



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET



ZAVOD ZA GEOMATIKU
KATEDRA ZA SATELITSKU GEODEZIJU
KOLEGIJ: INTEGRIRANI SUSTAVI U GEOMATICI

~ Seminarski rad ~

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

Zagreb, 2026.

Izradile: Lea Maria Zrilić, Leona Pavić

Sadržaj

1.	Uvod.....	3
1.1	Kontekst i motivacija.....	3
1.2	Cilj rada i opis zadatka	4
2.	Teorijska podloga	5
2.1	GNSS u pametnim telefonima	5
2.2	GIS i map matching.....	6
3.	Metodologija rada.....	8
3.1	Područje opažanja	8
3.2	Korišteni uređaji i aplikacije	9
4.	Prikupljanje podataka	11
5.	Obrada podataka	13
5.1	GPSTracks.....	13
5.2	OsmAnd Maps (iPhone)	14
5.3	GNSSLogger.....	16
5.4	OsmAnd (Samsung).....	17
5.5	GNSS uređaj	18
6.	Analiza podataka	20
6.1	Statistička analiza podataka.....	20
6.2	Vizualna analiza slojeva	21
6.3	Usporedba po segmentima trase	24
7.	Zaključak	32
8.	Literatura	34
9.	Popis slika.....	35
10.	Popis tablica.....	36

1. Uvod

1.1 Kontekst i motivacija

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) tijekom posljednjih desetljeća doživjeli su značajan tehnološki razvoj te su postali neizostavan alat za određivanje položaja u brojnim područjima primjene. Sustavi poput GPS-a, Galilea, GLONASS-a i BeiDoua danas se koriste ne samo u profesionalnim i znanstvenim aplikacijama, već i u svakodnevnom životu, ponajprije kroz navigacijske usluge i aplikacije na mobilnim uređajima. Razvojem pametnih telefona GNSS tehnologija postala je široko dostupna korisnicima, čime je omogućeno jednostavno prikupljanje i korištenje prostorno-vremenskih podataka.

Moderni pametni telefoni imaju prijamnike koji omogućuju primanje signala više različitih sustava istovremeno, a noviji modeli podržavaju i višefrekvencijsko pozicioniranje, što doprinosi poboljšanoj stabilnosti i točnosti određivanja položaja. Unatoč tome, GNSS mjerenja dobivena mobilnim uređajima i dalje su podložna različitim izvorima pogrešaka. Ograničenja hardvera, slabije antene te nepovoljni uvjeti u urbanim sredinama, poput zaklanjanja signala i višestrukih odraza, često uzrokuju odstupanja položaja i smanjenu pouzdanost rezultata.

Kako bi se navedeni problemi ublažili, u suvremenim navigacijskim sustavima sve se češće primjenjuje integracija GNSS podataka s GIS tehnologijama. Posebno važnu ulogu pritom ima postupak map-matchinga, kojim se GNSS pozicije usklađuju s digitalnom cestovnom mrežom, čime se postiže realističniji prikaz kretanja i smanjuju pogreške uzrokovane nepovoljnim uvjetima mjerenja. Takav pristup predstavlja temelj pametne navigacije i ključnu komponentu većine današnjih mobilnih aplikacija za usmjeravanje i praćenje kretanja.

S obzirom na rastuću primjenu GNSS tehnologije u pametnim telefonima, kao i sve veću ovisnost korisnika o navigacijskim uslugama, analiza točnosti mobilnih GNSS podataka te procjena učinkovitosti map-matching postupaka postaju posebno relevantne. Upravo iz tog razloga potrebno je sustavno ispitati mogućnosti i ograničenja pametnih telefona u odnosu na referentna GNSS mjerenja, kao i utjecaj GIS integracije na poboljšanje konačnih rezultata.

1.2 Cilj rada i opis zadatka

Cilj ovog rada je ispitati točnost položajnih podataka dobivenih mobilnim uređajima te analizirati utjecaj primjene map matching postupaka na poboljšanje kvalitete trajektorije kretanja. U tu svrhu provedeno je terensko mjerenje zadane trase korištenjem dva različita mobilna uređaja, pri čemu su podaci prikupljeni pomoću više mobilnih aplikacija istovremeno. Uz podatke dobivene pametnim telefonima, u istraživanju su korištena i mjerenja GNSS uređaja, koja služe kao osnova za usporedbu i procjenu odstupanja.

Zadatak rada obuhvaća prikupljanje čistih GNSS zapisa te zapisa dobivenih navigacijskim aplikacijama koje primjenjuju algoritme map matchinga. Na taj način omogućena je usporedba izvornih GNSS mjerenja s trajektorijama koje su dodatno prilagođene cestovnoj mreži. Prikupljeni podaci zatim se obrađuju i analiziraju u GIS okruženju, pri čemu se posebna pažnja posvećuje prostornim odstupanjima između pojedinih izvora podataka.

Osim usporedbe rezultata između različitih mobilnih uređaja, rad ima za cilj procijeniti u kojoj mjeri se podaci dobiveni pametnim telefonima mogu približiti točnosti samog GNSS uređaja. Time se nastoji dobiti uvid u mogućnosti i ograničenja mobilnih GNSS tehnologija u kontekstu pametne navigacije, kao i u stvarni doprinos integracije GNSS-a i GIS metoda u suvremenim mobilnim aplikacijama.

2. Teorijska podloga

2.1 GNSS u pametnim telefonima

Pametni telefoni danas koriste višekonstelacijske GNSS prijemnike, što omogućuje istovremeni prijam signala s više satelitskih sustava, odnosno broj vidljivih satelita. Veći broj vidljivih satelita uvjetuje bolju geometriju opažanja i smanjuje vrijeme inicijalizacije položaja (Gogoi et al., 2018; Szot et al., 2019). GNSS u kombinaciji s ostalim sensorima na pametnim telefonima (žiroskopima, akcelerometrima, barometrima) poboljšava kontinuitet pozicioniranja, osobito u slučaju kretanja korisnika (Aicardi et al., 2014)..

Prva i osnovna prednost GNSS-a u pametnim telefonima je dostupnost pri niskoj cijeni. Široka primjena pozicioniranja je omogućena bez dodatne opreme za razliku od profesionalnih GNSS prijemnika. Prema istraživanjima, suvremeni modeli pametnih telefona mogu postići horizontalnu točnost u rasponu 2 do 15 metara u usporedbi s DGPS-om, odnosno 0.2 do 10 metara u usporedbi s ručnim GPS uređajima, ovisno o načinu mjerenja i uvjetima opažanja (Raufu et al., 2025). Pri povoljnim uvjetima vidljivosti satelita i u otvorenom prostoru, točnost pametnih telefona usporediva je s mapping-grade GNSS uređajima, što ih klasificira kao pogodne za navigaciju i prikupljanje prostorno orijentiranih podataka niže preciznosti (Merry & Bettinger, 2019).

Navedeni višekonstelacijski prijem signala isto je jedna od prednosti, zbog veće redundancije opažanja i smanjivanja utjecaja pogrešaka pojedinih sustava, što je osobito od koristi u urbanim sredinama, u kojima su izraženi multipath efekt i zaklanjanje signala (Specht et al., 2018; Szot et al., 2019). U slučaju Android operativnog sustava omogućen je pristup *raw data*, sirovim GNSS mjerenjima čime se otvaraju vrata primjeni naprednije obrade (npr. Precise Point Positioning) (Aggrey et al., 2020; Dabove & Di Pietra, 2018).

Osim evidentnih prednosti, GNSS u pametnim telefonima nailazi na značajna ograničenja. Prvenstveno, kvaliteta ugrađenih antena je slabija u odnosu na profesionalne GNSS prijemnike. Antene su više orijentirane u smjeru kompaktnosti nego za što optimalnij prijam signala, rezultirajući većom razinom šuma i osjetljivošću na reflektirane signale. Ovaj nedostatak dolazi do izražaja u zatvorenim prostorima i gdje je moguć prekid prijema signala (Dabove & Petovello, 2014).

Druga mana je nestabilnost točnosti ovisno o okruženju. Standardna devijacija horizontalne pozicije može se gotovo udvostručiti u gradskoj sredini u odnosu na otvoreno područje zbog degradacije geometrije opažanja (Merry & Bettinger, 2019). Pametni telefoni najčešće koriste A-GNSS, asistiranu GNSS metodu, koja ovisi o mobilnoj mreži i internetskoj vezi, što može utjecati pri različitim načinima rada telefona.

U kontekstu profesionalne geoinformatičke i geodetske primjene, pametni telefoni još uvijek ne zadovoljavaju zahtjeve visoke preciznosti. Daljnje statističke analize koje će se provesti kroz seminarski rad pokazat će kako između rezultata pametnih telefona i profesionalne GNSS antene ne postoji značajna razlika, ali postignuta točnost ipak neće biti dovoljna za inženjerske i katastarske izmjere. U slučaju potreba navigacije i lokacijskih usluga, pametni telefoni predstavljaju praktično i dovoljno učinkovito rješenje.

2.2 GIS i map matching

Geografski informacijski sustavi (GIS) neizostavan su dio obrade, analize i vizualizacije prostornih podataka povezanih s prometom i mobilnošću. Jedna od najvažnijih primjena GIS-a u području inteligentnih transportnih sustava je map-matching, definiran kao postupak povezivanja GNSS mjerenja s digitalnom cestovnom mrežom. Sirovi GNSS podaci (koordinate) često sadržavaju pogreške uzrokovane gubitkom i refleksijom signala te gubitkom satelitske vidljivosti, a map-matching omogućuje ispravljanje tih odstupanja i preciznije određivanje stvarnog položaja vozila unutar prometne mreže (Stipancic et al., 2025).

Osnovni princip map-matchinga sastoji se od dva temeljna koraka: identifikacije cestovnog segmenta po kojem se vozilo kreće te projekcije GNSS točaka na odabrani segment. Prvi korak uključuje analizu mogućih kandidata unutar definirane prostorne okoline, dok drugi korak osigurava korekciju izmjerenog položaja na najvjerojatniju lokaciju na cestovnoj mreži. GIS sustavi pružaju prostorni okvir za provedbu ovih procesa kroz pohranu vektorskih podataka, održavanje topoloških odnosa između cestovnih segmenata te upravljanje atributnim podacima poput smjera vožnje, ograničenja brzine i hijerarhije cesta (Xi et al., n.d.).

U suvremenom GIS-u razvijen je popriličan broj map-matching algoritama koji se razlikuju prema metodologiji i računalnoj složenosti. Među 3 najkorištenija razlikujemo geometrijski, topološki i probabilistički pristup. Geometrijski pristupi temelje se na prostornoj udaljenosti između GNSS točaka i cestovnih segmenata, ali često pokazuju ograničenu točnost u gusto izgrađenim urbanim područjima. Topološki algoritmi dodatno koriste informacije o povezanosti mreže i slijedu kretanja vozila, čime se smanjuju pogreške preskakanja segmenata i nepravilnih prijelaza. Probabilistički pristupi, osobito oni temeljeni na skrivenim Markovljevim modelima (HMM), uvode statističko modeliranje nesigurnosti mjerenja i vjerojatnosti prijelaza između segmenata, što se pokazalo iznimno učinkovitim kod obrade GNSS podataka prikupljenih pametnim telefonima (Stipancic et al., 2025).

Primjena map-matchinga u GIS sustavima nije ograničena isključivo na navigaciju. Tehnologija se koristi u planiranju prometne infrastrukture, optimizaciji javnog prijevoza, analizi prometnih tokova te razvoju sustava autonomne vožnje. Integracijom GNSS podataka, digitalnih karata i naprednih prostornih analiza GIS omogućuje pouzdano donošenje odluka temeljenih na stvarnim obrascima kretanja vozila, pri čemu map-matching predstavlja jednu od temeljnih komponenti suvremenih prostornih informacijskih sustava u području prometa i mobilnosti (Xi et al., n.d.).

3. Metodologija rada

3.1 Područje opažanja

Mjerenje je provedeno na području grada Zagreba, na trasi koja obuhvaća ulice Kačićeva, Nazorova, Tuškanac, Mesnička i Ilica, s povratkom na početnu točku u Kačićevoj ulici (*Slika*). Odabrana trasa prolazi kroz različite tipove gradskog okruženja, što je omogućilo dobar uvid u prikupljanje GNSS signala u različitim uvjetima.

Dio trase koji prolazi područjem Tuškancina karakterizira veća količina vegetacije i drveća, što može utjecati na kvalitetu GNSS prijema zbog djelomičnog zaklanjanja signala. Ostatak trase prolazi kroz gusto izgrađeni urbani prostor s višim zgradama i prometnijim ulicama, gdje su češće prisutni problemi povezani s refleksijom signala i smanjenom vidljivošću satelita. Takva kombinacija okolišnih uvjeta omogućila je realističan prikaz uvjeta u kojima se GNSS tehnologija koristi u svakodnevnoj navigaciji.

Mjerenje je provedeno 2. prosinca 2025. godine u razdoblju od približno 13:00 do 14:00 sati. Trasa je opažana pješice, a svi uređaji i aplikacije bili su aktivni istovremeno. Ukupna duljina prijedene trase iznosi približno 4 kilometra.



Slika 1. Zadano područje.

3.2 Korišteni uređaji i aplikacije

Za prikupljanje podataka korištena su dva pametna telefona različitih proizvođača te jedan GNSS uređaj.

Kao predstavnik iOS platforme korišten je iPhone 15 Pro, na kojem su istovremeno bile pokrenute aplikacije GPSTracks i OsmAnd. GPSTracks aplikacija korištena je za snimanje čistih GNSS signala dok je OsmAnd služila za bilježenje navigacijske trajektorije koja uključuje postupke map matchinga.

Uz iPhone, u mjerenje je uključen i Samsung Galaxy A14 5g, na kojem su korištene aplikacije GNSSLogger i OsmAnd, pri čemu je GNSSLogger služio za zapis čistih GNSS signala, a OsmAnd je korišten na jednak način kao i na iOS uređaju - za snimanje navigacijske trase. Time je omogućena usporedba podataka dobivenih na različitim mobilnim platformama i pomoću različitih aplikacija.

Tablica 1. Tehničke specifikacije korištenih mobilnih uređaja.

ZNAČAJKA	IPHONE 15 PRO	SAMSUNG GALAXY A14 5G
FREKVENCIJA	Dvofrekventan (L1 + L5)	Jednofrekventan (L1/E1/B1)
GNSS SUSTAVI	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, NavIC	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
SENZORI RELEVANTNI ZA NAVIGACIJU	Akcelerometar, žiroskop, digitalni kompas (magnetometar), barometar, LiDAR skener, senzor blizine, senzor ambijentalnog svjetla	Akcelerometar, žiroskop, magnetometar (digitalni kompas), senzor blizine, senzor ambijentalnog svjetla

Tehničke karakteristike oba uređaja, preuzete sa službenih web stranica proizvođača, dane su u *Tablica 1*. Njihovom usporedbom može se zaključiti da iPhone 15 Pro raspolaže naprednijim GNSS mogućnostima, uključujući dvofrekventno pozicioniranje i podršku za veći broj sustava te više senzora relevantnih za navigaciju dok Samsung Galaxy A14 5G predstavlja jednofrekventnu platformu s više ograničenim hardverskim mogućnostima za određivanje položaja.

Osim mobilnih uređaja, korišten je i GNSS prijemnik Topcon Hyper SR u vlasništvu Geodetskog fakulteta (tehničke specifikacije u *Tablica 2*), a za upravljanje mjerenjem i prikupljanje podataka na terenskom kontroleru korištena je aplikacija MAGNET Field.

Tablica 2. Specifikacije uređaja.

GNSS Tracking	
<i>Broj kanala</i>	226-channel Vanguard Technology™ s univerzalnim praćenjem
<i>GPS</i>	L1, L2, L2C
<i>GLONASS</i>	L1, L2
<i>SBAS</i>	L1 C/A WAAS/MSAS/EGNOS/GAGAN)
<i>QZSS</i>	L1 C/A
<i>Antena</i>	Fence Antenna™
Točnost pozicioniranja	
<i>Static/Fast Static</i>	H: 3.0 mm + 0.4 ppm V: 5.0 mm + 0.6 ppm
<i>Precise Static</i>	H: 3.0 mm + 0.1 ppm V: 3.5 mm + 0.4 ppm
<i>RTK (L1 + L2)</i>	H: 10 mm + 0.8 ppm V: 15 mm + 1.0 ppm
<i>DGPS</i>	H: 0.4 m V: 0.6 m
<i>SBAS</i>	H: 1.0 m V: 1.5 m

Osim navedenog, za obradu i analizu dobivenih podataka te vizualizaciju rezultata korišten je QGIS softver verzije 30.40.11.

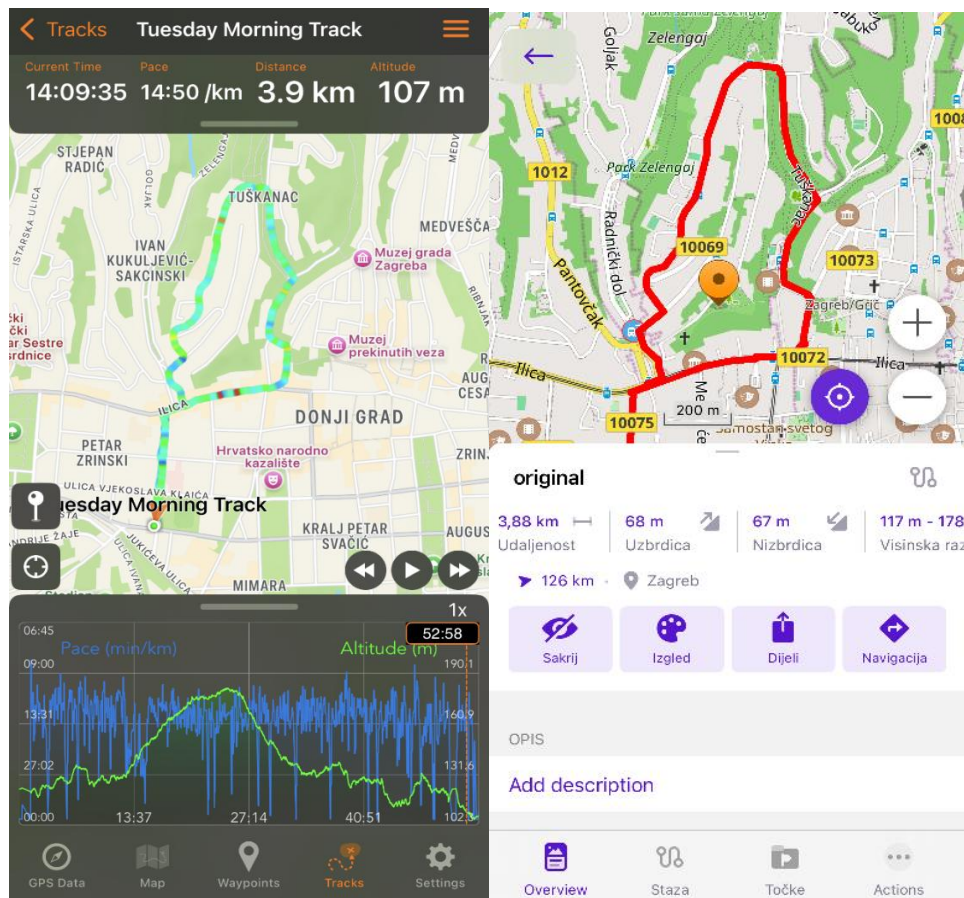
4. Prikupljanje podataka

Zadana trasa je prijeđena pješice, uz uobičajen tempo hoda, bez zaustavljanja ili velikih promjena brzine, osim u situacijama kada je to bilo nužno zbog prometnih uvjeta, poput zaustavljanja na pješačkim prijelazima i semaforima. Na taj način nastojalo se simulirati realne uvjete kretanja pješaka u urbanom okruženju.

Prije početka mjerenja obavljena je priprema postavki mobilnih aplikacija. Na aplikaciji GPSTracks postavljene su mjerne jedinice u metrima, a vrijednost parametra track filter radius postavljena je na 1 metar, čime se omogućilo bilježenje detaljne trajektorije kretanja.

U OsmAnd aplikaciji postavke zapisivanja bile su prilagođene tako da je interval bilježenja pozicije postavljen na 1 sekundu, opcija minimum displacement isključena, a kao profil kretanja odabran je pješak. Prag udaljenosti za map matching postavljen je na vrijednost od 10 metara.

Na Slika može se vidjeti kako izgledaju sučelja korištenih aplikacija za iPhone uređaj.



Slika 2. Sučelja GPSTracks i OsmAnd na iPhone uređaju nakon mjerenja.

GNSS uređaj korišten je paralelno s mobilnim uređajima, a mjerenje je praćeno putem pripadajućeg kontrolera. Svi uređaji prikupljali su podatke tijekom cijelog trajanja obilaska trase, čime je osigurana potpuna pokrivenost područja opažanja.

Podaci prikupljeni mobilnim uređajima izvezeni su u različitim formatima - iz GPSTracks aplikacije izvezena je .csv datoteka, iz GNSSLogger .txt, a zapisi OsmAnd aplikacija pohranjeni su u .gpx formatu. Iz GNSS uređaja dobiveni su RINEX podaci. Nakon završetka terenskog dijela, svi zapisi preneseni su na prijenosno računalo gdje su korišteni za daljnju obradu unutar GIS okruženja.

5. Obrada podataka

5.1 GPSTracks

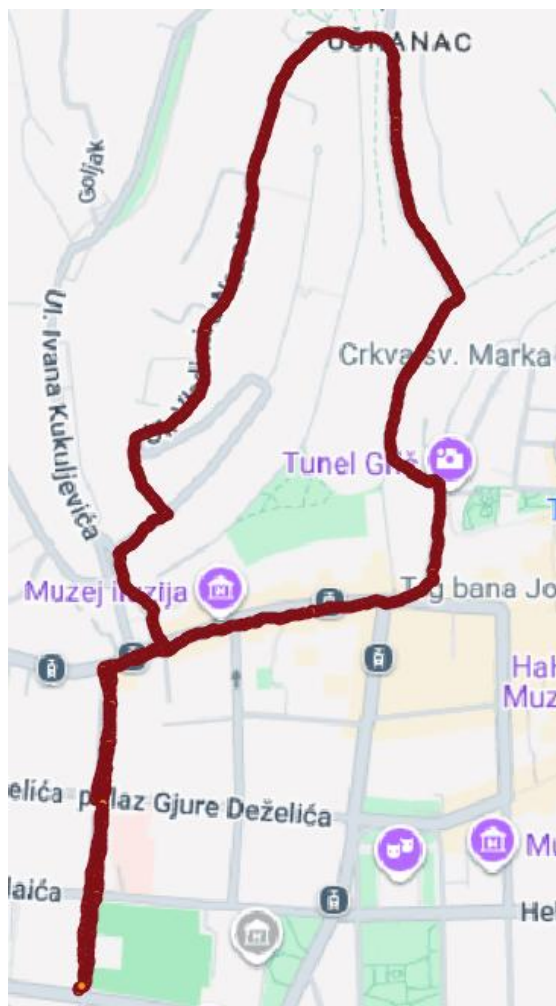
Podaci prikupljeni aplikacijom GPSTracks izvezeni su u .csv formatu koji sadrži zapise pojedinačnih GNSS mjerenja (*Slika*). Datoteka uključuje vremenske podatke zapisa (Date, Time), prostorne koordinate (Latitude, Longitude), nadmorsku visinu (Altitude) te procjene horizontalne i vertikalne točnosti (HorizontalAccuracy, VerticalAccuracy). Također su dostupni podaci o brzini i smjeru kretanja (Speed, Average Speed, Course, True Heading), dok stupac Heart Rate nije korišten u daljnjoj analizi.

Date(GMT)	Date(Local)	Time(sec)	Latitude	Longitude	HorizontalAccuracy(m)	Altitude(m)	Vertical Accuracy(m)	Distance(m)	Speed(m/s)	Average Speed(m/s)	Course(deg)	True Heading(deg)	Magnetic Heading(deg)	Heading Accuracy(deg)	Glide Ratio	Heart Rate (bpm)
2025-12-02T12:16:37Z	2025-12-02T13:16:37Z	0	45.8079	15.96364	10.342609898246026	120.935825	6.089691759609232	0	0	0	-1	42.0693550109863	36.92798614501953	11.26794434	1.98943372	0
2025-12-02T12:16:38Z	2025-12-02T13:16:38Z	0.5149569	45.8079	15.96364	10.450504865272537	120.923863	5.145585052389185	0	0.01714346	0	-1	47.5615425109863	42.42017364501953	11.271384239196777	1.94268102	0
2025-12-02T12:16:49Z	2025-12-02T13:16:49Z	11.513698	45.8079	15.96363	10.874759764370257	121.002681	4.747616328739196	1.007828934	0	0.0143993504093093	-1	41.7545967102050	36.61322784423828	11.322514533996582	1.15436850	0
2025-12-02T12:16:58Z	2025-12-02T13:16:58Z	20.517740	45.8079	15.96363	11.14188440814387	121.62144	6.090127408914843	2.082958451	0.0869909	0	-1	36.4921188354492	31.350749969482422	11.373932838439941	25.3720330	0
2025-12-02T12:17:02Z	2025-12-02T13:17:02Z	24.517732	45.8079	15.96363	11.139597719501104	121.631460	5.433300378	3.252871818	0.388798800	0	-1	36.4921188354492	31.350749969482422	11.373932838439941	4.29355655	0
2025-12-02T12:17:03Z	2025-12-02T13:17:03Z	25.517745	45.8079	15.96363	10.979962182721007	121.576738	5.574183000660564	4.353218990	0.8320283	0.1921417041816795	153.5995013	36.4921188354492	31.350749969482422	11.373932838439941	5.62441042	0
2025-12-02T12:18:00Z	2025-12-02T13:18:00Z	82.512861	45.8079	15.96364	12.896274067387802	119.469462	9.601578232237559	8.926852095	0	0	-1	36.4921188354492	31.350749969482422	11.373932838439941	0	0
2025-12-02T12:18:02Z	2025-12-02T13:18:02Z	84.514871	45.8079	15.96366	13.736711955384328	119.292776	6.502361587393641	10.64566308	0.763646316	0	58.54210800	36.4921188354492	31.350749969482422	11.373932838439941	-3.546713	0
2025-12-02T12:18:03Z	2025-12-02T13:18:03Z	85.515874	45.8079	15.96368	13.31657258404978	119.022076	5.885568707	12.11915270	1.220858138	2.054576332296677	53.15584959	36.4921188354492	31.350749969482422	11.373932838439941	-2.908775	0
2025-12-02T12:18:04Z	2025-12-02T13:18:04Z	86.516873	45.8079	15.9637	13.270843211741267	118.830376	5.985535381879232	14.21780459	1.383809285	2.054576332296677	45.80044445	36.4921188354492	31.350749969482422	11.373932838439941	-3.530029	0

Slika 3. Dobiveni podaci GPSTracks aplikacije.

Datoteka je učitana u QGIS pomoću alata Add Delimited Text Layer, pri čemu su kao prostorne koordinate definirani stupci koji sadrže vrijednosti geografske širine (Latitude) i geografske dužine (Longitude). Na taj način dobiven je točkasti sloj koji predstavlja sirovu GNSS trajektoriju, odnosno skup pojedinačnih pozicija zabilježenih tijekom kretanja.

Nakon učitavanja točkastog sloja provedena je reproprojekcija podataka iz koordinatnog sustava WGS84 u sustav HTRS96 kako bi se osigurala usklađenost s ostalim prostornim podacima korištenima u radu. Osim točkastog sloja, generiran je i linijski sloj. Na taj način omogućena je istovremena analiza čistih GNSS opažanja (prikazanih na *Slika*).

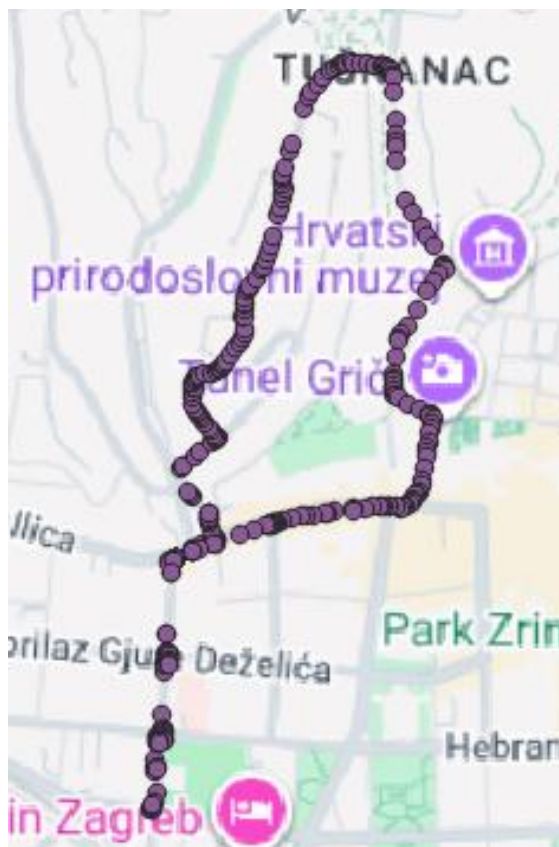


Slika 4. GPSTracks sloj.

5.2 OsmAnd Maps (iPhone)

Navigacijska trajektorija dobivena aplikacijom OsmAnd izvezena je u .gpx formatu. Ova datoteka sadrži prostorne zapise u obliku niza točaka povezanih u rutu, zajedno s pripadajućim položajnim informacijama.

Nakon učitavanja datoteke dobiven je točkasti sloj koji predstavlja pojedinačne zapise položaja, kao i linijski sloj koji prikazuje cjelokupnu navigacijsku trasu. Točkasti zapisi iz OsmAnd aplikacije (Slika) prostorno su raspoređeni uz cestovnu mrežu, što je rezultat primjene map matching-a unutar same aplikacije.

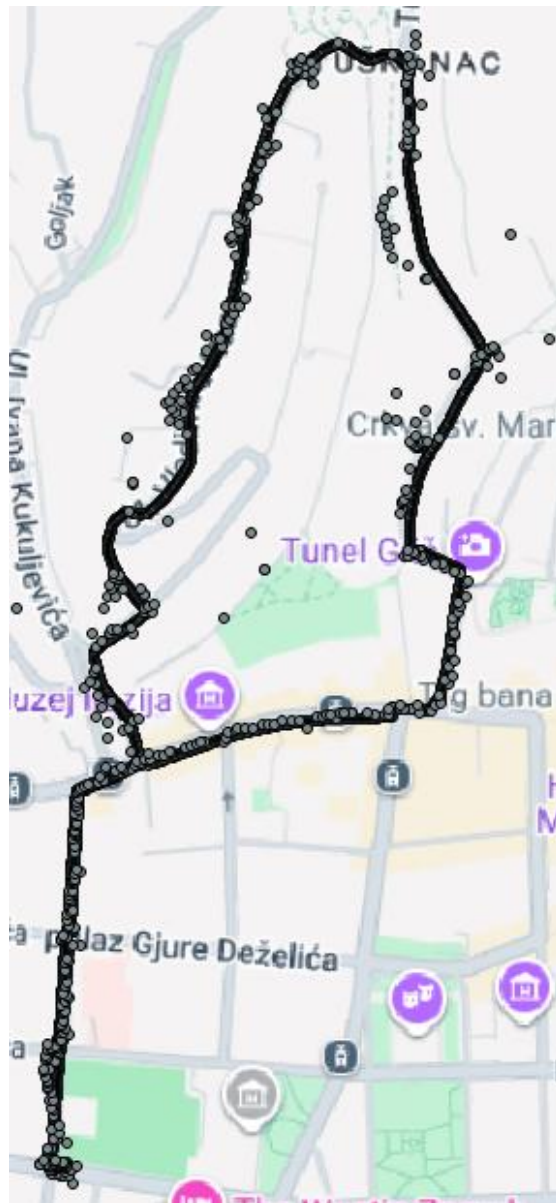


Slika 5. Točkasti sloj iz OsmAnd Maps (iPhone).

I u ovom slučaju je provedena reprojeckija slojeva iz koordinatnog sustava WGS84 u HTRS96. Time su stvoreni preduvjeti za daljnju prostornu analizu i usporedbu čistih GNSS mjerenja i navigacijskih rezultata uz primjenu map matching-a.

5.3 GNSSLogger

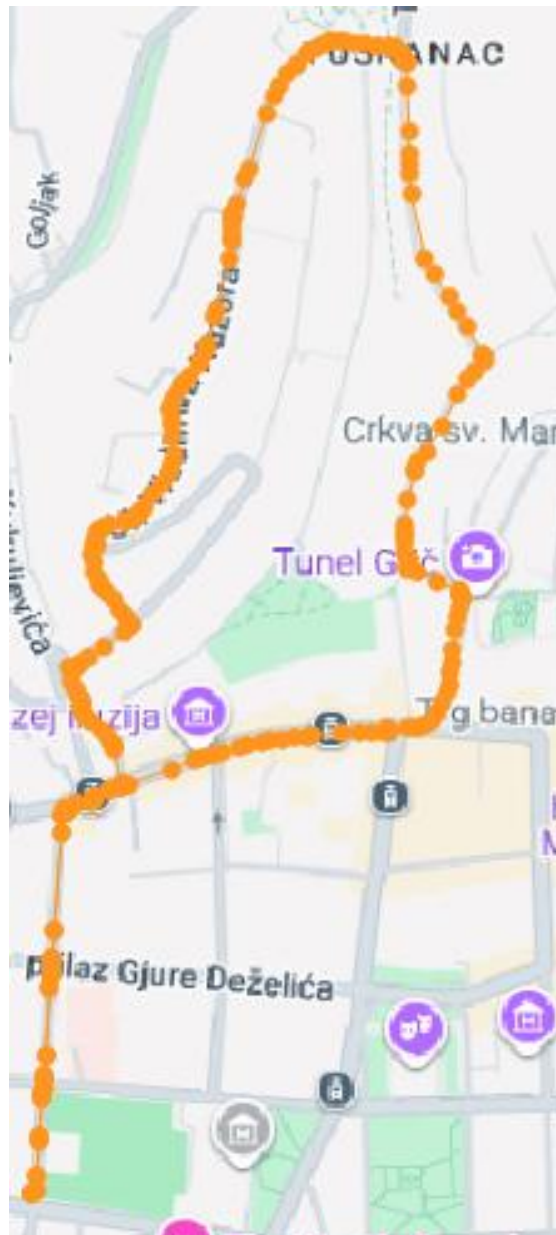
Aplikacijom GNSS Logger dobivena je opsežna .txt datoteka koja sadrži zapise položaja zajedno s pripadajućim atributima, poput geografskih koordinata, visine, brzine i procijenjene točnosti pozicioniranja. Iz datoteke su podaci učitani u QGIS kao Delimited Text Layer korištenjem stupaca za geografske koordinate te su naknadno reprojicirani iz koordinatnog sustava WGS84 u HTRS96 radi daljnje analize (Slika).



Slika 6. Podaci GNSSLogger aplikacije.

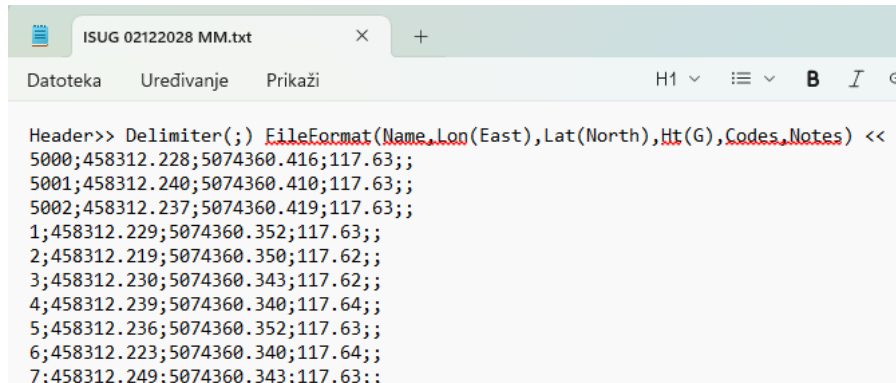
5.4 OsmAnd (Samsung)

Aplikacijom OsmAnd dobivena je .gpx datoteka koja sadrži zapise navigacijske trase u obliku točaka i linijskog prikaza kretanja. Datoteka je učitana u QGIS pomoću alata za učitavanje vektorskih podataka, pri čemu su automatski generirani točkasti i linijski sloj, nakon čega su podaci reprojicirani iz koordinatnog sustava WGS84 u HTRS96 radi ujednačavanja s ostalim korištenim podacima. Dobiveni rezultat prikazan je na *Slika 7*.



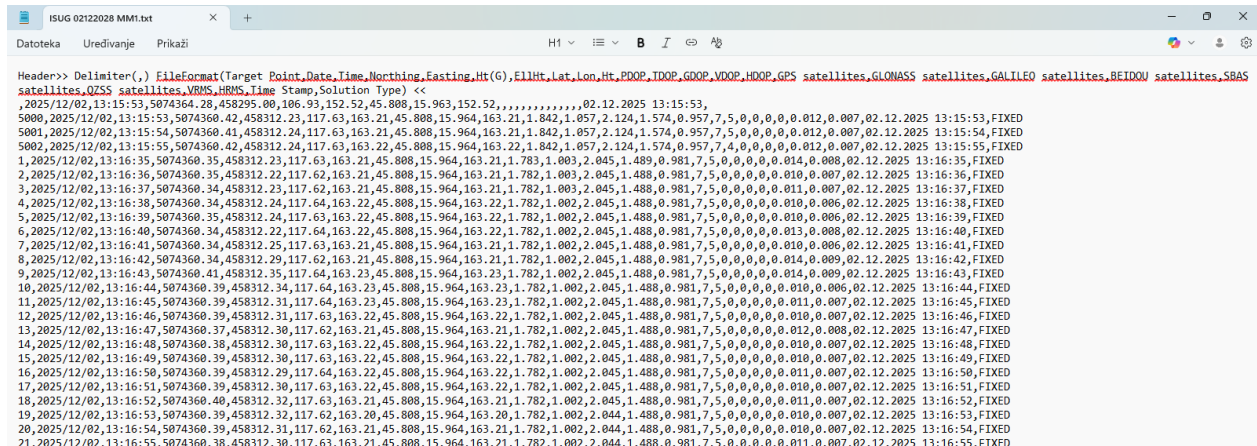
Slika 7. Podaci OsmAnd aplikacije (Samsung).

5.5 GNSS uređaj



```
ISUG 02122028 MM.txt
Datoteka Uređivanje Prikaži H1 B I G
Header>> Delimiter(;) FileFormat(Name, Lon(East), Lat(North), Ht(G), Codes, Notes) <<
5000;458312.228;5074360.416;117.63;;
5001;458312.240;5074360.410;117.63;;
5002;458312.237;5074360.419;117.63;;
1;458312.229;5074360.352;117.63;;
2;458312.219;5074360.350;117.62;;
3;458312.230;5074360.343;117.62;;
4;458312.239;5074360.340;117.64;;
5;458312.236;5074360.352;117.63;;
6;458312.223;5074360.340;117.64;;
7;458312.249;5074360.343;117.63;;
```

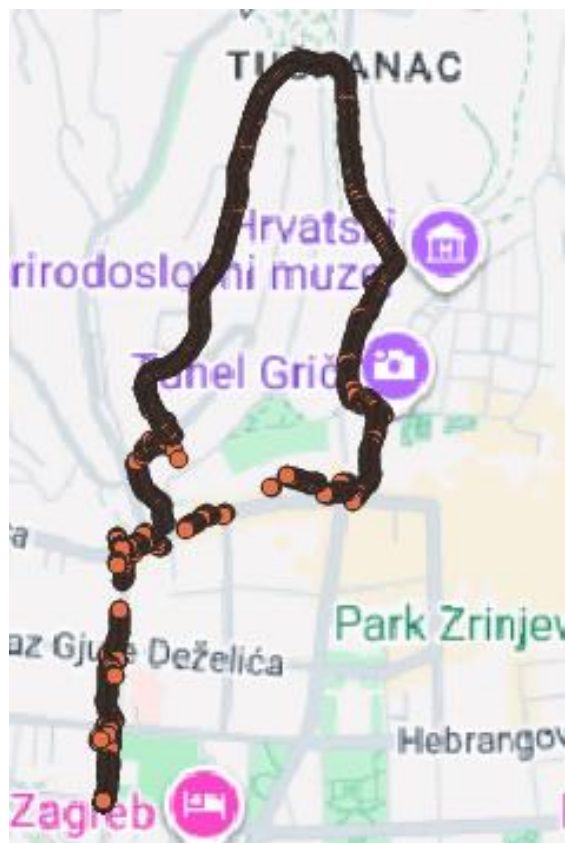
Slika 8. Podaci GNSS uređaja.



```
ISUG 02122028 MM1.txt
Datoteka Uređivanje Prikaži H1 B I G
Header>> Delimiter(,) FileFormat(Target Point, Date, Time, Northing, Easting, Ht(G), EllHt, Lat, Lon, Ht, PDDOP, IDOP, GDOP, VDOP, HDOP, GPS_satellites, GLONASS_satellites, GALILEO_satellites, BEIDOU_satellites, SBAS_satellites, QZSS_satellites, VMRS_HRMS, Time Stamp, Solution Type) <<
,02,12,2025 13:15:53,
5000,2025/12/02,13:15:53,5074360.42,458312.23,117.63,163.21,45.808,15.964,163.21,1.842,1.057,2.124,1.574,0.957,7.5,0,0,0,0.012,0.007,02.12.2025 13:15:53,FIXED
5001,2025/12/02,13:15:54,5074360.41,458312.24,117.63,163.21,45.808,15.964,163.21,1.842,1.057,2.124,1.574,0.957,7.5,0,0,0,0.012,0.007,02.12.2025 13:15:54,FIXED
5002,2025/12/02,13:15:55,5074360.42,458312.24,117.63,163.22,45.808,15.964,163.22,1.842,1.057,2.124,1.574,0.957,7.4,0,0,0,0.012,0.007,02.12.2025 13:15:55,FIXED
1,2025/12/02,13:16:35,5074360.35,458312.23,117.63,163.21,45.808,15.964,163.21,1.783,1.003,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.014,0.008,02.12.2025 13:16:35,FIXED
2,2025/12/02,13:16:36,5074360.35,458312.22,117.62,163.21,45.808,15.964,163.21,1.782,1.003,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.010,0.007,02.12.2025 13:16:36,FIXED
3,2025/12/02,13:16:37,5074360.34,458312.23,117.62,163.21,45.808,15.964,163.21,1.782,1.003,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.011,0.007,02.12.2025 13:16:37,FIXED
4,2025/12/02,13:16:38,5074360.34,458312.24,117.64,163.22,45.808,15.964,163.22,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.010,0.006,02.12.2025 13:16:38,FIXED
5,2025/12/02,13:16:39,5074360.35,458312.24,117.63,163.22,45.808,15.964,163.22,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.010,0.006,02.12.2025 13:16:39,FIXED
6,2025/12/02,13:16:40,5074360.34,458312.22,117.64,163.22,45.808,15.964,163.22,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.013,0.008,02.12.2025 13:16:40,FIXED
7,2025/12/02,13:16:41,5074360.34,458312.25,117.63,163.21,45.808,15.964,163.21,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.010,0.006,02.12.2025 13:16:41,FIXED
8,2025/12/02,13:16:42,5074360.34,458312.29,117.62,163.21,45.808,15.964,163.21,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.014,0.009,02.12.2025 13:16:42,FIXED
9,2025/12/02,13:16:43,5074360.41,458312.35,117.64,163.23,45.808,15.964,163.23,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.014,0.009,02.12.2025 13:16:43,FIXED
10,2025/12/02,13:16:44,5074360.39,458312.34,117.64,163.23,45.808,15.964,163.23,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.010,0.006,02.12.2025 13:16:44,FIXED
11,2025/12/02,13:16:45,5074360.39,458312.31,117.64,163.23,45.808,15.964,163.23,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.011,0.007,02.12.2025 13:16:45,FIXED
12,2025/12/02,13:16:46,5074360.39,458312.31,117.63,163.22,45.808,15.964,163.22,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.010,0.007,02.12.2025 13:16:46,FIXED
13,2025/12/02,13:16:47,5074360.37,458312.30,117.62,163.21,45.808,15.964,163.21,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.012,0.008,02.12.2025 13:16:47,FIXED
14,2025/12/02,13:16:48,5074360.38,458312.30,117.63,163.22,45.808,15.964,163.22,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.010,0.007,02.12.2025 13:16:48,FIXED
15,2025/12/02,13:16:49,5074360.39,458312.30,117.63,163.22,45.808,15.964,163.22,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.010,0.007,02.12.2025 13:16:49,FIXED
16,2025/12/02,13:16:50,5074360.39,458312.29,117.64,163.22,45.808,15.964,163.22,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.011,0.007,02.12.2025 13:16:50,FIXED
17,2025/12/02,13:16:51,5074360.39,458312.30,117.63,163.22,45.808,15.964,163.22,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.010,0.007,02.12.2025 13:16:51,FIXED
18,2025/12/02,13:16:52,5074360.40,458312.32,117.63,163.21,45.808,15.964,163.21,1.782,1.002,2.045,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.011,0.007,02.12.2025 13:16:52,FIXED
19,2025/12/02,13:16:53,5074360.39,458312.32,117.62,163.20,45.808,15.964,163.20,1.782,1.002,2.044,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.010,0.007,02.12.2025 13:16:53,FIXED
20,2025/12/02,13:16:54,5074360.39,458312.31,117.62,163.21,45.808,15.964,163.21,1.782,1.002,2.044,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.010,0.007,02.12.2025 13:16:54,FIXED
21,2025/12/02,13:16:55,5074360.38,458312.30,117.63,163.21,45.808,15.964,163.21,1.782,1.002,2.044,1.488,0.981,7.5,0,0,0,0.011,0.007,02.12.2025 13:16:55,FIXED
```

Slika 9. Podaci GNSS uređaja.

Za potrebe ovog rada podaci su učitani u QGIS koristeći stupce Lon i Lat, čime je dobiven točkasti sloj GNSS trajektorije s približno 2500 zapisa položaja (Slika). Iz točkastog sloja generiran je linijski sloj pomoću alata Points to Path, čime je dobiven kontinuirani prikaz putanje kretanja.



Slika 10. Točkasti sloj dobiven opažanjima GNSS uređaja.

6. Analiza podataka

6.1 Statistička analiza podataka

Prvi korak u analizi bio je statistički opis prikupljenih podataka kako bi se dobio uvid u kvalitetu zapisa i stabilnost mjerenja.

Za točkasti sloj dobiven aplikacijom GPSTracks provedena je statistička analiza procijenjene horizontalne pogreške (HorizontalAccuracy) korištenjem alata Statistics u programu QGIS (*Tablica*).

Tablica 3. Statistički pokazatelji GPSTracks podataka.

min [m]	max [m]	\bar{x} [m]	med. [m]	σ [m]
2.80	15.27	5.95	5.49	1.92
N	<5 m	< 1m	> 1m	
2586	40%	0%	100%	

Rezultati pokazuju da prosječna procijenjena horizontalna pogreška iznosi oko 6 m, dok je medijan vrlo slične vrijednosti (5.49 m), što upućuje na to da većina zapisa ima usporedivu razinu točnosti. Najveća zabilježena vrijednost prelazi 15 m, što se može povezati s dijelovima trase u kojima su uvjeti prijema signala bili nepovoljniji (uže ulice s visokim zgradama, gusta vegetacija). Analiza pragova pokazuje da se približno 40 % zapisa nalazi unutar granice od 5 m, dok nijedan zapis ne postiže točnost bolju od 1 m. Takav rezultat očekivan je za pješачko mjerenje pametnim telefonom u urbanim uvjetima, gdje zaklon satelita i refleksije signala negativno utječu na kvalitetu GNSS prijema.

Rezultati GNSSLogger aplikacije (*Tablica*), dobiveni pomoću Accuracy atributa, pokazuju da se većina zapisa nalazi u području male procijenjene pogreške, što potvrđuje niska vrijednost medijana (1.9 m) dok visoka maksimalna vrijednost i velika standardna devijacija upućuju na prisutnost pojedinih ekstremnih odstupanja. Takvo ponašanje tipično je za sirove GNSS podatke u urbanom okruženju, gdje povremeni gubici kvalitete signala mogu uzrokovati nagle skokove procijenjene točnosti.

Tablica 4. Statistički pokazatelji GNSSLogger podataka.

min [m]	max [m]	\bar{x} [m]	med. [m]	σ [m]
1.5	300.00	7.8	1.9	19.67
N	<5 m	< 1m	> 1m	
2636	83%	0%	100%	

Iako je velik udio zapisa unutar granice od 5 m, navedene vrijednosti treba tumačiti kao procjenu kvalitete pozicioniranja koju izračunava Android sustav, a ne kao stvarnu pogrešku u odnosu na referentnu poziciju. Prisutnost ekstremnih vrijednosti i visoka standardna devijacija ukazuju na povremene nestabilnosti GNSS signala.

Za podatke prikupljene uređajem Topcon Hyper SR provedena je statistička analiza parametra HRMS kao pokazatelja horizontalne pogreške (*Tablica*).

Tablica 5. Statistički pokazatelji Topcon Hyper SR podataka.

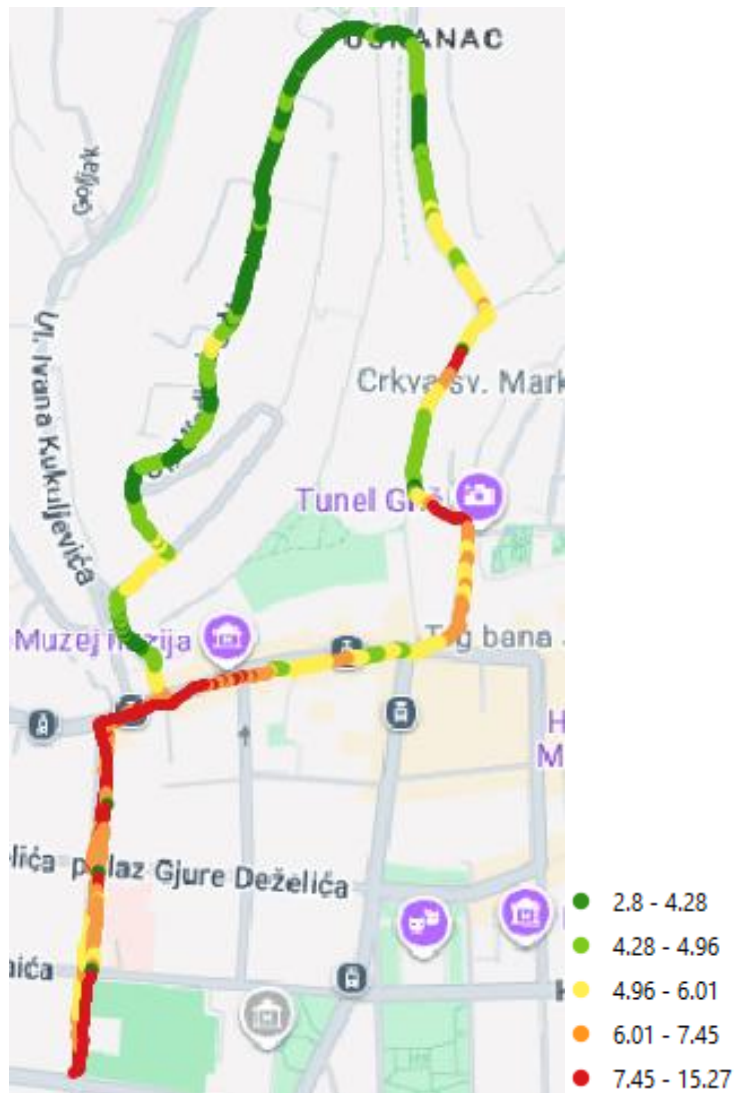
min [m]	max [m]	\bar{x} [m]	med. [m]	σ [m]
0.01	59.40	6.90	3.77	9.96
N	<5 m	< 1m	> 1m	
2480	58%	24%	76%	

Prosječna vrijednost iznosi oko 6.9 m, dok je medijan manji (3.77 m), što pokazuje da većina mjerenja ima bolju točnost, ali su prisutni i pojedini zapisi sa znatnim odstupanjima. Analiza pragova pokazuje da se oko 58 % zapisa nalazi unutar granice od 5 m, dok je približno 24 % mjerenja ostvarilo točnost bolju od 1 m. Time se potvrđuje da GNSS uređaj postiže bolju preciznost u odnosu na pametni telefon, ali da urbani uvjeti i zaklon satelita i dalje mogu negativno utjecati na kvalitetu prijema signala.

U usporedbi s podacima prikupljenima pametnim telefonima, GNSS uređaj Topcon pokazuje veći udio zapisa s visokom točnošću, posebice u kategoriji ispod 1 m, što potvrđuje prednost profesionalnog GNSS prijemnika u pogledu kvalitete mjerenja, unatoč izraženoj varijabilnosti u zahtjevnim urbanim uvjetima.

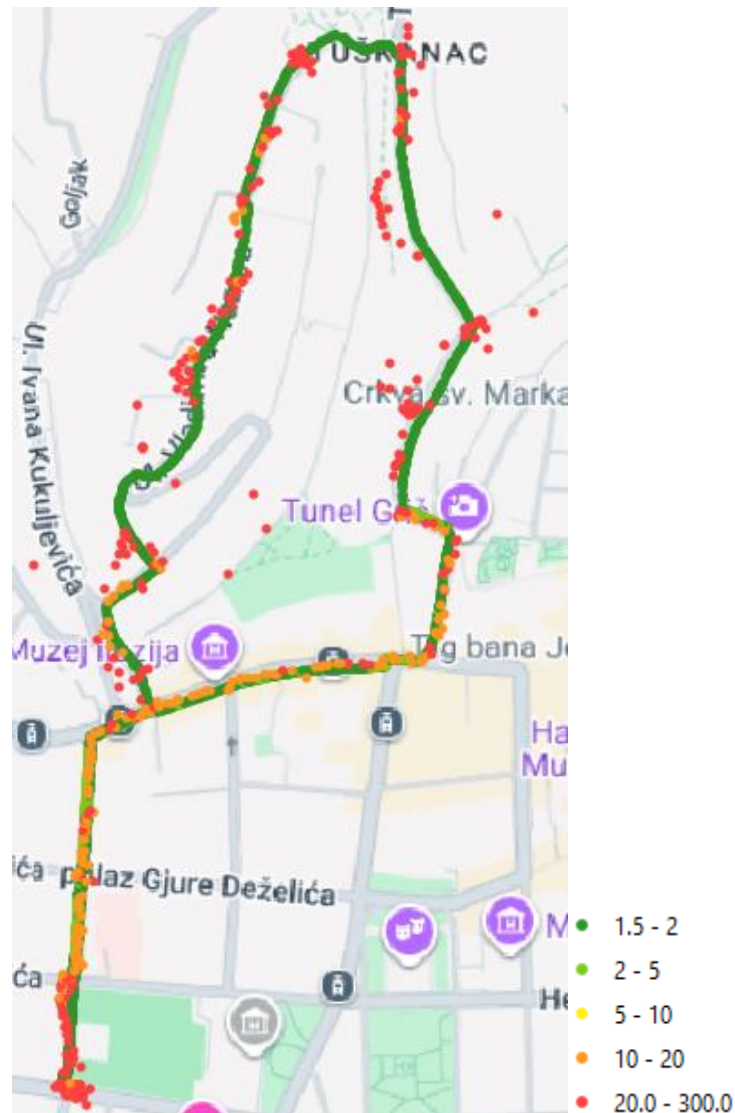
6.2. Vizualna analiza slojeva

Vizualizacijom HRMS vrijedosti sloja GPSTracks (Slika)može se vidjeti da se veće pogreške javljaju uglavnom na dijelovima trase koji prolaze kroz gušće izgrađena područja dok su manja odstupanja prisutna na otvorenijim dijelovima rute.



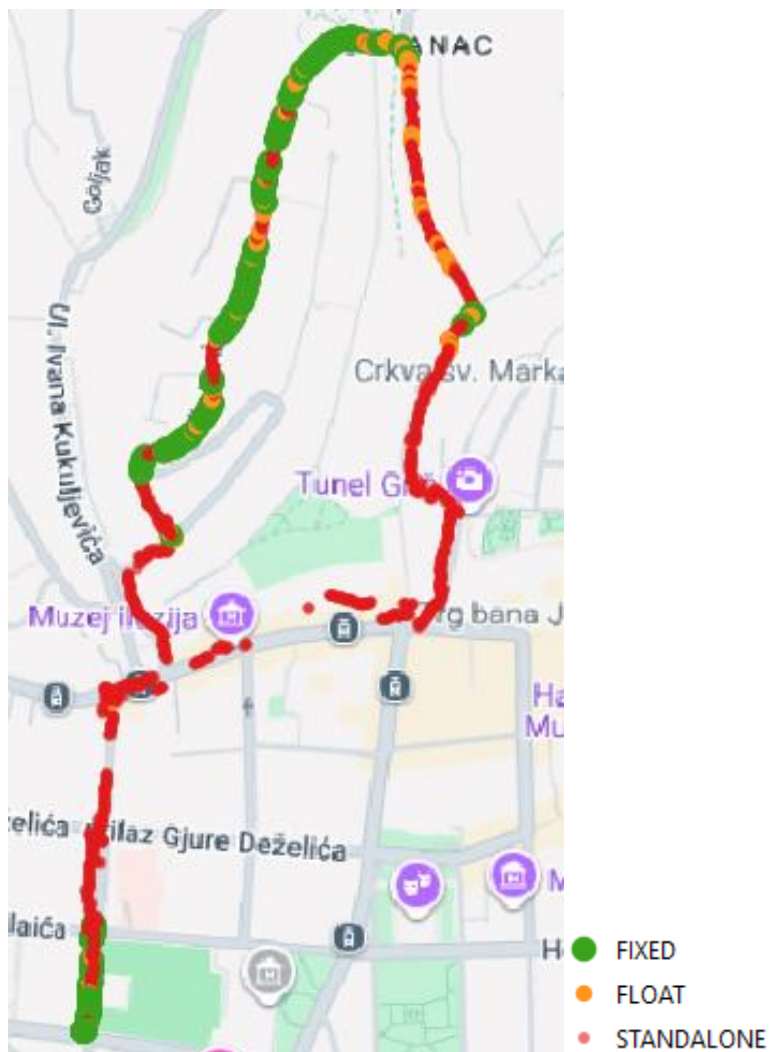
Slika 11. Stilizacija GPSTracks sloja prema HRMS vrijednosti.

Vizualizacija GNSSLogger podataka pokazuje da se većina zapisa nalazi u rasponu manje pogreške (ispod 5 m) dok se pojavljuju povremeno i veća odstupanja, što upućuje na utjecaj zaklona i refleksija signala.



Slika 12. Stilizacija GNSSLogger podataka prema Accuracy atributu.

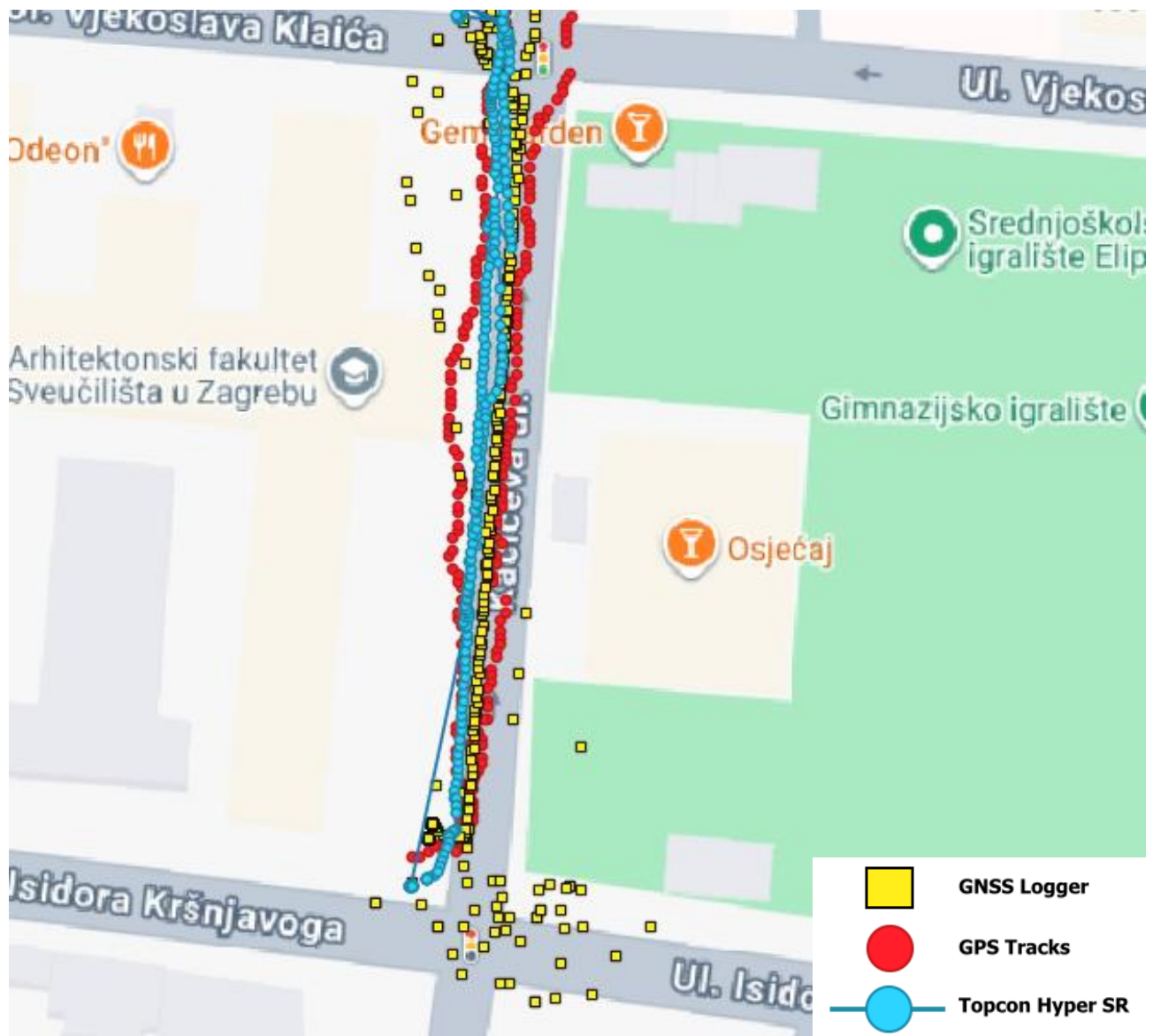
Prostorna raspodjela tipova GNSS rješenja (atribut Solution Type) sloja dobivenog Topcon uređajem pokazuje da veći dio trase ima FLOAT i STANDALONE rješenja, osobito na dijelovima s izraženim zaklonom i u užim ulicama (Slika). Stabilna FIXED rješenja pojavljuju se uglavnom na otvorenijim dijelovima trase, što potvrđuje snažan utjecaj okruženja na kvalitetu GNSS prijema.



Slika 13. Stilizacija Topcon podataka prema vrsti rješenja.

6.3. Usporedba po segmentima trase

Na sljedećim slikama bit će vizualno prikazani dobiveni rezultati po segmentima zadane trase (svaka slika predstavlja jednu zadanu ulicu). Žutim kvadratićima prikazan je trag dobiven GNSSLogger aplikacijom na Samsung uređaju, crvenim točkicama trag iPhone uređaja GPSTracks aplikacije, a plave točkice predstavljaju dobivene podatke Topcon Hyper SR uređaja.



Slika 14. Kačićeva ulica.



Slika 15. Ulica Vladimira Nazora.



Slika 16. Tuškanac



Slika 17. Mesnička ulica.



Slika 18. Ilica.

Vizualna usporedba trajektorija po pojedinim ulicama pokazuje jasne razlike između podataka dobivenih mobilnim uređajima i profesionalnim GNSS prijemnikom. Na dionicama poput Kačićeve i Mesničke ulice vidljivo je da trag iz GNSS Logger aplikacije (žuti simboli) pokazuje najveću raspršenost i veći broj izdvojenih točaka koje odstupaju od stvarne trase, dok su zapisi iz aplikacije GPSTracks na iPhone uređaju (crvene točke) stabilniji i bolje prate smjer kretanja.

Na dionici Tuškanca, gdje je prisutan veći zaklon vegetacijom, uočava se povećana varijabilnost položaja kod svih uređaja, pri čemu je raspršenost posebno izražena kod sirovih GNSS podataka mobilnih uređaja. Suprotno tome, u većem dijelu trase profesionalni GNSS uređaj Topcon (plava linija) pokazuje najkontinuiraniji i prostorno najstabilniji trag.

Iznimka se uočava na dijelu Ilice, gdje su podaci profesionalnog GNSS uređaja pokazali veća lokalna odstupanja u odnosu na ostale segmente trase. To se može povezati s prolaskom ispod skele i privremenih građevinskih konstrukcija (koje su se nalazile na obje strane ulice pa nije bilo izbora), koje su dodatno ograničile vidljivost neba i utjecale na kvalitetu GNSS prijema. Ovaj primjer jasno pokazuje koliko lokalni terenski uvjeti mogu utjecati na kvalitetu mjerenja, neovisno o korištenom uređaju.

Na sljedećim dvjema slikama prikazani su rezultati izračunati iz čistih signala satelita te oni dobiveni iz aplikacije OsmAnd Maps uz upotrebu map matching algoritama.

“Sirovi” tragovi prikazani su samo točkastim slojem, a map matching podaci su povezani linijskim segmentima kako bi bili lakše uočljivi zbog manjeg broja točaka.



Slika 19. Usporedba iPhone mjerenja s i bez map matching-a.



Slika 20. Usporedba Samsung mjerenja s i bez map matching-a.

Na prikazanoj dionici Ilice i području Britanskog trga jasno je vidljiv utjecaj primjene map-matching algoritama na stabilnost trajektorije kretanja. Kod iPhone uređaja sirovi GNSS zapisi (crvene točke) pokazuju relativno dobru usklađenost s cestovnom mrežom dok map-matching rezultat (zeleni trag) dodatno poravnava putanju i pozicionira je uz rub prometnice, odnosno uz pješačku stazu, što odgovara stvarnom načinu kretanja tijekom mjerenja.

Kod Samsung uređaja razlika između sirovih i obrađenih podataka još je izraženija. Sirovi GNSS zapisi (žuti simboli) pokazuju veću raspršenost i češća odstupanja, osobito na raskrižju Britanskog trga dok map-matching rezultat (narančasti trag) značajno poboljšava kontinuitet kretanja, ali pritom pozicionira trasu bliže sredini kolnika, unatoč odabranom pješačkom profilu. Ovakvo ponašanje upućuje na razlike u implementaciji navigacijskih algoritama i korištenim kartografskim podlogama između aplikacija i platformi.

7. Zaključak

Cilj ovog rada bio je ispitati kvalitetu GNSS podataka dobivenih pametnim telefonima, usporediti ih s profesionalnim GNSS uređajem te analizirati učinak map matching postupaka u mobilnim navigacijskim aplikacijama. Provedena statistička analiza pokazala je da mobilni uređaji ostvaruju promjenjivu razinu točnosti, pri čemu je iPhone uređaj pokazao stabilnije rezultate u odnosu na Samsung, dok je profesionalni GNSS prijemnik Topcon Hyper SR ostvario najveći udio zapisa s većom razinom točnosti, posebno u rasponu ispod 1 m.

Bolja stabilnost iPhone zapisa može se povezati s podrškom za dvofrekventni GNSS prijem, koji omogućuje otporniji prijem signala i bolju kvalitetu pozicioniranja u urbanim uvjetima. Samsung uređaj, iako sposoban za prikupljanje velikog broja zapisa visoke vremenske rezolucije, pokazao je veću varijabilnost sirovih GNSS podataka, osobito na dionicama s otežanim prijemom signala.

Vizualna analiza trajektorija dodatno je potvrdila ove razlike. Sirovi GNSS zapisi s mobilnih uređaja pokazali su veću raspršenost, osobito u urbanim dijelovima trase poput Mesničke ulice i područja Britanskog trga. Na dionici Tuškanca vidljiv je utjecaj vegetacije na kvalitetu prijema, dok su na dijelu Ilice zabilježena veća odstupanja i kod profesionalnog GNSS uređaja zbog prolaska ispod građevinske skele.

Kod profesionalnog GNSS uređaja treba uzeti u obzir i način izvođenja mjerenja. Tijekom terenskog rada kretanje je bilo kontinuirano, bez zaustavljanja na dionicama sa slabijim signalom, a antena se pritom stalno pomicala, što je moglo dodatno utjecati na stabilnost rješenja. U slučaju kraćih zaustavljanja i omogućavanja stabilizacije prijema, osobito na dijelovima s standalone rješenjem, moguće je da bi ostvarena točnost bila još bolja.

Primjena map matching algoritama pokazala se kao važan korak u obradi podataka. Kod oba mobilna uređaja dobiveni su stabilniji i vizualno konzistentniji tragovi, pri čemu je poboljšanje bilo izraženije kod Samsunga zbog veće nestabilnosti sirovih GNSS zapisa. Kod iPhone uređaja map matchani trag bio je bolje prilagođen stvarnom pješačkom kretanju uz rub prometnice, dok su kod Samsunga map matchani zapisi češće bili pozicionirani prema sredini kolnika, unatoč korištenju pješačkog profila.

Na temelju provedenih analiza može se zaključiti da pametni telefoni omogućuju zadovoljavajuću razinu GNSS pozicioniranja za navigacijske i opće korisničke primjene, ali ne mogu u potpunosti zamijeniti profesionalne GNSS uređaje u situacijama gdje je potrebna veća prostorna točnost. Rezultati rada potvrđuju da kombinacija kvalitetnog GNSS prijema, odgovarajuće metodologije terenskog mjerenja i GIS metoda obrade,

posebno map matching postupaka, ima ključnu ulogu u pouzdanosti mobilnih navigacijskih sustava.

8. Literatura

- Aicardi I., Dabove P. , Lingua A., Piras M. 2014. Sensors integration for smartphone navigation: Performances and future challenges, The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-3(3), https://www.researchgate.net/publication/268780362_Sensors_integration_for_smartphone_navigation_Performances_and_future_challenges
- Raufu I.O., Adewole B.E., Tata H., Olaoye C.A., 2025. Accuracy and Reliability of Smartphones GNSS Applications: A Comparative Study with Handheld GPS Device for Position Determination, https://www.researchgate.net/publication/392758423_Accuracy_and_Reliability_of_Smartphones_GNSS_Applications_A_Comparative_Study_with_Handheld_GPS_Device_for_Position_Determination
- Stipancic J., Saunierb N., Navidib N., Racinec E.B., Miranda-Moreno L., Labbe A., Evaluating Map Matching Algorithms for Smartphone GNSS Data: Matching Vehicle Trajectories to an Urban Road Network, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146524003430>
- Xi L., Liu Q., Li M., Liu Z., Map Matching Algorithm and Its Application, https://www.researchgate.net/publication/266043254_Map_Matching_Algorithm_and_Its_Application
- Topcon Corporation. (2017). HiPer SR: Extended range site receiver, https://www.topconpositioning.com/content/dam/topcon_digital_asset_hub/collateral/brochures/HiPerSR_Broch_7010-2108_TEAM_EN_US_HiRes.pdf
- URL 1: <https://www.samsung.com/ae/business/smartphones/galaxy-a/galaxy-a14-5g-black-128gb-sm-a146pzkgmea/>
- URL 2: <https://support.apple.com/en-us/111829>

9. Popis slika

Slika 1. Zadano područje.....	8
Slika 2. Sučelja GPSTracks i OsmAnd na iPhone uređaju nakon mjerenja.	11
Slika 3. Dobiveni podaci GPSTracks aplikacije.	13
Slika 4. GPSTracks sloj.	14
Slika 5. Točkasati sloj iz OsmAnd Maps (iPhone).	15
Slika 6. Podaci GNSSLogger aplikacije.	16
Slika 7. Podaci OsmAnd aplikacije (Samsung).	17
Slika 8. Podaci GNSS uređaja.	18
Slika 9. Podaci GNSS uređaja.	18
Slika 10. Točkasti sloj dobiven opažanjima GNSS uređaja.	19
Slika 11. Stilizacija GPSTracks sloja prema HRMS vrijednosti.	22
Slika 12. Stilizacija GNSSLogger podataka prema Accuracy atributu.	23
Slika 13. Stilizacija Topcon podataka prema vrsti rješenja.	24
Slika 14. Kačićeva ulica.....	25
Slika 15. Ulica Vladimira Nazora.	26
Slika 16. Tuškanac.	27
Slika 17. Mesnička ulica.....	28
Slika 18. Ilica.....	29
Slika 19. Usporedba iPhone mjerenja s i bez map matching-a.	30
Slika 20. Usporedba Samsung mjerenja s i bez map matching-a.	31

10. Popis tablica

Tablica 1. Tehničke specifikacije korištenih mobilnih uređaja.....	9
Tablica 2. Specifikacije Topcon Hyper SR uređaja.....	10
Tablica 3. Statistički pokazatelji GPSTracks podataka.....	20
Tablica 4. Statistički pokazatelji GNSSLogger podataka.....	20
Tablica 5. Statistički pokazatelji Topcon Hyper SR podataka.	21