. Map-matching učinkovito smanjuje utjecaj lokalnih pogrešaka u sirovim GNSS mjerenjima te omogućuje kontinuiran, jasan i funkcionalan prikaz stvarne trajektorije kretanja, čak i u slučajevima izrazito nekonzistentnih sirovih zapisa, poput onih zabilježenih kod uređaja A24.

Kačićeva ulica, Ilica i Prilaz Gjure Deželića  
S24 Ultra



Slika 18. Sirovi GNSS zapisi i map-matching trajektorija (S24 Ultra) – Kačićeva, Ilica i Prilaz Gjure Deželića

Kačićeva ulica, Ilica i Prilaz Gjure Deželića  
A24



Slika 19. Sirovi GNSS zapisi i map-matching trajektorija (A24) – Kačićeva, Ilica i Prilaz Gjure Deželića





Slika 21. Sirovi GNSS zapisi i map-matching trajektorija – Samsung Galaxy S24 Ultra (lijevo) i Samsung Galaxy A24 (desno), dionica Hercegovačke ulice

Na temelju provedene analize može se zaključiti da kvaliteta sirovih GNSS podataka snažno ovisi o prostornom okruženju i karakteristikama mobilnog uređaja. U uvjetima urbanog kanjona sirovi GNSS zapisi pokazuju izraženu nestabilnost, dok otvoreniji prostori omogućuju kvalitetnija i konzistentnija pozicijska rješenja. U oba slučaja, primjena map-matching postupka predstavlja ključni korak za dobivanje stabilnog, prostorno smislenog i uporabljivog prikaza trajektorije kretanja.

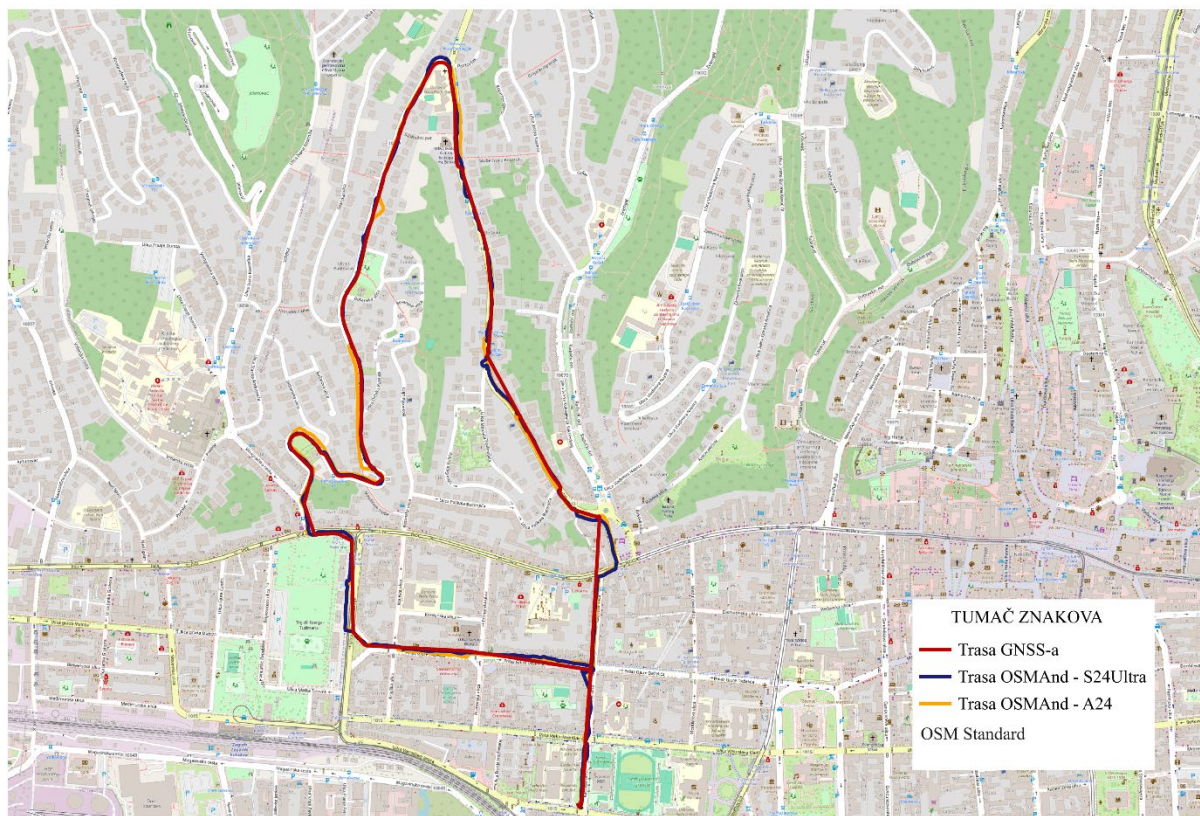
## 7.2. Pretvorba točkastih podataka u linijske objekte i izračun duljine

Podaci prikupljeni GNSS uređajem te mobilnim aplikacijama OSMAnd i GNSS Logger inicijalno su bili zapisani u obliku točkastih koordinata, pri čemu svaka točka predstavlja pojedinačnu GNSS poziciju zabilježenu u određenom vremenskom trenutku. Kako bi se omogućila analiza trajektorije kretanja, bilo je potrebno točkaste podatke pretvoriti u linijske objekte.

Pretvorba je provedena u programu QGIS korištenjem alata Points to Path. Alat omogućuje povezivanje točaka u liniju na temelju zadanog redoslijeda, pri čemu je kao kriterij korišten vremenski zapis (timestamp). Na taj način dobivene su kontinuirane linije koje predstavljaju stvarne trase kretanja za:

- GNSS uređaj
- OSMAnd – S24Ultra
- OSMAnd – A24

Kartografski prikaz trajektorija prikupljenih različitim GNSS uređajima



Slika 22. Kartografski prikaz trajektorija kretanja

Nakon formiranja linijskih objekata, pristupilo se izračunu njihove duljine. Duljina linije izračunata je pomoću Field Calculators primjenom funkcije: *\$length*.

Budući da su svi slojevi prethodno ujednačeni u projekcijski koordinatni sustav (EPSG:3765 – HTRS96 / Croatia TM), dobivene vrijednosti duljina izražene su u metrima i usporedive među

sobom. Za svaki linijski sloj dodano je novo atributno polje u kojem je pohranjena ukupna duljina trase.

Tablica 1 Usporedba duljina trajektorija

Izvor podataka	Duljina trase (m)
GNSS uređaj	4318,03 m
OSMAAnd – Samsung S24 Ultra	4629,81 m
OSMAAnd – Samsung A24	4557,19 m

Usporedbom duljina trajektorija dobivenih različitim izvorima podataka uočljive su razlike u izmjerenim vrijednostima. Najkraća duljina trase dobivena je pomoću GNSS uređaja, dok su duljine izračunate na temelju podataka prikupljenih mobilnim aplikacijama (OSMAAnd) veće.

Razlog tome leži u razlici u kvaliteti i stabilnosti GNSS mjerenja. Profesionalni GNSS uređaj koristi kvalitetniju antenu, naprednije algoritme filtriranja i stabilniji prijem satelitskih signala, što rezultira manjim šumom u podacima i glađom trajektorijom. Time se smanjuje broj sitnih odstupanja između uzastopnih točaka, pa je i ukupna duljina trase realnija.

S druge strane, mobilni telefoni bilježe veći broj točaka s izraženijim prostornim odstupanjima, osobito u urbanim područjima gdje dolazi do refleksije signala (multipath efekt). Takva odstupanja uzrokuju „cik-cak“ efekt u trajektoriji, čime se umjetno povećava ukupna duljina linije. To je posebno izraženo kod mobilnih uređaja niže klase, što se vidi u razlici između rezultata dvaju korištenih mobitela.

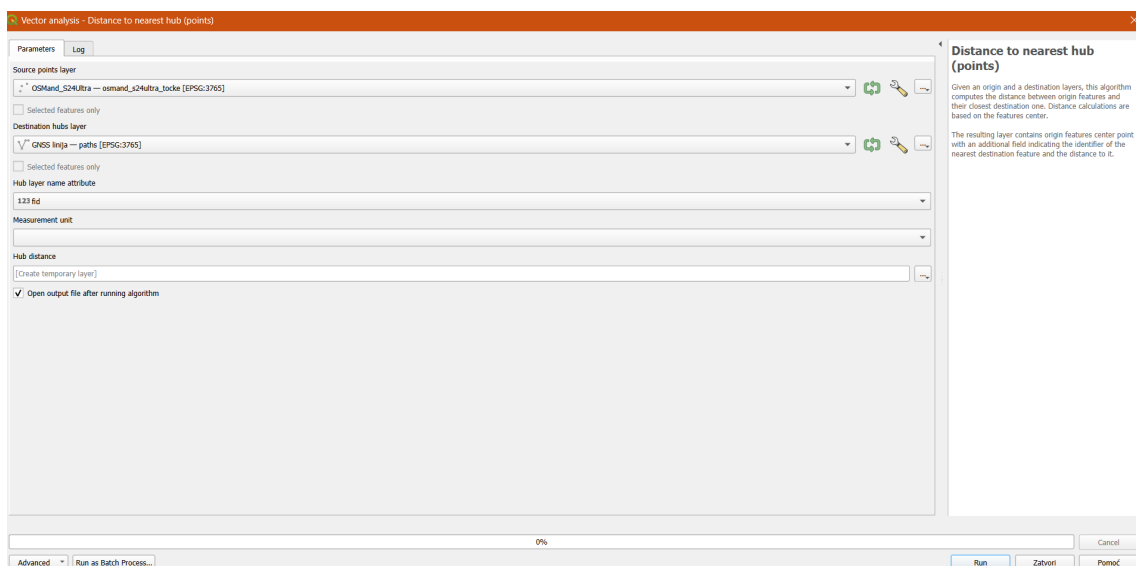
Na temelju dobivenih rezultata može se zaključiti da su podaci prikupljeni GNSS uređajem najpouzdaniji za mjerenje duljine trase, dok su podaci dobiveni mobilnim aplikacijama korisni za orijentacijske i vizualizacijske svrhe, ali manje prikladni za precizna mjerenja. Razlike u duljinama potvrđuju važnost izbora odgovarajućeg uređaja ovisno o zahtjevanoj razini točnosti mjerenja.

### 7.3. Analiza odstupanja pomoću Hub Distance i statistička obrada

Kako bi se detaljnije analizirala prostorna točnost prikupljenih podataka, provedena je analiza Hub Distance. Ova metoda služi za izračun udaljenosti svake točke u odnosu na referentni objekt, najčešće liniju ili skupinu točaka.

U ovom radu kao referentna linija (hub) korištena je linijska trajektorija dobivena GNSS uređajem, dok su točkasti podaci prikupljeni mobilnim aplikacijama analizirani u odnosu na tu referencu. Alat Hub Distance u QGIS-u izračunava:

- euklidsku udaljenost svake točke do najbliže točke na referentnoj liniji
- vrijednost udaljenosti prema u atributno polje (npr. *HubDist*)



Slika 23. Upotreba Hub distance alata

Na temelju dobivenih vrijednosti udaljenosti provedena je statistička analiza pomoću alata Statistics. Izračunati su osnovni statistički pokazatelji koji opisuju odstupanja mobilnih GNSS mjerenja u odnosu na referentnu GNSS liniju:

- broj uzoraka
- minimalna i maksimalna udaljenost
- srednja vrijednost (mean)
- medijan
- standardna devijacija

Ovi pokazatelji omogućuju procjenu preciznosti i konzistentnosti mjerenja te uočavanje eventualnih većih odstupanja.

Tablica 2 Statistički pokazatelji Hub distance (usporedba dvaju mobilnih uređaja)

Statistički pokazatelj	S24Ultra	A24
Broj točaka (Count)	758	753
Minimalna vrijednost [m]	148,09	147,74
Maksimalna vrijednost [m]	856,90	857,76
Raspon [m]	708,81	710,02
Srednja vrijednost [m]	460,60	460,95
Medijan [m]	465,35	465,42
Standardna devijacija [m]	204,72	204,49
Koeficijent varijacije	0,444	0,444
Prvi kvartil (Q1) [m]	297,98	294,90
Treći kvartil (Q3) [m]	611,40	617,84
Interkvartilni raspon (IQR) [m]	313,42	322,94

Dobiveni statistički pokazatelji pokazuju vrlo slične rezultate za oba mobilna uređaja, što upućuje na konzistentnost prikupljenih GNSS podataka. Srednje vrijednosti hub distance iznose približno 460 m za oba uređaja, dok su i medijani gotovo identični, što ukazuje na sličan prosječan prostorni pomak u odnosu na referentnu trajektoriju. Vrijednosti hub distance odnose se na ukupnu rutu duljine više kilometara, pri čemu referentna linija predstavlja interpolirani GNSS zapis. Zbog toga dobivene udaljenosti ne predstavljaju lokalnu pogrešku pozicioniranja u klasičnom smislu, već opći prostorni odnos između mobilnih zapisa i referentne trajektorije.

Standardna devijacija iznosi oko 204 m kod oba mobitela, što znači da postoji relativno velika raspršenost točaka oko referentne linije. To je očekivano kod mjerenja mobilnim GNSS uređajima, osobito u urbanom okruženju gdje dolazi do refleksije signala (multipath efekt), zaklanjanja satelita te promjena u kvaliteti signala.

Koeficijent varijacije ( $\approx 0,44$ ) dodatno potvrđuje da je varijabilnost mjerenja slična kod oba uređaja, bez značajnih odstupanja u stabilnosti signala. Interkvartilni raspon (IQR) nešto je veći kod drugog mobitela, što može upućivati na nešto veća odstupanja u srednjem dijelu distribucije, no razlika nije značajna.

## 8. ZAKLJUČAK

U ovom seminaru analizirani su GNSS podaci prikupljeni mobilnim uređajima primjenom aplikacija GNSS Logger i OsmAnd te uspoređeni s referentnim GNSS mjerenjima, s ciljem procjene kvalitete sirovih GNSS zapisa i učinkovitosti map-matching postupka u urbanom okruženju. Kroz cjelovit tijek rada, od terenske izmjere, pripreme i obrade podataka, do njihove vizualizacije i analize, prikazane su mogućnosti i ograničenja GNSS pozicioniranja na pametnim telefonima u stvarnim uvjetima kretanja.

Rezultati analize pokazali su da kvaliteta sirovih GNSS podataka snažno ovisi o prostornom okruženju i tehničkim karakteristikama mobilnog uređaja. U uvjetima urbanog kanjona, poput dionica Kačićeve ulice i Ilice, zabilježena je znatna raspršenost GNSS točaka, diskontinuiteti mjerenja i prostorna odstupanja od stvarne trase kretanja, osobito kod uređaja niže klase (Samsung Galaxy A24). Nasuprot tome, na otvorenijim dionicama, poput Hercegovačke ulice, uočena je znatno bolja stabilnost GNSS prijema, veća prostorna konzistentnost točaka i pouzdaniji prikaz trajektorije kretanja kod oba mobilna uređaja.

Usporedba sirovih GNSS zapisa s map-matching trajektorijama jasno je pokazala važnost map-matching algoritama u interpretaciji mobilnih GNSS podataka. Primjena map-matchinga omogućila je stabilan, kontinuiran i prostorno smislen prikaz kretanja, čak i u slučajevima izrazito nekonzistentnih sirovih GNSS zapisa. Time se potvrđuje da navigacijske putanje dobivene mobilnim aplikacijama ne predstavljaju izravni rezultat mjerenja, već interpretirani prikaz temeljen na integraciji GNSS podataka, inercijskih senzora i GIS kartografske podloge.

Dodatne analize u aplikaciji Android GNSS Analysis potvrdile su razlike u kvaliteti GNSS signala između korištenih uređaja. Uređaj Samsung Galaxy S24 Ultra pokazao je povoljniju geometriju satelita, stabilnije  $C/N_0$  vrijednosti i kontinuiranije zapise pseudoudaljenosti, što se odrazilo na stabilnija pozicijska rješenja. Kod uređaja Samsung Galaxy A24 uočena su ograničenja u prikupljanju i obradi sirovih GNSS mjerenja, što upućuje na praktična ograničenja mobilnih uređaja niže klase u zahtjevnim urbanim uvjetima.

Analiza duljina trajektorija i statistička obrada odstupanja pomoću Hub Distance alata dodatno su pokazale da mobilni GNSS zapisi, iako korisni za vizualizaciju i orijentaciju, nisu prikladni za precizna mjerenja duljine bez dodatne obrade i filtriranja. Razlike u duljinama i prostornim odstupanjima potvrđuju prednosti profesionalnih GNSS uređaja u pogledu stabilnosti i pouzdanosti mjerenja.

Zaključno, ovaj rad potvrđuje da su mobilni GNSS sustavi, uz primjenu map-matching algoritama i GIS alata, vrlo uporabni za navigaciju i prostornu analizu kretanja u urbanim sredinama, no da njihova točnost i pouzdanost uvelike ovisi o uvjetima prijema i kvaliteti uređaja. Razumijevanje razlika između sirovih GNSS mjerenja i interpretiranih navigacijskih trajektorija ključno je za pravilnu primjenu i interpretaciju mobilnih GNSS podataka u geomatičkim analizama.

## LITERATURA

1. Van Diggelen, F. (2022): *GNSS Raw Measurements from Android Phones*. European Union Agency for the Space Programme (EUSPA).  
[https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/expo/frank\\_van\\_diggelen\\_keynote\\_android\\_gnss\\_measurements\\_update.pdf](https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/expo/frank_van_diggelen_keynote_android_gnss_measurements_update.pdf)
2. Zangenehjad, F., Gao, Y. (2021): *GNSS smartphones positioning: advances, challenges, opportunities, and future perspectives*. *Satellite Navigation*, 2(1).  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8604560/>
3. Zhang, J., Yu, B., Ge, Y., Gao, J., Sheng, C. (2024): *An Effective GNSS/PDR Fusion Positioning Algorithm on Smartphones for Challenging Scenarios*. *Sensors*, 24(5), 1452.  
<https://www.mdpi.com/1424-8220/24/5/1452>
4. Xi, L., Liu, Q., Li, M., Liu, Z. (2014): *Map Matching Algorithm and Its Application*.  
[https://www.researchgate.net/publication/266043254\\_Map\\_Matching\\_Algorithm\\_and\\_Its\\_Application](https://www.researchgate.net/publication/266043254_Map_Matching_Algorithm_and_Its_Application)
5. Berjisian, E., Bigazzi, A. (2023): *Evaluation of map-matching algorithms for smartphone GPS data*. IET Research.  
<https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/itr2.12250>
6. Weng, D., Chen, W., Ding, M., et al. (2025): *Sidewalk matching: a smartphone-based GNSS positioning technique for pedestrians in urban canyons*. *Satellite Navigation*, 6, 4.  
<https://satellite-navigation.springeropen.com/articles/10.1186/s43020-025-00159-8>
7. IBM (2023): *Map Matching*. IBM Documentation.  
<https://www.ibm.com/docs/en/icvi/4.1.0?topic=mapping-map-matching>
8. Bačić, Ž. (nastavni materijali): *Predavanja*. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
9. Samsung Electronics (2024): *Galaxy S24 Ultra – Specifications*.  
<https://www.samsung.com/hr/smartphones/galaxy-s24-ultra/specs/>
10. Samsung Electronics (2023): *Galaxy A24 – Specifications*.  
<https://www.samsung.com/ph/smartphones/galaxy-a/galaxy-a24-green-128gb-sm-a245flgwphl/>
11. Google (2023): *GNSS Logger*. Android Open Source Project.  
<https://github.com/google/gps-measurement-tools>
12. OSMand Team (2023): *OSMand – Offline Mobile Maps and Navigation*.  
<https://osmand.net/>