

Sveučilište u Zagrebu

Geodetski fakultet

Goran Herceg, Josipa Humski

Ispitivanje inercijalne mjerne jedinice na horizontalnom pravcu s 4 različite brzine gibanja

Zagreb, 2025.

SADRŽAJ

1 SAŽETAK	3
2 UVOD	4
3 OBRADA TEME RADA	5
3.1 INS/GNSS uređaj	5
3.2 Prateća oprema i softver	8
3.2.1 Spatial Manager.....	8
3.2.2 Postavljanje softvera.....	9
4 METODOLOGIJA.....	10
4.1 Područje mjerenja.....	10
4.2 Prikupljanje podataka	11
4.3 Postavljanje uređaja i uvjeti mjerenja.....	12
4.4 Konverzija i obrada podataka	12
4.5 Analiza prikupljenih podataka.....	13
5 REZULTATI.....	14
5.1 Podaci mjerenja prikupljeni sporim hodanjem	17
5.2 Podaci mjerenja prikupljeni brzim hodanjem	23
5.3 Podaci mjerenja prikupljeni tramvajem.....	28
5.4 Podaci mjerenja prikupljeni automobilom.....	32
6 DISKUSIJA.....	37
6.1 Analiza podataka sporog hoda	37
6.2 Analiza podataka brzog hoda	38
6.3 Analiza podataka prikupljenih tramvajem	39
6.4 Analiza podataka prikupljenih automobilom.....	41
7 ZAKLJUČAK.....	43
8 POPIS LITERATURE.....	45
9 IZVORNICI.....	46

1. SAŽETAK

Unutar ovog rada ispituje se preciznost i točnost mjerenja inercijalne mjerne jedinice (IMU) na horizontalnom pravcu unutar urbane sredine pri četiri različite brzine gibanja: sporom i brzom hodanju, vožnji tramvajem i automobilom. Podaci su prikupljeni u urbanim uvjetima, gdje su uzeti u obzir faktori poput prometa, infrastrukturnih značajki i vanjskih smetnji. Korištenjem IMU tehnologije, uspoređeni su rezultati mjerenja za svaku brzinu gibanja i analizirani utjecaji vanjskih čimbenika na preciznost podataka. Rezultati pokazuju da su podaci prikupljeni pri hodanju, unatoč većim odstupanjima od idealne trajektorije, i dalje bili korisni za daljnje analize. S druge strane, podaci prikupljeni tramvajem i automobilom pokazali su visoku preciznost, ali i osjetljivost na vibracije i promjene u uvjetima gibanja, poput prometa ili zaustavljanja na semaforima. Istraživanje daje smjernice za optimizaciju IMU mjerenja u urbanim uvjetima i upućuje na važnost prilagodbe tehnologije specifičnim uvjetima različitih brzina gibanja.

KLJUČNE RIJEČI

Inercijalna mjerna jedinica, gnss, imu, brzine gibanja, geodezija, preciznost mjerenja, vanjski čimbenici, tehnologija mjerenja

2. UVOD

Suvremeni tehnološki napredak značajno je utjecao na sve grane znanosti, uključujući geodeziju, gdje se sve češće primjenjuju računalne tehnologije i inovativni senzori. Jedan od ključnih tehnoloških uređaja koji se sve više koristi u različitim područjima geodezije je inercijalna mjerna jedinica (IMU). Ovi “uređaji”, često temeljeni na MEMS (eng. *Micro-Electro-Mechanical Systems*) tehnologiji, omogućuju autonomno praćenje kretanja te pružaju podatke o ubrzanju, kutnim brzinama i orijentaciji, što ih čini važnim alatom pri različitim geodetskim i navigacijskim aplikacijama.

Tema ovog rada usmjerena je na ispitivanju performansi inercijalne mjerne jedinice pri horizontalnom kretanju s različitim brzinama gibanja. Istraživanje je provedeno na trasi koja obuhvaća dionicu od tramvajske stanice Sveučilišna aleja do tramvajske stanice Kruga, odnosno od križanja Ulice Vukovarska i Ulice Ivana Lučića do križanja Vukovarske ulice i Kruga. Ukupna duljina ove trajektorije iznosi približno 1100 metara, što omogućava detaljnu analizu podataka prikupljenih tijekom kretanja.

U sklopu istraživanja odabrane su četiri brzine gibanja: hodanje (sporo), hodanje (brzo), vožnja tramvajem i vožnja automobilom. Ove brzine osmišljene su kako bi simulirale različite stvarne scenarije upotrebe, pružajući širok spektar uvjeta za analizu performansi uređaja.

Eksperimentalni dio rada uključuje prikupljanje podataka, njihovu obradu te analizu rezultata s ciljem procjene preciznosti i stabilnosti IMU-a u različitim dinamičkim uvjetima. Posebna pažnja posvećena je utjecaju brzine gibanja na kvalitetu prikupljenih podataka, uz osvrt na izazove i ograničenja u praktičnoj primjeni.

Rad je strukturiran na način da kroz teorijski pregled, opis metode i eksperimentalnu analizu pruži cjelovito razumijevanje mogućnosti primjene inercijalne mjerne jedinice u geodetskoj praksi. Očekuje se da će dobiveni rezultati doprinijeti boljem razumijevanju mogućnosti i ograničenja ovih uređaja, te potaknuti njihovu daljnju optimizaciju u primjeni.

3. OBRADA TEME RADA

Predmet ovog rada je istražiti kako se inercijalna mjerna jedinica ponaša u različitim situacijama. Istražuju se mogućnosti i ograničenja navigacije s INS/GNSS uređajem naziva *Spatial*. Unutar ovog istraživanja, inercijalna mjerna jedinica testirana je s obzirom na četiri različite brzine gibanja na horizontalnom pravcu duljine 1 kilometar.

Instrumentarij potreban za izvođenje ovog istraživanja i donošenje kvalitetnih zaključaka i rezultata vezanih uz isto je:

- INS/GNSS uređaj naziva *Spatial*,
- antena INS/GNSS uređaja,
- serijski kabel za spoj na računalo,
- prijenosno računalo,
- i štamp za GNSS antenu.

3.1 INS/GNSS uređaj

Navedeni uređaj (slika 1) ključan je za prikupljanje podataka mjerenja i donošenje zaključaka. INS/GNSS uređaj jedan je od proizvoda tvrtke *Advanced Navigation*, čije sjedište se nalazi u Australiji. Uređaj je veličine tek nekoliko centimetara te je težak samo 37 grama. Uređaj unutar sebe sadrži akcelerometre, žiroskope i magnetometre te senzor za mjerenje tlaka zraka. Sam uređaj se temelji na MEMS tehnologiji. Svi senzori unutar uređaja izrađeni su od kvarca ili silikona. Uz uređaj se koristi i multikonstelacijska GNSS antena IP67. GNSS antena ima jednu stranu izrađenu od metala koji posjeduje magnetska svojstva te se vrlo lako može pričvrstiti uz bilo koji drugi metal s istim karakteristikama. Pomoću antene moguć je prijem signala različitih sustava kao što su GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou. Također, antena podržava prijem signala sustava poboljšanih točnosti SBAS. Antena može primati samo L1 nosač, dok precizno pozicioniranje s njom nije moguće. Uz uređaj i njegove funkcionalnosti dolaze antenski kabel i serijski kabel. Antenski kabel dug je nekoliko metara te omogućuje spoj antene s uređajem, dok serijski kabel omogućuje spoj uređaja s prijenosnim računalom (Horvat, 2014).

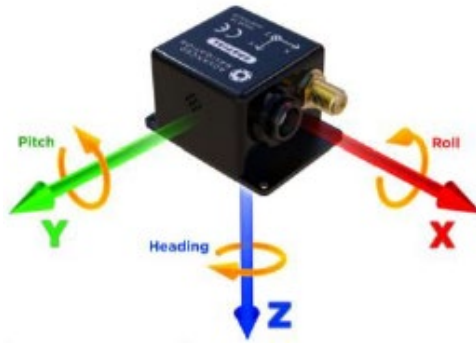
Kako bi uređaj ispravno radio moraju se zadovoljiti neki uvjeti: treba ga postaviti izvan područja velikih vibracija, treba ga postaviti na područje gdje se neće premašiti dozvoljeni

temperaturni raspon (od -40 C do 85 C), ako je u filtru korištena atmosferska visina potrebno je osigurati da dva utora s lijeve i desne strane uređaja budu nepokrivena, ako filtar koristi magnetsku orijentaciju potrebno je osigurati da bude najmanje udaljen 10 centimetara od izvora magnetskog utjecaja, što se posebice odnosi na dinamičke izvore zračenja, ako je moguće potrebno je uređaj postaviti u neposrednu blizinu gravitacijskog centra vozila te ukoliko je moguće montirati uređaj na nekoliko metara od pripadne GNSS antene (Nevistić, 2024).



Slika 1. Spatial uređaj tvrtke Advanced Navigation

Koordinatni sustav uređaja definiraju tri osi: X, Y i Z. Ishodišna točka koordinatnog sustava nalazi se u samom uređaju. Sustav definiran na prethodno navedeni način ima za posljedicu da orijentacije njegovih osi korisnik u početku može proizvoljno definirati ili su one orijentirane u nekom zadanom smjeru. Također, ovakva postavka ovisi o cilju koji se želi postići mjerenjem. Preporuča se da X os bude usmjerena u smjeru hodanja ili smjeru kretanja vozila, Z os u smjeru nadira, tj. prema tlu, dok Y os s prethodne dvije navedene osi zatvara desni koordinatni sustav. Na *slici 2* može se vidjeti kako bi usmjerenja koordinatnih osi trebala izgledati. Ovim sustavom postiže se orijentacija uređaja opisana po modelu tri kuta: nagib (*roll*), posrtanje (*pitch*) i skretanje (*heading/yaw*) koji su poznatiji pod imenom Eulerovi kutovi. Nagib je definiran oko X osi, posrtanje oko Y osi, dok je skretanje definirano oko Z osi (*slika 2*). (Nevistić, 2024)



Slika 2. Koordinatne osi i tri kuta rotacije *Spatial* uređaja (Nevistić, 2024)

Unutar uređaja, žiroskop mjeri kutne brzine koje se tako integrirane koriste za dobivanje visoko-preciznih rješenja visina. Magnetometar daje podatke skretanja, dok akcelerometar mjeri linearno ubrzanje kretanja i ubrzanje nastalo utjecajem gravitacije. GNSS pomoću navigacijskih poruka daje sustavu poziciju, brzinu i vrijeme. Navigacijske specifikacije *Spatial* INS/GNSS uređaja (deklarirane od strane proizvođača) mogu se vidjeti na slici 3. (Nevistić, 2024)

Parametar	Vrijednost parametra
Horizontalna točnost	2,0 m
Vertikalna točnost	3,0 m
Horizontalna točnost (s DGNS–om)	0,6 m
Vertikalna točnost (s DGNS–om)	1,0 m
Točnost brzine	0,05 m/s
Točnost ljuľanja i posrtanja (eng. roll i pitch) – statička	0,1 °
Točnost zakretanja (eng. heading) – statička	0,5 °
Točnost ljuľanja i posrtanja (eng. roll i pitch) – dinamička	0,2 °
Točnost zakretanja (eng. heading) – dinamička s DGNS–om	0,2 °
Točnost zakretanja (dinamički i samo magnetski)	0,8 °
Unutarnji filter (frekvencija rada)	1000 Hz Interval pohrane 1 s
Izlazni podaci (frekvencija)	Do 1000 Hz

Slika 3. Navigacijske specifikacije *Spatial* INS/GNSS uređaja (Nevistić, 2024)

3.2 Prateća oprema i softver

Osim INS/GNSS uređaja, antene, antenskog kabela i serijskog kabela, za uspješno izvođenje mjerenja i prikupljanja podataka potrebno je imati prijenosno računalo. Prijenosno računalo samo po sebi nije dovoljno. Prije početka mjerenja, potrebno je na prijenosno računalo preuzeti softver *Spatial Manager*, instalirati FTDI drivere, instalirati *Javu* te program *PNP Blocker*. Softver sam po sebi omogućava uključivanje i pokretanje mjerenja te naposljetku njihovo konvertiranje i prevođenje u čitljivi oblik. Također, prijenosno računalo ne zna čitati podatke dobivene od *Spatial* uređaja te je potrebno instalirati drivere koji će omogućiti navedeno. *Driveri* u većini slučajeva bivaju automatski preuzeti čim se uređaj serijskim kabelom poveže s računalom, međutim mogu se preuzeti i ručno putem hiperveze (URL 1). *Java* mora također biti preuzeta i instalirana jer bez nje softver ne može raditi. Naposljetku, potrebno je preuzeti i *PNP Blocker* (URL 2).

3.2.1 Spatial Manager

Kao što je i navedeno, *Spatial Manager* je softver koji se koristi za pokretanje *Spatial* uređaja te pokretanje prikupljanja podataka i za kasniju konverziju istih. On je jedan od brojnih softvera i programa izdan od strane tvrtke *Advanced Navigation*. Koristi se i nudi testiranje, konfiguraciju i pohranjivanje prikupljenih podataka. Softver se može preuzeti sa službenih internetskih stranica tvrtke *Advanced Navigation* (URL 3).

Za pokretanje softvera nije potrebna instalacija. Nakon njegovog preuzimanja sa službenih stranica potrebno je raspakirati preuzetu datoteku ekstenzije *.zip*. Unutar raspakirane datoteke nalazi se datoteka ekstenzije *.jar*, koju je potrebno premjestiti u neku novo kreiranu mapu. Ovaj korak je vrlo bitan jer će se u mapu u koju spremimo softver kasnije spremati svi podaci mjerenja. Jedino što je potrebno za pokretanje i otvaranje softvera je instalirana *Java*. Softver omogućuje kreiranje postavki prije samog izvođenja mjerenja, praćenje mjerenja u realnom vremenu te nakon toga ispis podataka u tekstualnoj datoteci. Sučelje se sastoji od pet izbornika unutar kojih se nalaze grafički dijelovi koji omogućuju lakšu vizualnu predodžbu praćenja podataka u realnom vremenu. (Nevistić, 2024) Glavno sučelje softvera prikazano je na slici 4.



Slika 4. Glavno sučelje softvera Spatial Manager

3.2.2 Postavljanje softvera

Ako su zadovoljeni svi prethodni uvjeti, preuzet je softver, *Java*, *PNP blocker* te *driveri*, može se pristupiti konačnom postavljanju softvera. Prije početka mjerenja potrebno je u postavkama prijenosnog računala, pod odjeljkom upravitelj uređaja pronaći USB konektore te promijeniti ratu komunikacije (*Baud rate*) na 19200 te *Latency* na 1. *Baud rate* označava brzinu prijenosa kojom se informacije prenose u komunikacijskom kanalu, dok *Latency* označava vrijeme potrebno da podaci prijeđu s jedne točke na drugu. Nakon što je i to zadovoljeno, moguće je krenuti s opažanjima. *Spatial Manager* je tako u potpunosti spreman za rad. INS/GNSS uređaj započinje s prikupljanjem podataka jednostavnim klikom na naredbu *Connect*. Kako bi prikupljeni podaci bili kvalitetni, nakon klika na naredbu svi indikatori unutar sučelja prikazanog na slici 4 moraju biti zelene boje. Ukoliko to nije slučaj, potrebno je provesti ispitivanje koji je razlog pogreške. Ako se u uređaju ne prikazuje *Fixed*, što znači da je pozicija fiksirana, tada je potrebno pustiti uređaj da opaža 10-ak minuta na čistini i pričekati da bude vidljivo minimalno 5 satelita, bez SBAS-a. Ukoliko se na sučelju za prikaz horizontalnosti uređaja vide čudni podaci, potrebno je provesti postupak magnetske kalibracije. Magnetska kalibracija zahtijeva sljedeće radnje: mirno i što horizontalnije držati spojeni uređaj na računalo te ga ostaviti nekoliko minuta da se temperatura i filter stabiliziraju, uključiti *Spatial Manager* softver, ući u izbornik *Magnetic Calibration*, kliknuti *Start 2D Calibration*, napraviti s

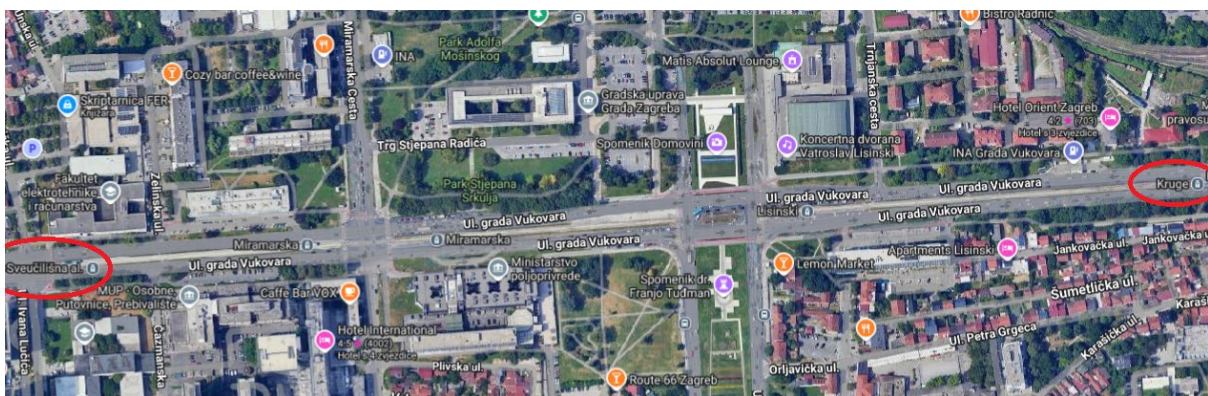
uređajem krug i jednu četvrtinu kruga te provjeriti je li kalibracija uspješno obavljena. Ako nije, potrebno je ponoviti posljednje tri radnje. (Nevistić, 2024)

Zatim započinje kretanje po definiranoj ruti za prikupljanje podataka. Prilikom svakog pritiska na naredbu *Connect* u datoteci u kojoj je spremljen Spatial Manager stvara se nova datoteka ekstenzije *.anpp* (*Advanced Navigation Packet Protocol*). Unutar datoteke su pohranjena sva dotad prikupljena mjerenja s podacima opažanja dobivenih od strane svih senzora. Datoteke s ovakvom vrstom ekstenzije predstavljaju glavni način komunikacije između softvera i njihovih proizvoda ovog tipa (Nevistić, 2024).

4. METODOLOGIJA

4.1 Područje mjerenja

Mjerenja su prikupljena na području Vukovarske ulice u Zagrebu, duž trajektorije od tramvajske stanice Sveučilišna aleja do tramvajske stanice Kruge, odnosno između križanja Vukovarske ulice i Ulice Ivana Lučića do križanja Vukovarske ulice i Kruga. Ukupna duljina trajektorije iznosi približno 1100 metara (slika 5).



Slika 5. Početak i kraj trajektorije

4.2 Prikupljanje podataka

Mjerenja su obavljena 28. studenog 2024. godine, između 8:30 i 10:30 sati. Prikupljanje podataka zahtijevalo je tim od tri osobe zbog specifičnih zahtjeva mjerenja, uključujući nošenje prijenosnog računala, Spatial INS/GNSS uređaja i GNSS antene na štapu. Samostalno prikupljanje podataka bilo bi nemoguće zbog težine opreme i potrebe za stalnim praćenjem signalnih i uređajnih parametara. Podaci su prikupljeni u oba smjera.

SPORO HODANJE

Najprije su prikupljeni podaci sporim hoda u smjeru od tramvajske stanice Sveučilišna aleja do tramvajske stanice Kruga. Brzina hoda bila je približno 3-4 km/h, a trajanje mjerenja bilo je 18 minuta i 22 sekunde. Antena se tijekom ovog mjerenja nalazila na štapu visine 2,00 metra. Ovaj način prikupljanja podataka omogućava precizno snimanje podataka pri manjoj brzini gibanja.

BRZO HODANJE

Nakon prikupljanja podataka pri sporom hodu, sljedeće mjerenje obavljeno je bržim hodom u suprotnom smjeru, od tramvajske stanice Kruga prema Sveučilišnoj aleji. Brzina hoda bila je približno 5-6 km/h, a trajanje mjerenja iznosilo je 12 minuta i 41 sekundu. Antena je i u ovom slučaju bila postavljena na štapu visine 2,00 metra. Ova metoda mjerenja omogućava analizu podataka pri višim brzinama kretanja.

TRAMVAJ

Sljedeća mjerenja obavljena su u tramvaju, pri čemu je antena postavljena na vanjsku stranu tramvaja na visini od 3,40 metara. Prvo je bilo potrebno doći do stanice Zagrepčanka, koja se nalazi prije stanice Sveučilišna aleja gledajući u istočnom smjeru. Ovo je bilo ključno kako bi se imalo dovoljno vremena za otvaranje prozora, postavljanje antene i provjeru svih parametara prije početka prikupljanja podataka. Nakon ulaska u tramvaj broj 13, antena je postavljena na gornje-desnu vanjsku stranu vozila. Podaci su prikupljeni na visini od 3,40 metara u vremenskom razdoblju od 5 minuta i 11 sekundi. Trajektorija je prijeđena pri prosječnoj brzini od 11 km/h, uz uključena stajanja na semaforima.

AUTOMOBIL

Posljednje mjerenje obavljeno je u automobilu, u smjeru suprotnom od onog prikupljenog tramvajem. Za mjerenje u automobilu antena je postavljena na krov vozila na visini od 1,50 metra, a uređaj je postavljen otprilike na sredinu vozila. Trajanje mjerenja iznosilo je 3 minute i 43 sekunde, a prosječna brzina gibanja vozila bila je oko 16 km/h, također uz uključena stajanja na semaforima.

4.3 Postavljanje uređaja i uvjeti mjerenja

Za svako mjerenje, antena je postavljena na odgovarajuću visinu ovisno o vrsti prijevoza ili brzini hodanja. Tijekom svih mjerenja, signal je bio stabilan i kvalitetan, što je omogućilo precizno prikupljanje podataka. Uređaj nije pokazivao nikakve pogreške, a svi uvjeti za uspješno korištenje uređaja bili su zadovoljeni, uključujući broj dostupnih satelita i pravilnu kalibraciju uređaja.

Uređaj, koji je korišten za prikupljanje podataka, prema deklaraciji proizvođača omogućava visoku preciznost čak i pri većim brzinama kretanja, te omogućuje precizno praćenje gibanja, kako u uvjetima pješaćenja, tako i u vozilima. U svim fazama mjerenja, uređaj je radio ispravno, a podaci su bili konzistentni.

4.4 Konverzija i obrada podataka

Nakon prikupljanja podataka, isti su pretvoreni u formate koji su čitljivi računalima i korisnicima putem softverskog alata *Log Converter u Spatial Manageru*. Prikupljeni .anpp podaci su pretvoreni u .zip datoteku koja sadrži više pod datoteka u formatima .csv, .kml, .gpx i .txt. Svaka od ovih datoteka sadržava ključne podatke koji su daljnje korišteni za analizu i vizualizaciju prikupljenih informacija.

Za svako mjerenje, visina antene bila je uključena kao korekcija u Z koordinatama, ovisno o vrsti mjerenja:

- sporo i brzo hodanje: visina antene bila je 2,00 metra (upisuje se vrijednost -2).

- tramvaj: visina antene bila je 3,40 metra (upisuje se vrijednost -3,40).
- automobil: visina antene bila je 1,50 metra (upisuje se vrijednost -1,50).

Ova korekcija bila je neophodna kako bi podaci bili precizno pozicionirani u prostoru.

4.5 Analiza prikupljenih podataka

Prikupljeni podaci su analizirani kroz nekoliko ključnih datoteka koje sadrže osnovne informacije o stanju sustava, broju satelita, pozicijama i pogreškama sustava:

- RawSensors.csv: sadrži podatke o akcelerometru, žiroskopu, magnetometru, temperaturi i tlaku zraka za svaku sekundu mjerenja.
- Satellites.csv: podaci o broju satelita i horizontalnom/vertikalnom DOP-u po sekundi.
- State.csv: sadrži zemljopisne koordinate, pogreške sustava, te podatke o orijentaciji, tlaku i temperaturi.
- Status.csv: pokazuje status uređaja i njegove pogreške kroz brojeve od 0 do 3.
- Terminal.csv: sadrži informacije o verziji softvera i vremenu mjerenja.

Nakon obrade podataka, korišten je besplatan softver *QGIS 3.16.15* za daljnju analizu podataka, a za dodatnu obradu korišten je i *Microsoft Office* paket, prvenstveno *Excel* za analizu podataka i *Word* za izradu izvještaja.

5. REZULTATI

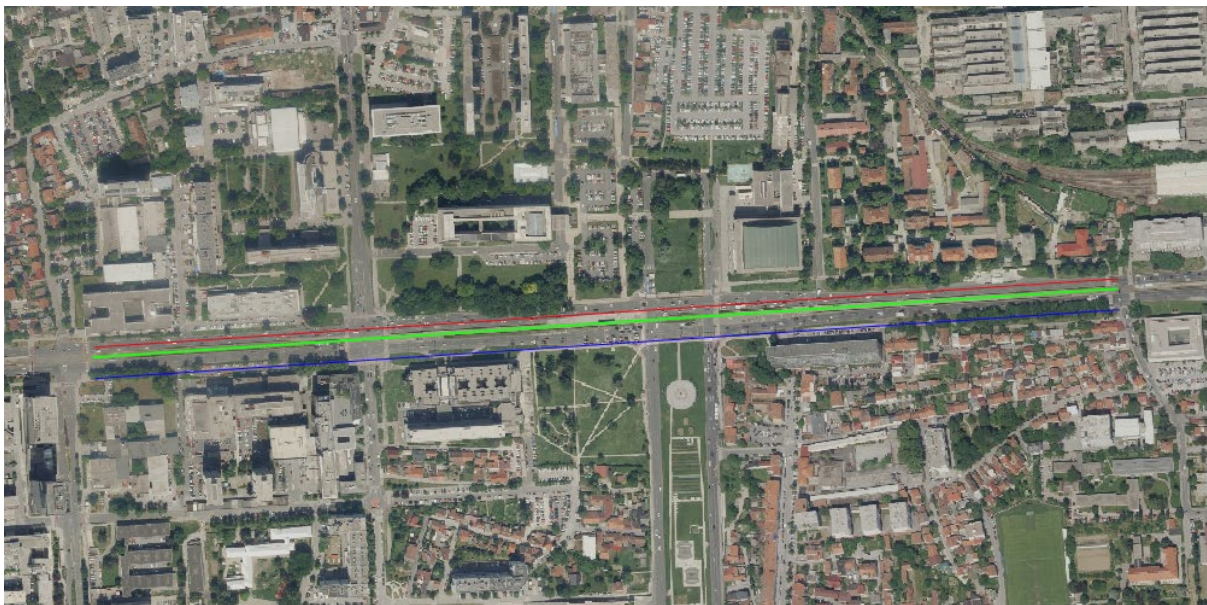
Konvertirani podaci u .csv formatu vrlo jednostavno mogu se ubaciti u QGIS program. Iz tog razloga rezultati su prikazani upravo u istoimenom programu. Najprije je u QGIS ubačena podloga DOF-a grada Zagreba. Samim time omogućena je lakša vizualizacija podataka te naposljetku njihova interpretacija. Digitalni ortofoto grada Zagreba može se pronaći na internetskoj stranici Geoportala grada Zagreba. Na istoj stranici nalazi se hiperveza koja je ustvari sam DOF grada Zagreba te se kao takva može ubaciti u QGIS (URL 4). Kako bi se DOF ubacio u QGIS, potrebno je pratiti jednostavnu putanju i redom kliknuti na sljedeće ikone: *Layer*, *Add Layer*, *Add WMS/WMTS Layer*. Nakon otvaranja prozora za ubacivanje DOF-a, potrebno je kliknuti ikonu *New*, napisati proizvoljni naziv pod *Name* te hipervezu kopiranu na internetskoj stranici kopirati i zalijepiti na mjesto *URL* unutar samog prozora. Sve navedeno se potvrdi te se klikne *Connect* naredba koja omogućuje ubacivanje DOF-a grada Zagreba u radno okruženje QGIS-a (slika 6).



Slika 6. Ubačeni DOF grada Zagreba u radno okruženje QGIS-a

Sljedeći korak bio je definirati idealne trajektorije za četiri različite brzine gibanja. Definirane su tri idealne trajektorije. Jedna trajektorija za gibanje automobilom, jedna za gibanje tramvajem te jedna za brzo i sporo hodanje. Kako su mjerena brzinom sporog i brzog hoda prikupljena po istoj trajektoriji, nije bilo potrebe definirati dvije različite trajektorije.

Slika 7 prikazuje tri prethodno navedene trajektorije. Trajektorije su se definirale prostoručno, tj. pomoću alata u QGIS-u. Na samom početku, određene su točke na tramvajskoj stanici Sveučilišna aleja i na stanici Kruge te su te dvije točke spojene linijom. Kako bi se stvorile točke i linija, potrebno je kreirati dva nova sloja. Slojevi se kreiraju prateći sljedeću putanju: *Layer, Create Layer, New Shapefile Layer*. Definira se ime sloja, postavi se koji tip geometrije će podržavati sloj (točka, linija, poligon), odredi se koordinatni sustav sloja te se po potrebi dodaju određeni stupci u atributnu tablicu. U prvom slučaju definira se sloj za točke, dok se u drugom slučaju definira novi sloj za liniju. Zatim se sloj postavi u uređivački način (*edit*) te se dodaju točke i iscrtavaju linije. Kada je definirana jedna linija, sloj s istom linijom se sprema pod drugim imenom te se novo spremljena linija pomiče pomoću naredbe *Move* na drugo mjesto. Isti postupak ponovljen je za dobivanje treće linije. Plava linija označava idealnu trajektoriju za mjerenja prikupljena brzim i sporim hodanjem, zelena tramvajem, a crvena automobilom.



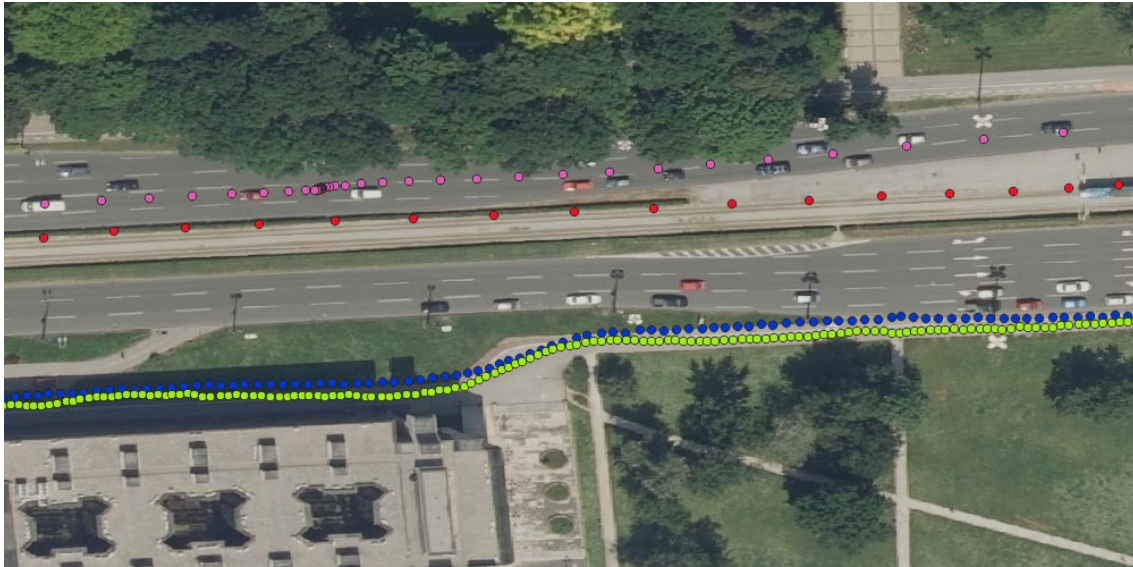
Slika 7. Idealne trajektorije gibanja

Zatim su u QGIS ubačena prikupljena mjerenja za svaku pojedinu brzinu gibanja.

Slika 8 i slika 9 prikazuju prethodno navedenu situaciju. Podaci mjerenja ubacuju se koristeći *State.csv* datoteku jer se u njoj nalaze podaci za svaku sekundu mjerenja s pripadnom geodetskom širinom i duljinom. Podaci se ubacuju prateći sljedeću putanju: *Layer*, *Add Layer*, *Add Delimited Text Layer*. Nakon otvaranja prozora pretražuje se računalo i postavlja se putanja do datoteke s podacima, postavljaju se X i Y koordinate, tj. duljina i širina. Vrlo je bitno da radno okruženje QGIS-a bude unutar referentnog koordinatnog sustava WGS84 te da podaci budu ubačeni u istom koordinatnom sustavu jer će u protivnom podaci biti ubačeni na potpuno drugo mjesto. Posljedično, ubačeni podaci u WGS84 mogu se reprojicirati u HTRS96/TM koordinatni sustav. Prethodno navedeno radi se pritiskom desnog klika miša na sloj, *Export*, *Save features as* te se sloj spremi na neko novo mjesto, pod novim imenom i najvažnije novim koordinatnim sustavom. Zatim se i radno okruženje QGIS-a može vratiti na referentni koordinatni sustav HTRS96/TM. Ružičastom bojom prikazani su podaci mjerenja prikupljeni pomoću automobila, crvenom podaci prikupljeni pomoću tramvaja, dok su zelenom i plavom prikazani podaci prikupljeni pomoću sporog i brzog hodanja.



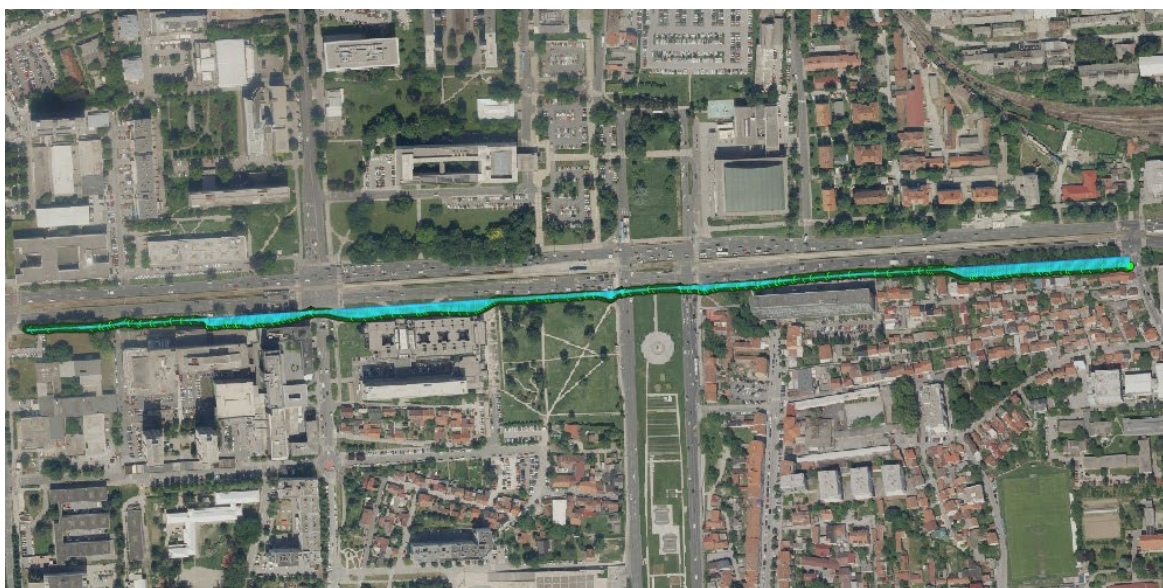
Slika 8. Ubačeni podaci mjerenja



Slika 9. Približeni ubačeni podaci mjerenja

5.1 Podaci mjerenja prikupljeni sporim hodanjem

Pomoću GRASS alata unutar QGIS-a izrađen je vizualni prikaz odstupanja podataka mjerenja od idealne trajektorije. Prethodni postupak napravljen je pomoću naredbe *v.distance*. U *Processing Toolbox*-u QGIS-a pozove se naredba *v.distance* te se u prozor koji se otvori unesu parametri. Pod *from vector map* unesu se podaci mjerenja, pod *to vector map* unese se idealna linija trajektorije, pod *upload* se odabere *dist*, jer je to naredba pomoću koje se određuje udaljenost te se naposljetku pod *Column name* odabere naziv stupca unutar kojeg će se spremati udaljenosti od pojedine točke mjerenja. Slika 10 i Slika 11 prikazuju dobivene podatke pomoću naredbe *v.distance*. Tamno plavom bojom je prikazana idealna trajektorija, zelenom bojom podaci mjerenja za svaku sekundu, dok su svijetlo plavom prikazane udaljenosti.



Slika 10. Udaljenost podataka mjerenja sporog hodanja od idealne trajektorije



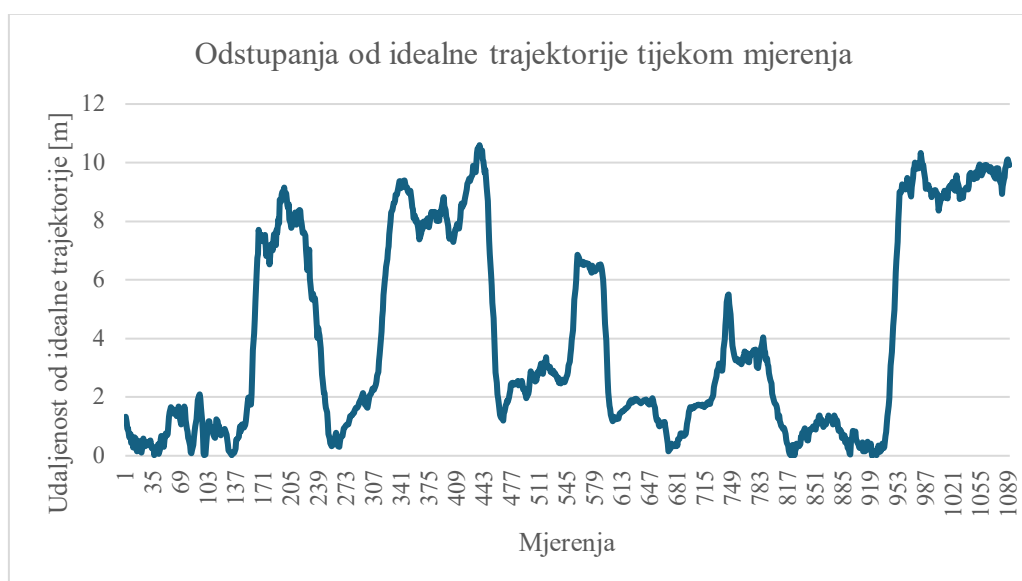
Slika 11. Udaljenost podataka mjerenja sporog hodanja od idealne trajektorije (približno)

Tablica 1 prikazuje opće pokazatelje i statističke pokazatelje o udaljenosti podataka mjerenja dobivenih tijekom sporog hodanja od idealne trajektorije.

Tablica 1. Statistički pokazatelji kvalitete mjerenja za cijelu trajektoriju (sporo hodanje)

Ukupan broj mjerenja	1090
Najveće odstupanje od idealne trajektorije [m]	10,598
Najmanje odstupanje od idealne trajektorije [m]	0,002
Srednje odstupanje od idealne trajektorije [m]	4,023
Varijanca odstupanja od idealne trajektorije [m]	11,836
Standardno odstupanje od idealne trajektorije [m]	3,440
Apsolutno srednje odstupanje od idealne trajektorije [m]	3,119

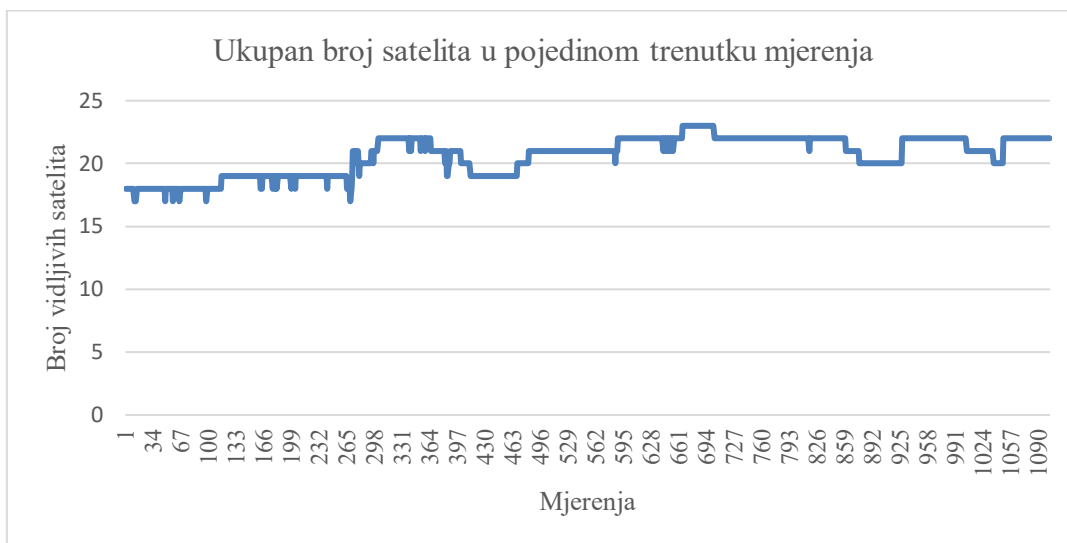
Na sljedećem grafu (graf 1) prikazano je odstupanje podataka mjerenja tijekom sporog hodanja od idealne trajektorije.



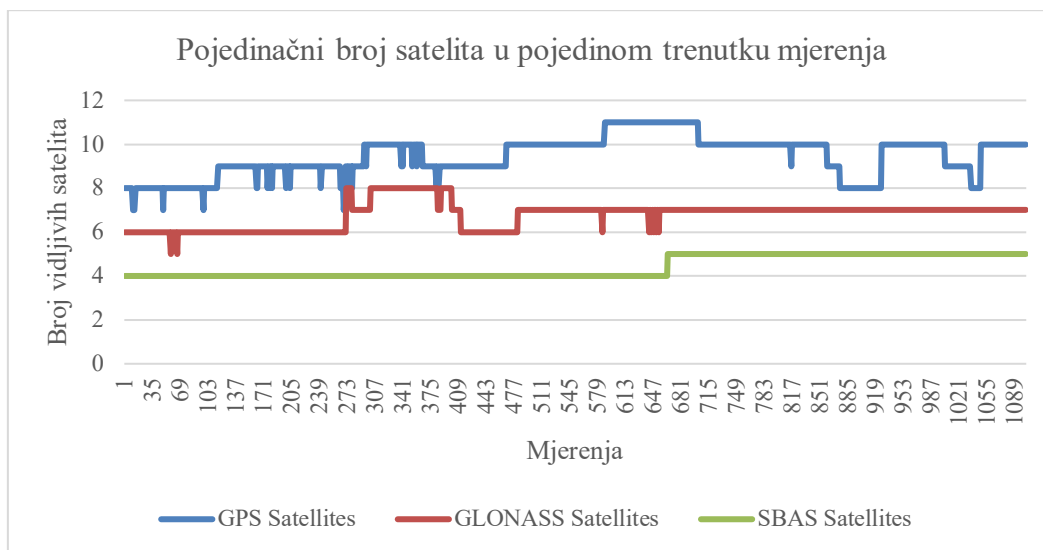
Graf 1. Prikaz svih odstupanja od idealne trajektorije tijekom mjerenja

Iz *Satellites.csv* datoteke vidljivo je kako je tijekom cijelog mjerenja bilo između 17 i 23 satelita. Prosječno je tijekom mjerenja bilo vidljivo 20,630 satelita. Unutar prethodno navedene datoteke vidljivo je da postoje četiri globalna navigacijska satelitska sustava (GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou) te poboljšani satelitski navigacijski sustav (SBAS) čije signale je uređaj u stanju primati. Iako se Galileo i BeiDou signali mogu primati od strane uređaja, nije zabilježen

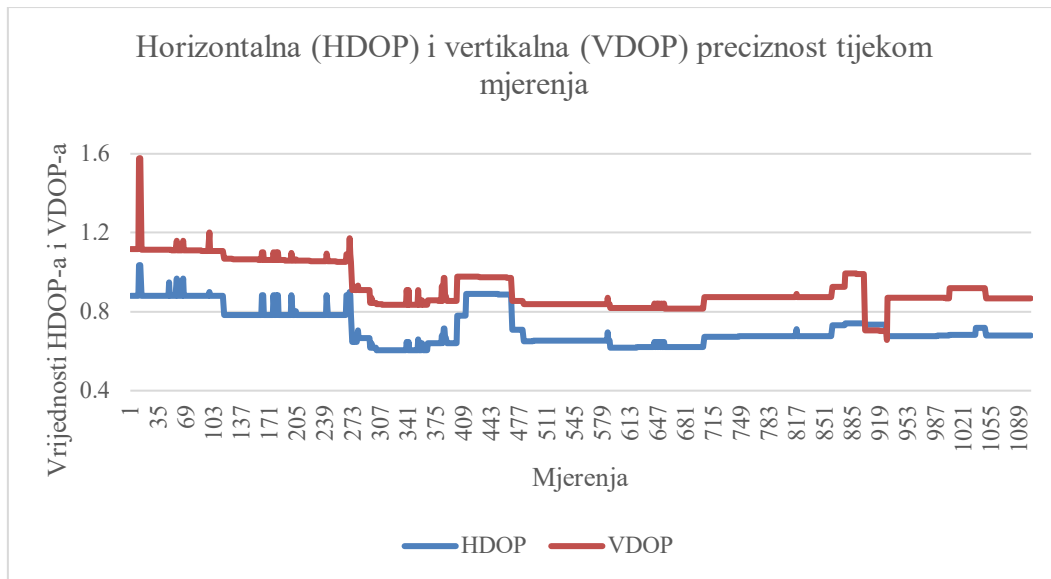
ni jedan takav slučaj. Na sljedećim grafikonima (graf 2, graf 3, graf 4) prikazani su parametri dostupnosti i vidljivosti satelita tijekom mjerenja te horizontalne i vertikalne preciznosti.



Graf 2. Prikaz ukupnog broja satelita u pojedinom trenutku mjerenja



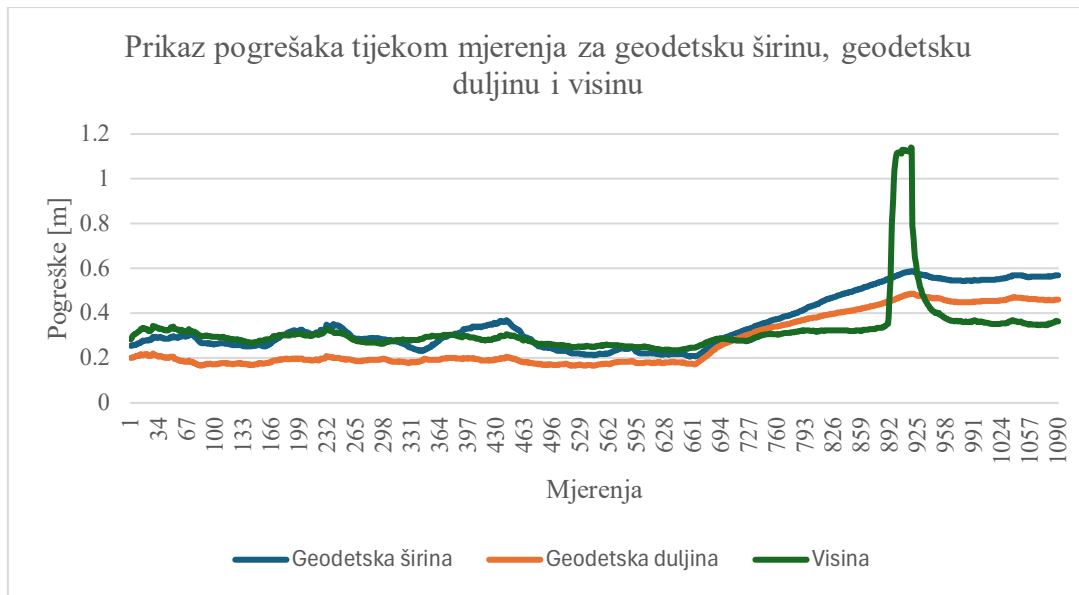
Graf 3. Prikaz pojedinačnog broja satelita u pojedinom trenutku mjerenja



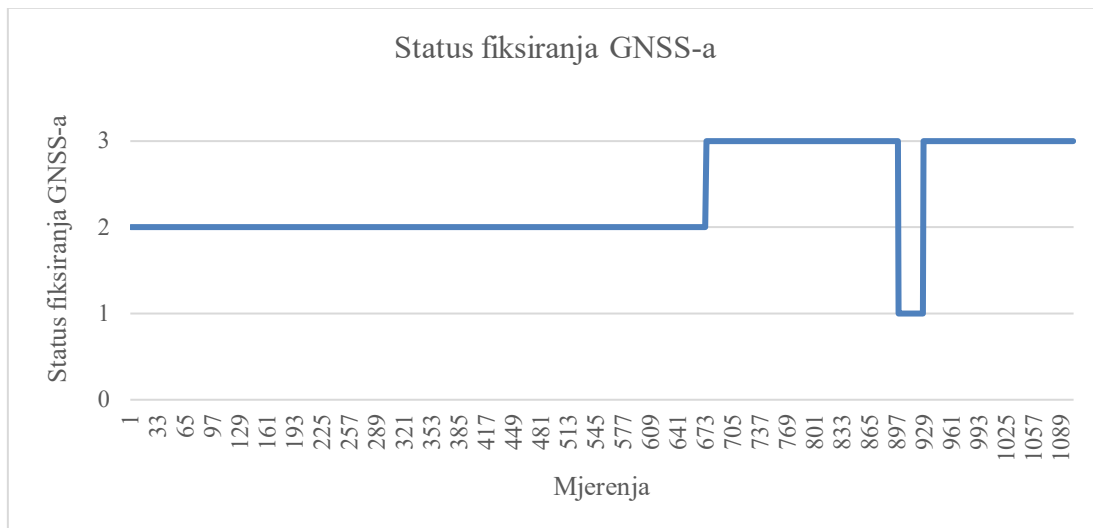
Graf 4. Prikaz horizontalne i vertikalne preciznosti (HDOP i VDOP) tijekom mjerenja

HDOP (*Horizontal Dilution Of Precision*) prikazuje horizontalnu preciznost (tj. preciznost X i Y koordinata), dok VDOP (*Vertical Dilution Of Precision*) prikazuje vertikalnu preciznost (Z koordinata). HDOP i VDOP su dio DOP parametara koji pokazuju kako GNSS radi u određenim uvjetima (URL 5).

Iz *State.csv* datoteke, tj. stupca *System Failure* vidljivo je kako je tijekom cijelog mjerenja sve bilo u redu te je uređaj ispravno radio i prikupljao podatke. Mogu se uočiti pogreške za geodetsku širinu, duljinu i visinu (graf 5). Također, *State.csv* datoteka sadrži podatke o brzini i ubrzanju u svim smjerovima koordinatnih osi (*velocity, acceleration*). Sadrži i podatke o tri Eulerova kuta rotacije (*roll, pitch, heading*). Dodatno sadrži podatke o temperaturi, stanju orijentacije, navigacije, pogreškama i slično.



Graf 5. Prikaz pogrešaka tijekom mjerenja po geodetskoj širini, geodetskoj duljini i visini



Graf 6. Prikaz statusa fiksiranja GNSS-a

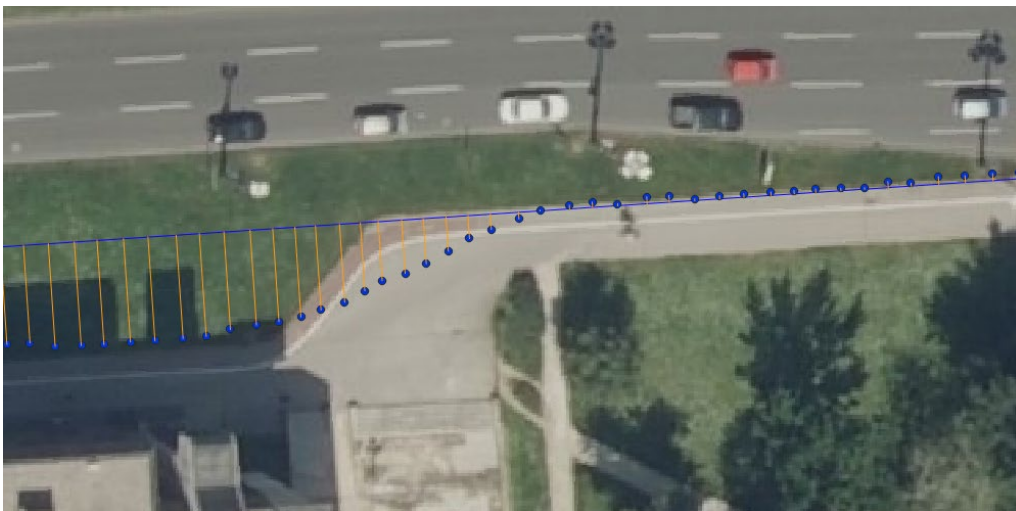
U datoteci *Status.csv* mogu se pronaći podaci statusa fiksiranja GNSS-a što je i prikazano na grafu 6. Datoteke *RawSensors.csv* i *Terminal.csv* sastoje se od podataka koji nisu od ključne važnosti za donošenje konkretnih zaključaka vezanih uz ovu brzinu gibanja.

5.2 Podaci mjerenja prikupljeni brzim hodaњem

I u ovom slučaju napravljen je isti način obrade, kao i kod podataka sporog hoda. Slika 12 i slika 13 prikazuju podatke dobivene pomoću naredbe *v.distance*. Tamno plavom bojom su prikazani podaci mjerenja za svaku sekundu i idealna trajektorija, dok su narančastom prikazane udaljenosti.



Slika 12. Udaljenost podataka mjerenja brzog hodaњa od idealne trajektorije



Slika 13. Udaljenost podataka mjerenja brzog hodaњa od idealne trajektorije (približno)

Tablica 2 prikazuje opće pokazatelje i statističke pokazatelje o udaljenosti podataka mjerenja dobivenih tijekom brzog hodanja od idealne trajektorije.

Tablica 2. Statistički pokazatelji kvalitete mjerenja za cijelu trajektoriju (brzo hodanje)

Ukupan broj mjerenja	757
Najveće odstupanje od idealne trajektorije [m]	13,180
Najmanje odstupanje od idealne trajektorije [m]	0,011
Srednje odstupanje od idealne trajektorije [m]	3,778
Varijanca odstupanja od idealne trajektorije [m]	12,348
Standardno odstupanje od idealne trajektorije [m]	3,514
Apsolutno srednje odstupanje od idealne trajektorije [m]	2,860

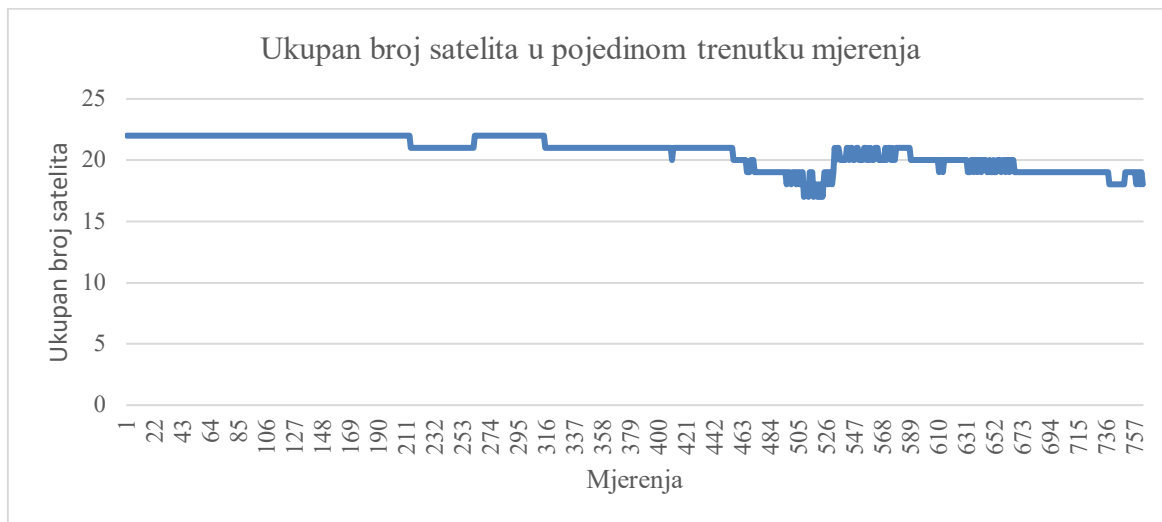
Na sljedećem grafu (graf 7) prikazano je odstupanje podataka mjerenja tijekom brzog hodanja od idealne trajektorije.



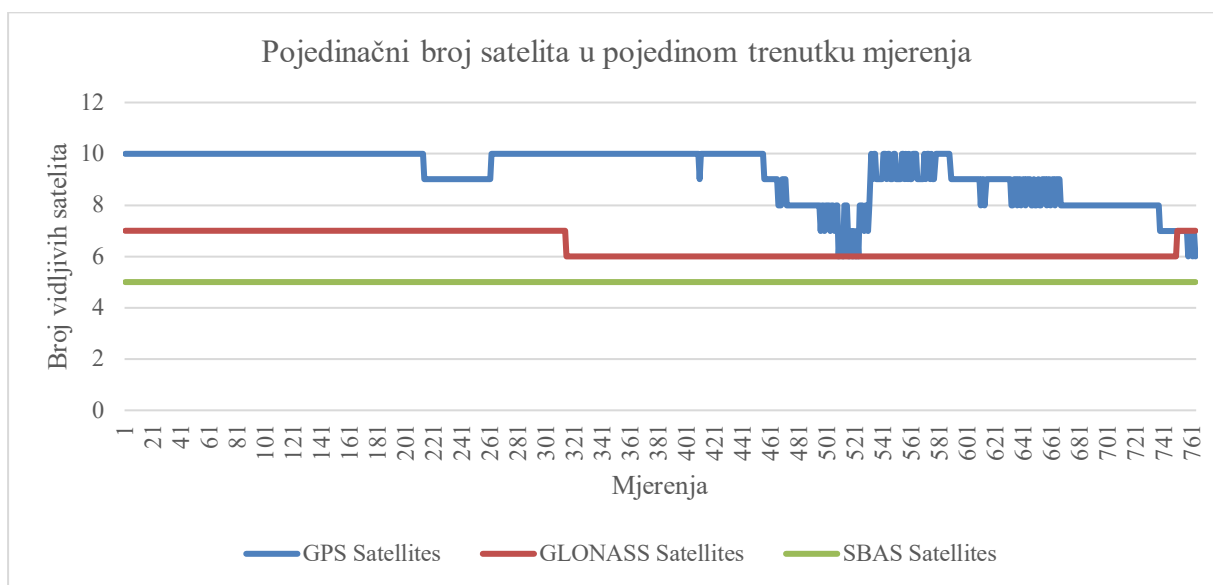
Graf 7. Prikaz svih odstupanja od idealne trajektorije tijekom mjerenja

Iz *Satellites.csv* datoteke vidljivo je kako je tijekom cijelog mjerenja bilo između 17 i 22 satelita. Prosječno je tijekom mjerenja bilo vidljivo 20,702 satelita. Također, kao i kod sporog gibanja, unutar prethodno navedene datoteke vidljivo je da postoje četiri globalna navigacijska satelitska sustava (GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou) te poboljšani satelitski navigacijski sustav (SBAS) čije signale je uređaj u stanju primati. Iako se Galileo i BeiDou signali mogu

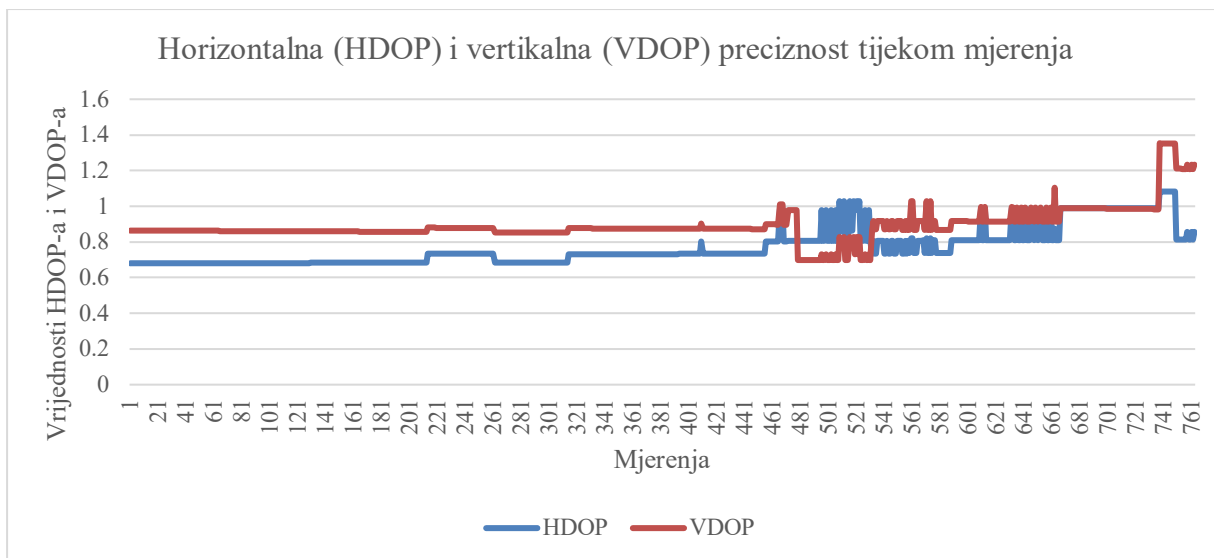
primati od strane uređaja, nije zabilježen ni jedan takav slučaj. Na sljedećim grafikonima (graf 9, graf 10, graf 10) prikazani su parametri dostupnosti i vidljivosti satelita tijekom mjerenja te horizontalna i vertikalna preciznost.



Graf 8. Prikaz ukupnog broja satelita u pojedinom trenutku mjerenja

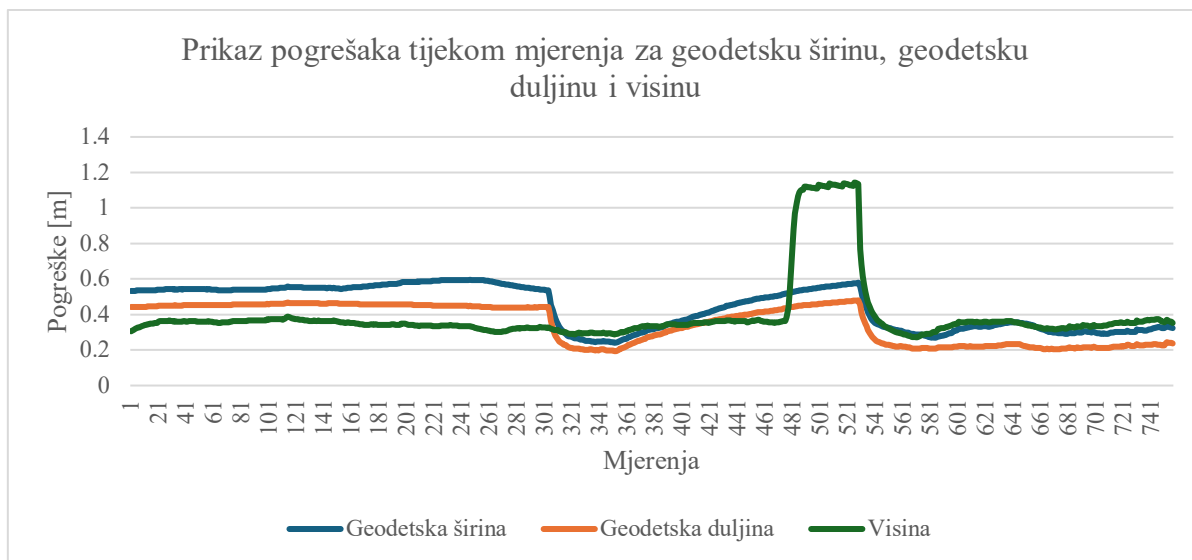


Graf 9. Prikaz pojedinačnog broja satelita u pojedinom trenutku mjerenja

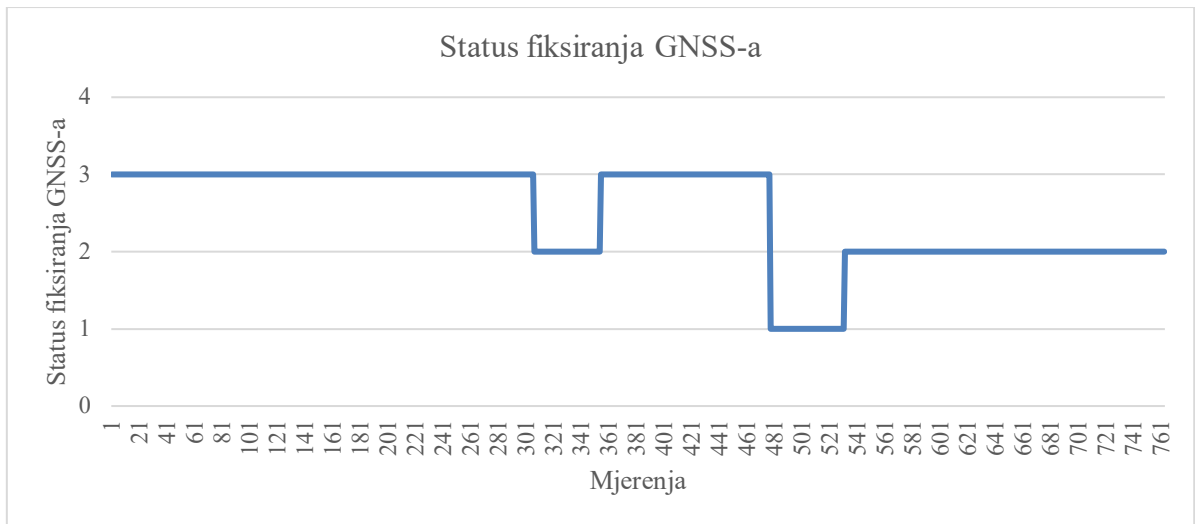


Graf 10. Prikaz horizontalne i vertikalne preciznosti (HDOP i VDOP) tijekom mjerenja

Iz *State.csv* datoteke, tj. stupca *System Failure* vidljivo je kako je tijekom cijelog mjerenja sve bilo u redu te je uređaj ispravno radio i prikupljao podatke. Mogu se uočiti pogreške za geodetsku širinu, duljinu i visinu (Graf 11). Datoteka sadrži iste stupce s podacima kao i kod sporog hodanja.



Graf 11. Prikaz pogrešaka tijekom mjerenja za geodetsku širinu, geodetsku duljinu i visinu



Graf 12. Prikaz statusa fiksiranja GNSS-a

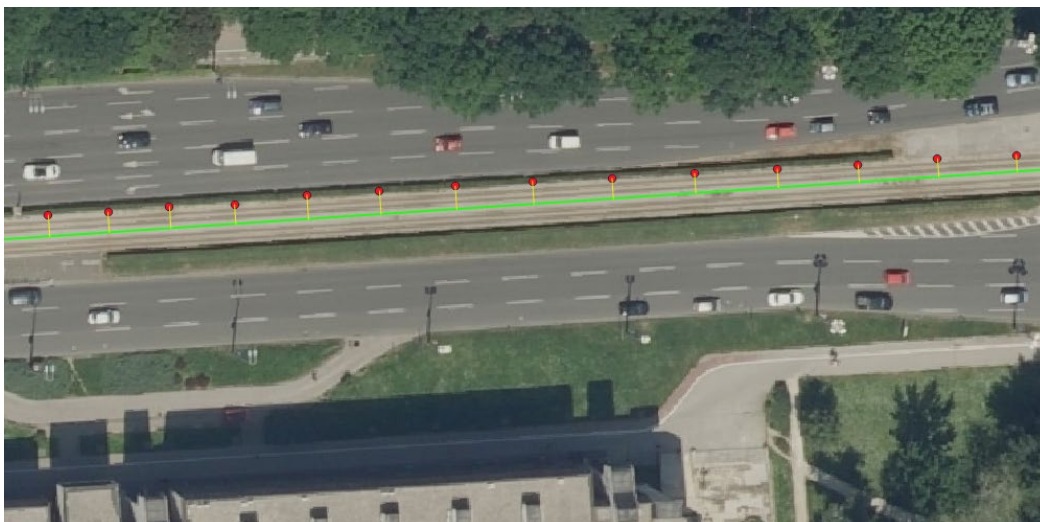
U datoteci *Status.csv* mogu se pronaći podaci statusa fiksiranja GNSS-a što je i prikazano na grafu 12. Datoteke *RawSensors.csv* i *Terminal.csv* sastoje se od podataka koji nisu od ključne važnosti za donošenje konkretnih zaključaka vezanih uz ovu brzinu gibanja.

5.3 Podaci mjerenja prikupljeni tramvajem

I u trećem slučaju napravljen je isti način obrade, kao i kod podataka sporog i brzog hoda. Slika 14 i slika 15 prikazuju podatke dobivene pomoću naredbe *v.distance*. Crvenom bojom su prikazani podaci mjerenja za svaku sekundu, idealna trajektorija prikazana je zelenom bojom, dok su žutom bojom prikazane udaljenosti.



Slika 14. Udaljenost podataka mjerenja prikupljenih tramvajem od idealne trajektorije



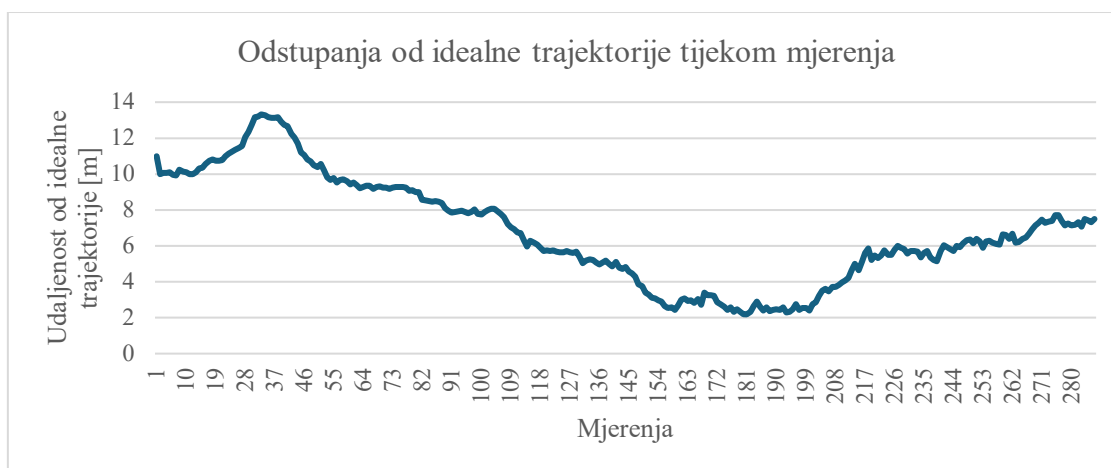
Slika 15. Udaljenost podataka mjerenja prikupljenih tramvajem od idealne trajektorije (približno)

Tablica 3 prikazuje opće pokazatelje i statističke pokazatelje o udaljenosti podataka mjerenja dobivenih tijekom brzog hodanja od idealne trajektorije

Tablica 3. Statistički pokazatelji kvalitete mjerenja za cijelu trajektoriju (tramvaj)

Ukupan broj mjerenja	287
Najveće odstupanje od idealne trajektorije [m]	13,319
Najmanje odstupanje od idealne trajektorije [m]	2,192
Srednje odstupanje od idealne trajektorije [m]	6,780
Varijanca odstupanja od idealne trajektorije [m]	8,729
Standardno odstupanje od idealne trajektorije [m]	2,955
Apsolutno srednje odstupanje od idealne trajektorije [m]	2,464

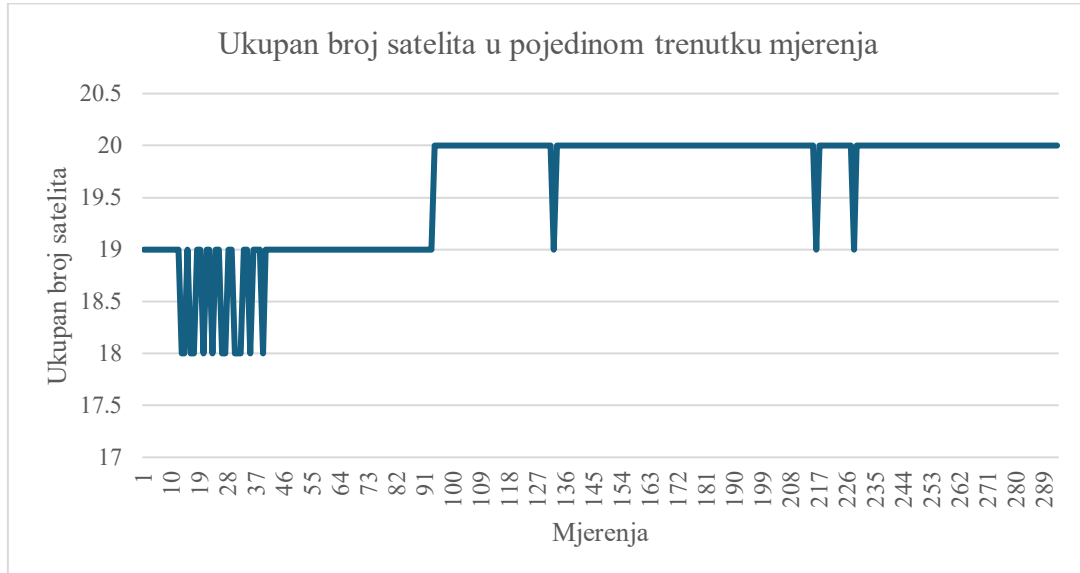
Na sljedećem grafu (graf 13) prikazano je odstupanje podataka mjerenja tijekom vožnje tramvajem od idealne trajektorije.



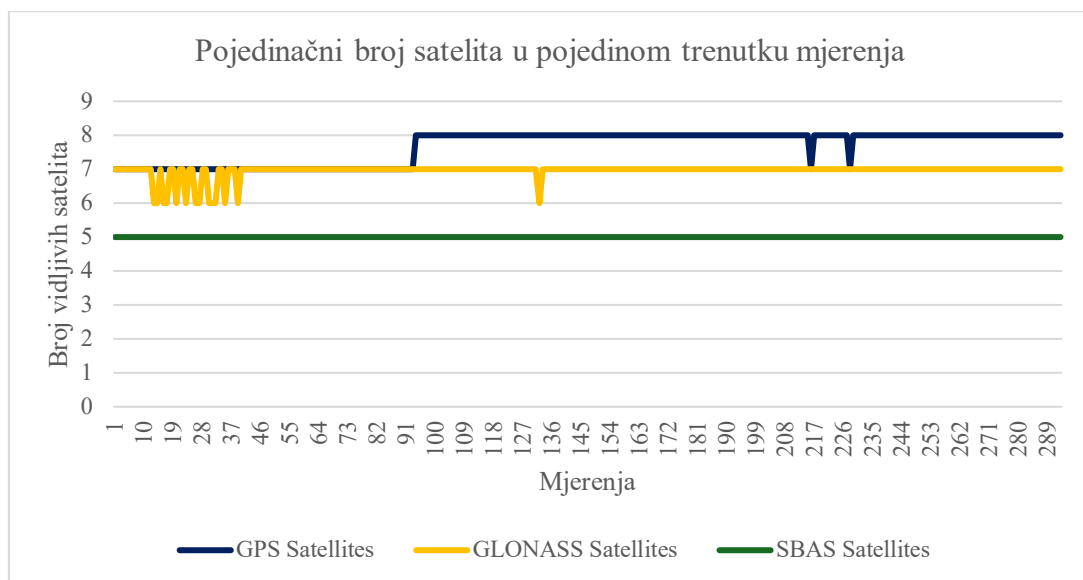
Graf 13. Prikaz svih odstupanja od idealne trajektorije tijekom mjerenja

Iz *Satellites.csv* datoteke vidljivo je kako je tijekom cijelog mjerenja bilo između 18 i 20 satelita. Prosječno je tijekom mjerenja bilo vidljivo 19,628 satelita. Također, kao i kod sporog i brzog gibanja, unutar prethodno navedene datoteke vidljivo je da postoje četiri globalna navigacijska satelitska sustava (GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou) te poboljšani satelitski navigacijski sustav (SBAS) čije signale je uređaj u stanju primati. Iako se Galileo i BeiDou signali mogu primati od strane uređaja, nije zabilježen ni jedan takav slučaj. Na sljedećim

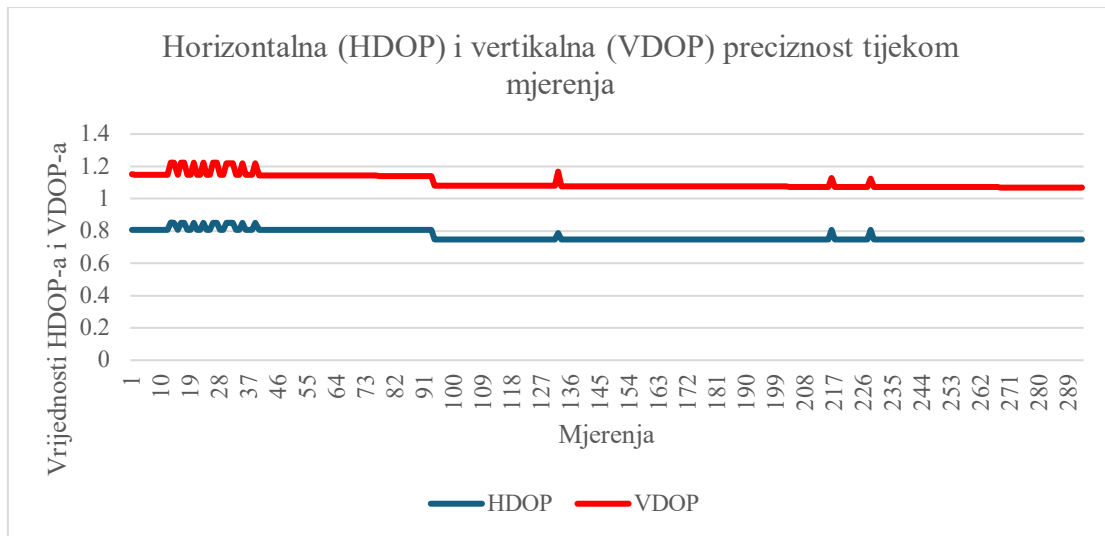
grafikonima (graf 14, graf 15, graf 16) prikazani su parametri dostupnosti i vidljivosti satelita tijekom mjerenja te horizontalna i vertikalna preciznost.



Graf 14. Prikaz ukupnog broja satelita u pojedinom trenutku mjerenja

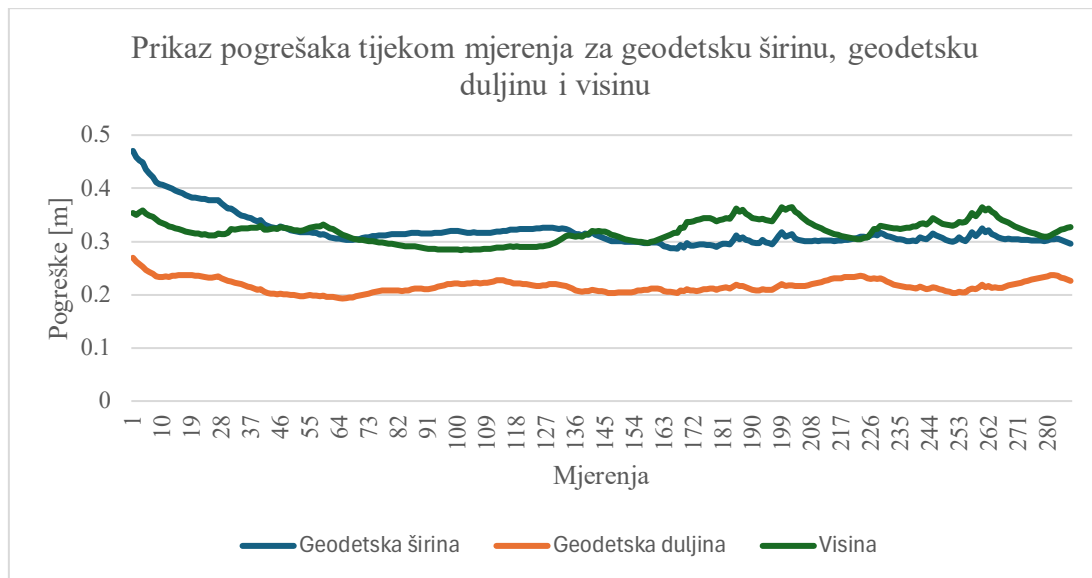


Graf 15. Prikaz pojedinačnog broja satelita u pojedinom trenutku mjerenja

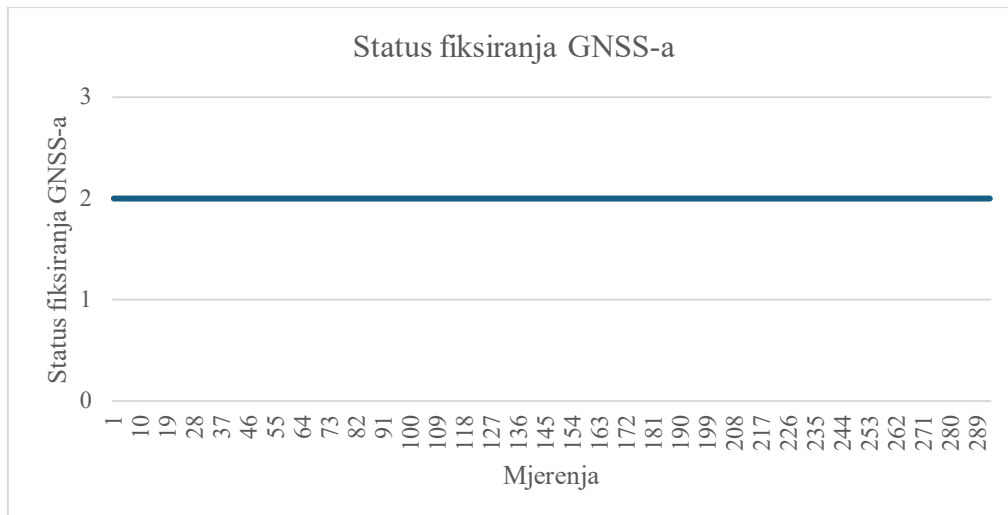


Graf 16. Prikaz horizontalne i vertikalne preciznosti (HDOP i VDOP) tijekom mjerenja

Iz *State.csv* datoteke, tj. stupca *System Failure* vidljivo je kako je tijekom cijelog mjerenja sve bilo u redu te je uređaj ispravno radio i prikupljao podatke. Mogu se uočiti pogreške za geodetsku širinu, duljinu i visinu (graf 17). Datoteka sadrži iste stupce s podacima kao i kod sporog i brzog hodanja.



Graf 17. Prikaz pogrešaka tijekom mjerenja za geodetsku širinu, geodetsku duljinu i visinu

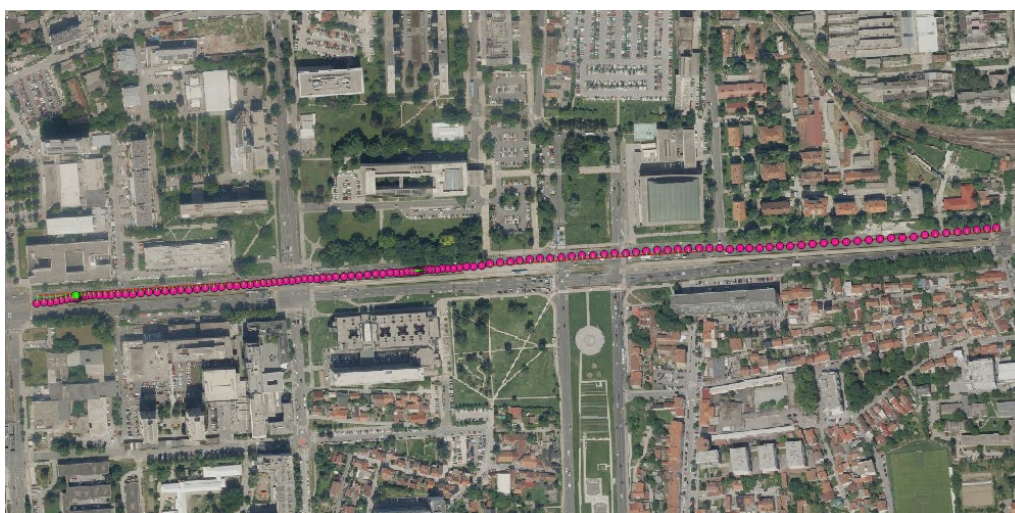


Graf 18. Prikaz statusa fiksiranja GNSS-a

U datoteci *Status.csv* mogu se pronaći podaci statusa fiksiranja GNSS-a što je i prikazano na grafu 18. Datoteke *RawSensors.csv* i *Terminal.csv* sastoje se od podataka koji nisu od ključne važnosti za donošenje konkretnih zaključaka vezanih uz ovu brzinu gibanja.

5.4 Podaci mjerenja prikupljeni automobilom

U posljednjem, četvrtom slučaju napravljen je isti način obrade, kao i kod podataka sporog i brzog hoda te tramvaja. Slika 16 i slika 17 prikazuju podatke dobivene pomoću naredbe *v.distance*. Ružičastom bojom prikazani su podaci mjerenja za svaku sekundu, idealna trajektorija prikazana je crvenom bojom, dok su zelenom bojom prikazane udaljenosti.



Slika 16. Udaljenost podataka mjerenja prikupljenih tramvajem od idealne trajektorije



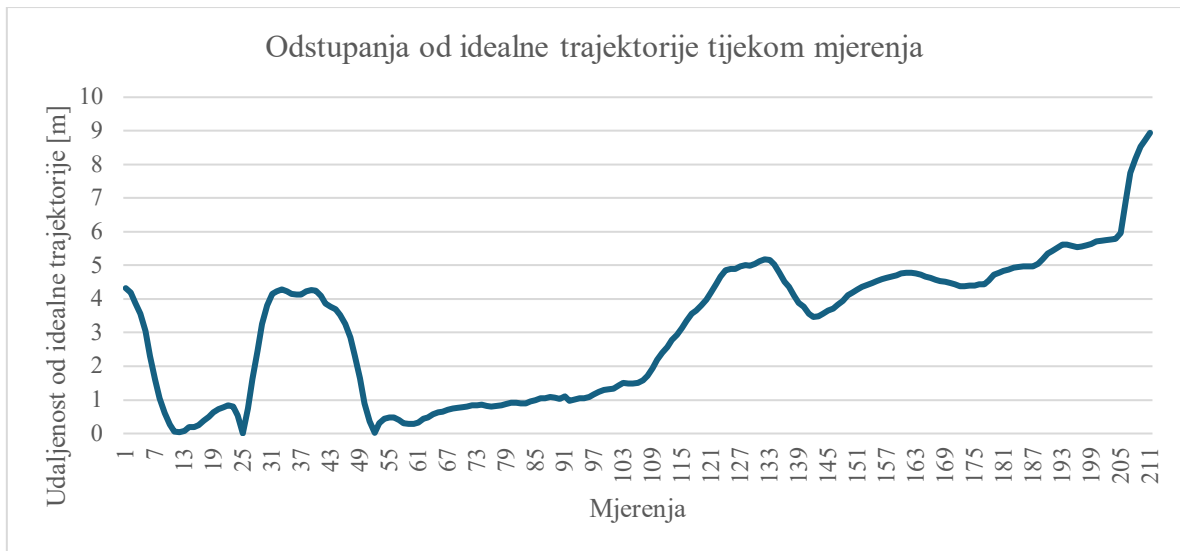
Slika 17. Udaljenost podataka mjerenja prikupljenih tramvajem od idealne trajektorije (približno)

Tablica 4 prikazuje opće pokazatelje i statističke pokazatelje o udaljenosti podataka mjerenja dobivenih tijekom brzog hodanja od idealne trajektorije.

Tablica 4. Statistički pokazatelji kvalitete mjerenja za cijelu trajektoriju (auto)

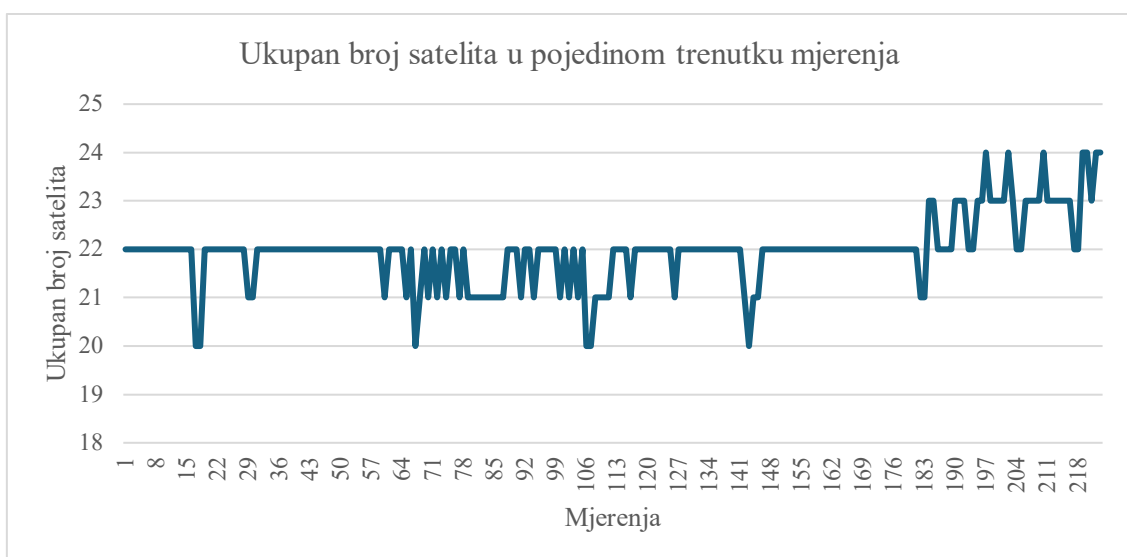
Ukupan broj mjerenja	211
Najveće odstupanje od idealne trajektorije [m]	8,941
Najmanje odstupanje od idealne trajektorije [m]	0,004
Srednje odstupanje od idealne trajektorije [m]	3,099
Varijanca odstupanja od idealne trajektorije [m]	4,175
Standardno odstupanje od idealne trajektorije [m]	2,043
Apsolutno srednje odstupanje od idealne trajektorije [m]	1,819

Na sljedećem grafu (graf 19) prikazano je odstupanje podataka mjerenja tijekom vožnje tramvajem od idealne trajektorije.

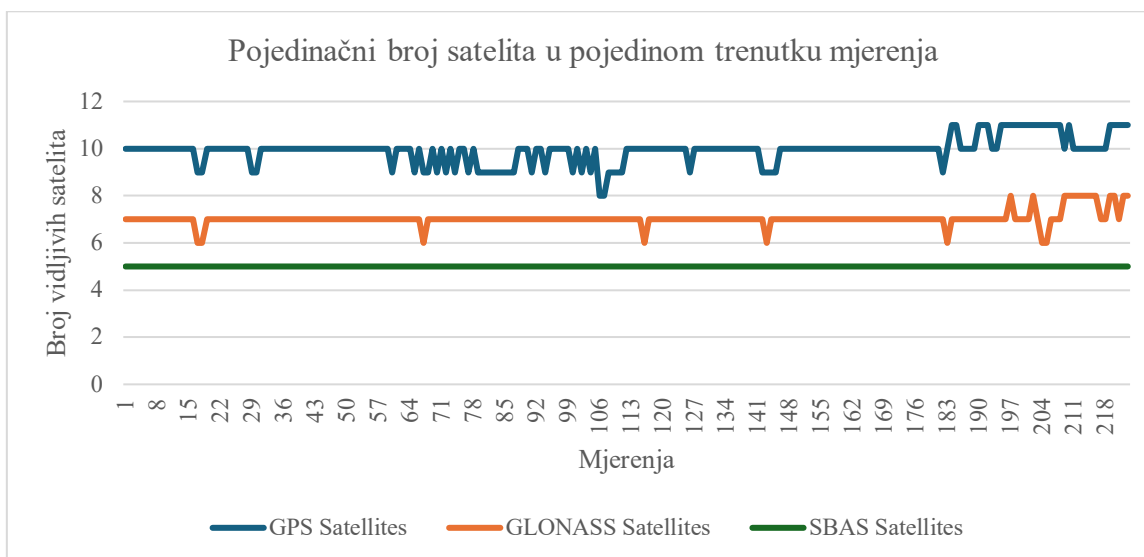


Graf 19. Prikaz svih odstupanja od idealne trajektorije tijekom mjerenja

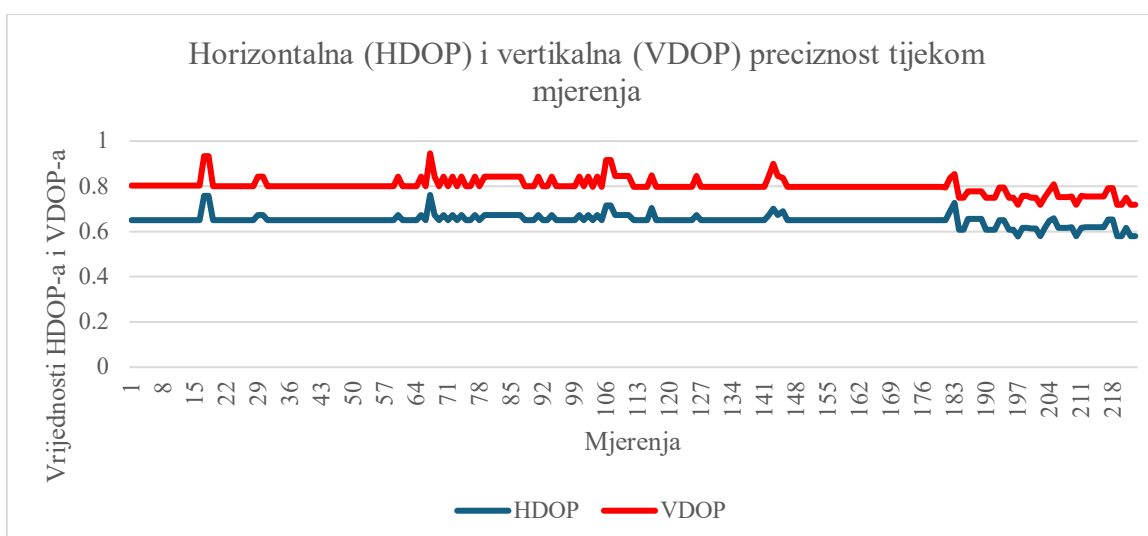
Iz *Satellites.csv* datoteke vidljivo je kako je tijekom cijelog mjerenja bilo između 20 i 24 satelita. Prosječno je tijekom mjerenja bilo vidljivo 21,960 satelita. Također, kao i kod sprog, brzog i tramvajskog gibanja, unutar prethodno navedene datoteke vidljivo je da postoje četiri globalna navigacijska satelitska sustava (GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou) te poboljšani satelitski navigacijski sustav (SBAS) čije signale je uređaj u stanju primati. Iako se Galileo i BeiDou signali mogu primati od strane uređaja, nije zabilježen ni jedan takav slučaj. Na sljedećim grafikonima (graf 20, graf 21, graf 22) prikazani su parametri dostupnosti i vidljivosti satelita tijekom mjerenja te horizontalna i vertikalna preciznost.



Graf 20. Prikaz ukupnog broja satelita u pojedinom trenutku mjerenja

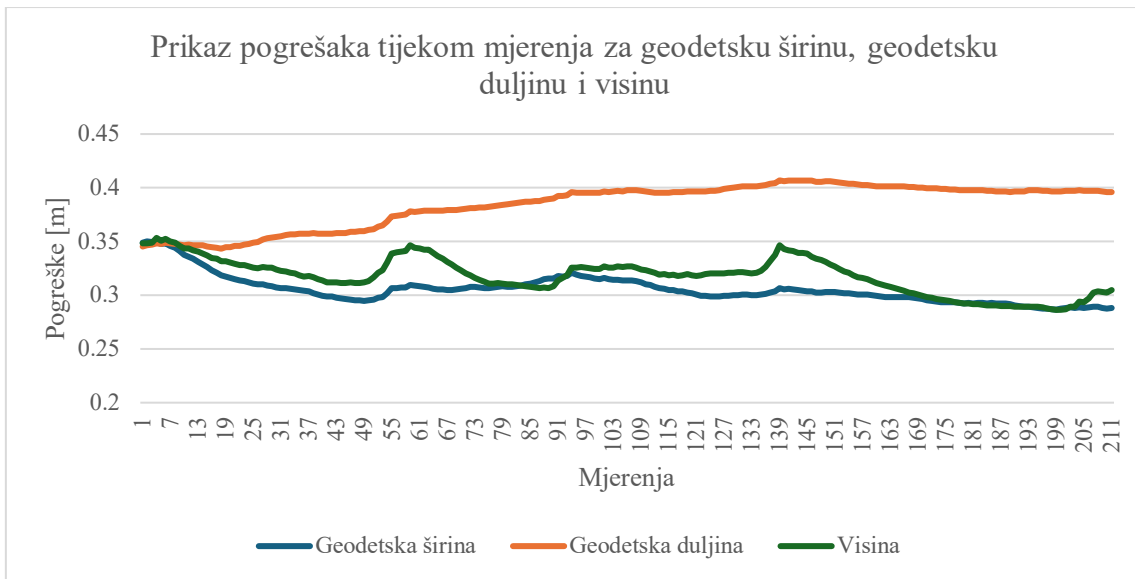


Graf 21. Prikaz pojedinačnog broja satelita u pojedinom trenutku mjerenja

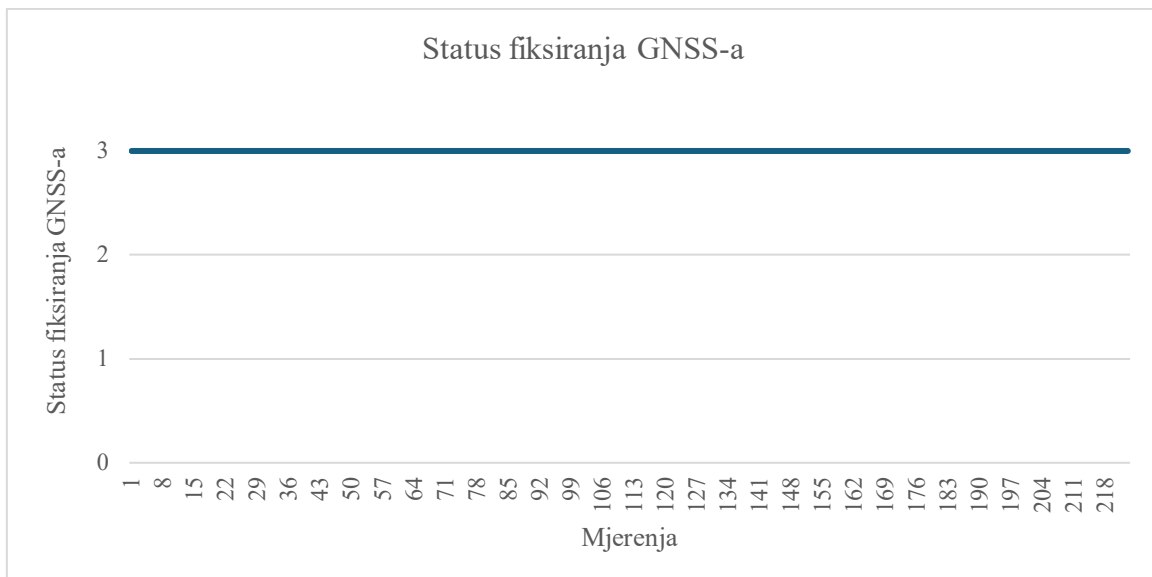


Graf 22. Prikaz horizontalne i vertikalne preciznosti (HDOP) i (VDOP) tijekom mjerenja

Iz *State.csv* datoteke, tj. stupca *System Failure* vidljivo je kako je tijekom cijelog mjerenja sve bilo u redu te je uređaj ispravno radio i prikupljao podatke. Mogu se uočiti pogreške za geodetsku širinu, duljinu i visinu (graf 23). Datoteka sadrži iste stupce s podacima kao i kod sporog i brzog hodanja te gibanja tramvajem.



Graf 23. Prikaz pogrešaka tijekom mjerenja za geodetsku širinu, geodetsku duljinu i visinu



Graf 24. Prikaz statusa fiksiranja GNSS-a

U datoteci *Status.csv* mogu se pronaći podaci statusa fiksiranja GNSS-a što je i prikazano na grafu 24. Datoteke *RawSensors.csv* i *Terminal.csv* sastoje se od podataka koji nisu od ključne važnosti za donošenje konkretnih zaključaka vezanih uz ovu brzinu gibanja.

6. DISKUSIJA

U petom poglavlju prikazani su svi dobiveni rezultati, njihove kvantitativne i kvalitativne vrijednosti te točnost. U narednim pod poglavljima biti će interpretirani i analizirani dobiveni rezultati, što oni znače, koji zaključci se mogu iščitati iz rezultata i slično.

6.1 Analiza podataka sporog hoda

Prije početka mjerenja zadovoljeni su svi uvjeti postavljanja uređaja. Izvršena je provjera svih sustava, nije bilo potrebe za provođenjem magnetske kalibracije te je sustav radio ispravno. Svi indikatori u softveru *Spatial Manager* bili su zelene boje što znači da je uređaj radio i funkcionirao ispravno. Na slici 10 uočava se kako određeni dijelovi prijedene trajektorije odgovaraju idealnoj, no postoje i dijelovi gdje to nije slučaj. Nakon prijednih 200 metara odstupanja postaju sve veća iz razloga izgrađenosti, tj. različiti objekti i naposljetku automobili priprečili su put te se prijedena trajektorija morala odvojiti od idealne. Zatim se dolazi do prvog raskrižja gdje se vidi da se podaci ponovno približavaju idealnoj trajektoriji. Nakon prolaska raskrižja odvajaju se podaci i idealna trajektorija te je u ovom slučaju problem bio zelena površina preko koje se nije moglo prijeći. 200 metara nakon raskrižja podaci mjerenja se do posljednjih 150 metara gotovo pa preklapaju s idealnom trajektorijom. Na posljednjem dijelu, idealna trajektorija ponovno prolazi preko zelene površine s različitim stablima, preko koje se nije moglo kretati. U tablici 1 uočljivo je kako je prikupljeno ukupno 1090 mjerenja. Također, graf 1 prikazuje točnu situaciju odstupanja mjerenja tijekom vremena. Vidljivo je kako ne postoji kontinuirano povećanje ili smanjenje odstupanja od idealne trajektorije tijekom sporog hoda, već u ovom slučaju odstupanja isključivo ovise o vanjskim utjecajima, izgrađenosti, prometu i mogućnosti prolaska. Tijekom cijelog mjerenja bilo je vidljivo preko 17 satelita. Na grafu 2 i grafu 3 uočava se da je INS/GNSS uređaj konstantno primao broj satelita koji je i više nego minimalan. Također, vidljivo je kako je broj satelita na samom početku mjerenja, gdje je najmanje odstupanje od idealne trajektorije, bio isto tako najmanji. Kako se prolazila trajektorija, broj satelita je rastao, a odstupanje od trajektorije je variralo s obzirom na već prethodno navedene probleme. Promatrajući graf 4, uočava se kako je pogreška visine veća od pogreške horizontalnih koordinata. Također, zanimljivo je kako su najveće pogreške za obje dimenzije na samom početku, gdje se podaci mjerenja najbolje poklapaju s

idealnom trajektorijom. Kako se prolazila trajektorija, vrijednosti horizontalnog i vertikalnog DOP-a su se smanjivale, što naposljetku rezultira većom točnošću izmjerenih podataka. Također, vidi se poveznica između broja satelita i vrijednosti HDOP-a i VDOP-a. Ranije je navedeno kako je na samom početku bilo najmanje satelita, dok se prolaženjem trajektorije taj broj povećavao. Kod HDOP-a i VDOP-a vrijednosti su na početku bile najveće, dok su se kasnije smanjivale. Zaključuje se kako su broj satelita te HDOP i VDOP obrnuto proporcionalne veličine. Kod grafa 5 vidi se da su pogreške mjerenja za širinu, duljinu i visinu bile većinom kontinuirane tijekom cijelog mjerenja. Očito je kako se neposredno prije kraja mjerenja izuzetno povećala pogreška visine. Međutim, na grafu 3 je vidljivo da se otprilike u tom trenutku dogodio pad broja GPS satelita pa je i to vrlo moguće jedan od uzroka. Isto tako, na posljednjih 150 metara trajektorije nalaze se brojna stabla s jedne strane te zgrada s druge strane. Navedeno također može biti jedan od uzroka pada točnosti visine na tom području. Razlog velike pogreške u visini je ponajviše uzrokovan situacijom prikazanom na grafu 6. Vidljivo je kako je upravo u istom vremenu povećanja pogreške status fiksiranja GNSS-a pao na broj 1. Prema Advanced Navigation (2013), status fiksiranja GNSS-a ima 7 razina. Razina 0 – GNSS nije fiksiran, 1 – 2D fiksno GNSS rješenje, 2 – 3D fiksno GNSS rješenje, 3 – SBAS fiksno GNSS rješenja, 4 – Diferencijalno GNSS fiksno rješenje, 5 – Omnistar/Starfire GNSS fiksirano rješenje, 6 – RTK plutajuće (*float*) GNSS rješenje te 7 – RTK fiksirano GNSS rješenje. Drugim riječima, u trenutku kada započinje pogreška visine, GNSS je bio 2D fiksiran što znači da nije bilo kvalitetnih podataka visine. Naposljetku, može se reći kako u slučaju sporog hoda udaljenosti od idealne trajektorije nisu povezane s prijeđenim putem i vremenom. Velike udaljenosti od idealne trajektorije povezane su isključivo uz vanjske utjecaje kao što su nemogućnost prolaska zbog izgrađenosti, prometa te zelenih površina. Kada bi postojala mogućnost kretanja idealnom trajektorijom bez vanjskih utjecaja, točnost (u ovom slučaju udaljenost) bi sigurno bila u dopuštenim rasponima deklariranim od strane proizvođača.

6.2 Analiza podataka brzog hoda

Prije početka mjerenja zadovoljeni su svi uvjeti postavljanja uređaja. Izvršena je provjera svih sustava, nije bilo potrebe za provođenjem magnetske kalibracije te je sustav radio ispravno. Svi indikatori u softveru *Spatial Manager* bili su zelene boje što znači da je uređaj radio i funkcionirao ispravno. Na slici 12 uočava se slična situacija kao i kod sporog hoda. Potrebno je promatrati sliku 12 gledano iz suprotnog smjera u odnosu na podatke prikupljene sporim

hodanjem. Na samom početku vidljivo je kako podaci odstupaju od idealne trajektorije, čemu je ponovno slučaj nemogućnost prolaska između stabala te preko zelene površine. Nakon prijeđenih 200 metara podaci se približavaju idealnoj trajektoriji te se vidi izuzetno dobro preklapanje sve do polovice prijeđene trajektorije. Zatim ponovno dolazi do povećanih odstupanja zbog nemogućnosti prolaska najidealnijom trajektorijom. Prilikom dolaska do trećeg raskrižja u ovom smjeru, podaci se ponovno približavaju idealnoj ruti, da bi se zatim ponovno udaljili od iste. Na posljednjih 200 metara trajektorije, podaci se gotovo idealno podudaraju s idealnom trajektorijom isto kao i kod podataka sporog hoda. U tablici 2 uočava se da je tijekom brzog hoda prikupljeno manje mjerenja nego kod sporog hoda (757). Zaključuje se da su tijekom prikupljanja podataka sporog i brzog hoda uistinu korištene dvije različite brzine. Na grafu 7 mogu se vidjeti podaci udaljenosti od idealne trajektorije. Oni prikazuju sve već prethodno opisano. Na samom početku uočavaju se najveća odstupanja, koja se potom smanjuju te povremeno variraju s obzirom na različite prepreke i zapreke na terenu. Tijekom cijelog mjerenja bilo je vidljivo ukupno više od 17 satelita. Na grafu 8 i grafu 9 vidljivo je kako je nakon prijeđene polovice trajektorije došlo do velikog gubitka GPS satelita te povećanja horizontalne pogreške (HDOP). Na grafu 11 vidi se kako je upravo u tom periodu došlo do velike pogreške u visini. Kao i kod sporog hoda, ovdje je također status fiksiranja GNSS (graf 12) u tim trenucima bio na broju 1 (2D fiksiran) što znači da u tom periodu nisu bili prikupljeni kvalitetni podaci visina. Graf 10 povezan je sa svim prethodno navedenim situacijama te se evidentno može zaključiti da je tijekom gubitka satelita i variranja istih, preciznost (HDOP i VDOP) također varirala sve dok se ponovno nije povećao i stabilizirao broj dostupnih GPS satelita te status fiksiranja GNSS-a postao 3D fiksiran. Ponovno se može reći kako su udaljenosti od idealne trajektorije povezane isključivo uz vanjske utjecaje i prepreke na terenu. Visina je povezana s brojem satelita i statusom fiksiranja GNSS-a. Kada bi postojala mogućnost kretanja idealnom trajektorijom bez vanjskih utjecaja, točnost (u ovom slučaju udaljenost) bi sigurno bila u dopuštenim rasponima deklariranim od strane proizvođača.

6.3 Analiza podataka prikupljenih tramvajem

Prije početka mjerenja zadovoljeni su svi uvjeti postavljanja uređaja. Izvršena je provjera svih sustava, nije bilo potrebe za provođenjem magnetske kalibracije te je sustav radio ispravno. Svi indikatori u softveru *Spatial Manager* bili su zelene boje što znači da je uređaj radio i funkcionirao ispravno. Na slici 14 prikazane su udaljenosti od idealne trajektorije. Podaci su

prikupljani u smjeru tramvajske stanice Kruge, kao i kod sporog hodanja. Na samom početku vidljiva su veća odstupanja, no nakon stajanja tramvaja na semaforu ona se stabiliziraju te vidimo postepeni pad udaljenosti, tj. povećanje točnosti do $\frac{3}{4}$ prijeđene trajektorije. Nakon toga se podaci ponovno udaljavaju od idealne trajektorije sve više kako prolazi vrijeme i sve do kraja trajektorije. U ovom slučaju može se prijeći idealna trajektorija jer nema nikakvih prepreka, tračnice su u potpunosti ravne te ni promet, ni izgrađenost ni zelene površine ne mogu utjecati na točnost, tj. udaljenost. Međutim, evidentno je kako su u većini slučajeva podaci mjerenja udaljeni od idealne trajektorije više od deklariranih raspona od strane proizvođača. Treba napomenuti kako je GNSS antena u ovom slučaju bila stavljena kroz prozor, na desnu gornju stranu tramvaja gledajući u smjeru Kruga. Antenu nije bilo moguće staviti u potpunosti na vrh zbog prevelike udaljenosti do vrha tramvaja. U tablici 3 vidi se kako je broj mjerenja puno manji od oba slučaja hoda (287). Također, kod podataka prikupljenih tramvajem vidljivo je najveće odstupanje od idealne trajektorije u odnosu na sve brzine gibanja. Najmanje odstupanje idealne trajektorije je veće od 2 metra što čak premašuje raspon točnosti deklariran od strane proizvođača. Isto tako, najmanje odstupanje kod tramvaja je veće od svih drugih najmanjih odstupanja. Srednje odstupanje tijekom cijelog mjerenja iznosi 6,780 metara što je izuzetno veliko odstupanje. Graf 13 prikazuje odstupanje podataka od idealne trajektorije. Iz njega se može iščitati kako je na početku udaljenost bila najveća te se s vremenom smanjivala do $\frac{3}{4}$ prijeđenog puta, da bi nakon toga ponovno počela rasti do kraja trajektorije. Uređaj je konstantno tijekom mjerenja primao signale od 18 do 20 satelita (graf 14, graf 15). HDOP i VDOP (graf 16) su gotovo tijekom cijele trajektorije konstantni s minimalnim varijacijama. Također, pogreške tijekom mjerenja za geodetsku širinu, geodetsku duljinu i visinu (graf 17) su konstantne tijekom gotovo cijelog mjerenja. Na samom početku vide se povećani iznosi pogrešaka za sve tri osi koje se kasnije stabiliziraju i približno su konstantne. Status fiksiranja GNSS-a je tijekom cijelog mjerenja bio na broju 2, što znači da je tijekom cijelog mjerenja GNSS bio 3D fiksiran (graf 18). Na temelju svega navedenog, evidentno je kako nikakav vanjski utjecaj nije mogao utjecati na ovako loše rezultate. Također, broj satelita je bio dobar te su HDOP i VDOP bili u korektnim rasponima. U ovom slučaju, može se reći kako vrijeme i prijeđeni put imaju utjecaj na sama mjerenja. Vidljivo je da su se od početka mjerenja udaljenosti postepeno smanjivale do određene točke trajektorije. Zatim, počinje ponovno kontinuirano povećanje istih. Vrijeme i put su u ovom slučaju utječu na mjerenja jer je vidljivo da je bilo potrebno vrijeme i određeni put da se udaljenosti od idealne trajektorije smanje. Vjerojatno je kako je u ovakvim uvjetima uređaju i anteni bilo potrebno određeno vrijeme da se počnu prikupljati kvalitetniji podaci. Međutim, sve udaljenosti su generalno puno veće od

deklariranih. Razlog tome mogu biti tramvajske žice čije električno polje se nalazi direktno iznad GNSS antene te ometa kvalitetno određivanje GNSS pozicije. Isto tako, zveckanje tračnica, škripanje, vibracije podvozja, zvonjava, šištanje zraka, obavijesti za putnike te drugi zvukovi također mogu utjecati uređaj i kvalitetno prikupljanje pozicija i podataka. Generalno, korištenjem INS/GNSS uređaja u tramvaju ne mogu se dobiti dovoljno kvalitetni rezultati te se isti ne mogu upotrijebiti za bilo kakva daljnja precizna istraživanja.

6.4 Analiza podataka prikupljenih automobilom

Prije početka mjerenja zadovoljeni su svi uvjeti postavljanja uređaja. Izvršena je provjera svih sustava, nije bilo potrebe za provođenjem magnetske kalibracije te je sustav radio ispravno. Svi indikatori u softveru *Spatial Manager* bili su zelene boje što znači da je uređaj radio i funkcionirao ispravno. Podaci su prikupljeni u smjeru tramvajske stanice Sveučilišna aleja. Treba napomenuti kako je GNSS antena stavljena gotovo na sredinu krova automobila. Na slici 16 vide se udaljenosti podataka mjerenja od idealne trajektorije. Generalno, podaci izgledaju jako dobro. Vidljivo je kako do samog kraja mjerenja, do posljednjih 50-ak metara podaci više-manje prate idealnu trajektoriju s manjim odstupanjima. 50 metara prije kraja trajektorije automobil je morao stati na semaforu te nakon toga udaljenosti rastu, a točnost pada. U predmetnom slučaju, broj mjerenja je najmanji s obzirom na sve brzine gibanja (211). Navedeno je i logično jer automobil postiže najveće brzine s obzirom na tri prethodno korištene. Tablica 4 prikazuje statističke pokazatelje. U ovom slučaju vidi se najmanje maksimalno odstupanje od idealne trajektorije s obzirom na sve ostale brzine gibanja. Graf 19 prikazuje odstupanje podataka mjerenja od idealne trajektorije. Vidljivo je kako udaljenosti variraju do maksimalno 5 metara sve do samog kraja trajektorije. Tijekom mjerenja prikupljenih automobilom vidljivo je bilo najviše satelita (između 20 i 24). Razlog tome je položaj antene na automobilu te otvoreni horizont bez prepreka. Na grafu 20 vidljivo je kako je broj satelita konstantno varirao između 20 i 24. Također, na samom kraju dolazi do variranja GPS i GLONASS satelita (graf 21) te samim time i HDOP I VDOP vrijednosti (graf 22). Na grafu 23 vidljivo je kontinuirano i podjednako variranje pogrešaka za širinu, duljinu i visinu. Status fiksiranja GNSS-a je tijekom cijelog mjerenja iznosio 3 (graf 24), što znači da je GNSS bio SBAS fiksiran. Drugim riječima, primao je signale poboljšanih sustava tijekom cijelog mjerenja te su samim time i rezultati mjerenja dobri. Na temelju svega navedenog, evidentno je kako je prikupljanje podataka automobilom bilo najefikasnije.

Najmanje je srednje standardno odstupanje u odnosu na preostale tri brzine gibanja. Samim time, automobil se najbliže gibao idealnoj trajektoriji. U automobilu nema tolikih vibracija, zvukova i šumova koji bi mogli ometati prijem signala i točnost pozicije. Također, trajektorija se može gotovo u potpunosti idealno pratiti. Zbog velikog broja prometa postoje odstupanja od idealne trajektorije jer je neophodno prijeći iz trake u traku, zaobići neki automobil ili zaustaviti se na semaforu. Još bolji podaci definitivno bi bili dobiveni tijekom noći jer je tada promet deseterostruko manji (ako ne i više). U takvom slučaju, trajektorija bi se mogla pratiti u potpunosti idealno. Uz zadovoljavanje svih uvjeta uređaja takvi podaci bili bi još kvalitetniji, međutim ni u ovom slučaju nisu loši. Evidentno je kako bi se automobilom u idealnim uvjetima mogli prikupljati kvalitetni podaci mjerenja te bi se isti mogli upotrijebiti u različite svrhe i daljnja istraživanja. Vrijeme i put u ovom slučaju ne utječu na točnost i kvalitetu prikupljenih podataka. Točnost i kvaliteta podataka isključivo ovise o vanjskim uvjetima i neophodnim potrebama u prometu. Kada bi postojala mogućnost kretanja idealnom trajektorijom bez vanjskih utjecaja kao što je promet, točnost bi definitivno bila u dopuštenim rasponima deklariranim od strane proizvođača.

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je analizirati preciznost mjerenja inercijalnih mjernih jedinica (IMU) na horizontalnom pravcu pri četiri različite brzine gibanja: sporo hodanje, brzo hodanje, vožnja tramvajem i vožnja automobilom. Korištenjem različitih visina antena i uvjeta gibanja, prikupljeni su podaci koji su omogućili usporedbu preciznosti i kvalitete mjerenja u specifičnim urbanim uvjetima.

Rezultati istraživanja pokazali su značajne razlike u preciznosti mjerenja ovisno o vrsti gibanja. Podaci prikupljeni hodaњem, iako su u nekim dijelovima značajno odstupali od idealne trajektorije, općenito su bili precizni s obzirom na specifične urbane uvjete. Najveća odstupanja zabilježena su u dijelovima gdje je idealna trajektorija prolazila kroz različite prepreke u okolišu, kao što su promet, pješački prijelazi i izgrađenost. Ipak, podaci prikupljeni uz rub kolnika ili pločnika bili su u većini slučajeva točni, jer su odgovarali stvarnim uvjetima kretanja. Također, iako su se podaci u nekim dijelovima razlikovali od idealne trajektorije, odstupanja su bila uzrokovana vanjskim faktorima na koje istraživač nije mogao utjecati, poput prirodnih barijera (zelenih površina i slično). S obzirom na sve ove okolnosti, zaključuje se kako je hodanje, bilo sporo ili brzo, dobra metoda za prikupljanje kvalitetnih podataka u urbanim sredinama, gdje se većina podataka može smatrati preciznima, uz razumijevanje postojećih vanjskih utjecaja.

Podaci prikupljeni tramvajem pokazali su slične trendove, no s naglašenijim odstupanjima ovisno o vremenu i prijeđenom putu. Točnost mjerenja bila je niska u početnim fazama mjerenja, no kako je vrijeme prolazilo i tramvaj prelazio veće udaljenosti, preciznost je rasla do određene točke, da bi naposljetku ponovno počela opadati. Ovo odstupanje najvjerojatnije je posljedica vibracija tramvaja, trenja i elektromagnetskih smetnji koje su utjecale na rad inercijalne mjerne jedinice. Iako su podaci prikupljeni tramvajem općenito pružili korisne podatke, važno je napomenuti da se u tramvaju mjerenja često odnose na dinamično okruženje gdje razni faktori, poput brzine vožnje, nagiba pruge i utjecaja električnog polja, mogu negativno utjecati na točnost podataka. Zbog toga se može zaključiti da podaci prikupljeni tramvajem nisu dovoljno precizni za aplikacije koje zahtijevaju visoku točnost, a odstupanja od idealne trajektorije bila su veća nego u svim ostalim slučajevima mjerenja.

Podaci prikupljeni automobilom također su pokazali visoku preciznost, ali su podložni vanjskim utjecajima specifičnim za urbane sredine. Glavni faktori koji su utjecali na točnost mjerenja uključuju promet, potrebu za mijenjanjem voznih traka, kretanje kroz raskrižja i zaklonjenost zgradama, što je povremeno uzrokovalo smanjenje preciznosti, posebno u zonama s gustim prometom. Ipak, rezultati mjerenja automobilom ukazuju na vrlo nisku stopu odstupanja od idealne trajektorije u usporedbi s tramvajem i hodanjem, dok su podaci bili dosljedni tijekom većine mjerenja. S obzirom na vanjske utjecaje, najveća odstupanja dogodila su se pri stajanju na semaforima i u zonama zaklonjenosti zgrada, što je dodatno smanjilo točnost podataka. Iako je automobilom moguće prikupiti vrlo kvalitetne podatke, jasno je da bi preciznost bila znatno veća kad bi uvjeti prometa bili stabilniji, bez čestih zaustavljanja i promjena traka.

Zaključno, ovo istraživanje potvrđuje da brzina gibanja, uvjeti okoliša, visina antena i vanjski faktori, poput prometa, elektromagnetskih smetnji i zaklonjenosti zgradama, igraju ključnu ulogu u preciznosti mjerenja inercijskom mjernom jedinicom u urbanim sredinama. Dok hodanje, bilo sporo ili brzo, omogućuje vrlo precizna mjerenja u uvjetima tipičnim za gradsku okolinu, vožnja tramvajem i automobilom donosi izazove zbog specifičnih smetnji koje utječu na točnost mjerenja. S obzirom na ove zaključke, preporučuje se korištenje IMU tehnologije u kombinaciji s drugim metodama mjerenja i pravilnom obradom podataka kako bi se postigla što veća preciznost i pouzdanost rezultata. Također, buduće studije trebaju se usmjeriti na dodatno istraživanje mogućnosti smanjenja vanjskih utjecaja i unapređenje algoritama za analizu podataka prikupljenih u dinamičnim uvjetima urbanih sredina.

8. POPIS LITERATURE

- [1] Nevistić, Z. (2024): Integrirani sustavi u geomatici, Rad s INS/GNSS uređajem i pripadajućim softverom, Zagreb
- [2] Horvat, G. (2014). *Analiza softverskog paketa za obradu integriranih INS/GNSS navigacijskih podataka i primjena sustava* (Doctoral dissertation, Geodetski fakultet).
- [3] Advanced Navigation (2017): *Spatial Reference Manual* – version 4.3, Sydney, Australia

9. IZVORNICI

URL 1: <https://www.stentec.com/anonftp/pub/wingps/pnpblockersetup.exe> (7.11.2024.)

URL 2: <https://fdichip.com/drivers/vcp-drivers/> (7.11.2024.)

URL 3: <https://www.advancednavigation.com/documentation/> (7.11.2024.)

URL 4: <https://geoportal.zagreb.hr/> (19.12.2024.)

URL 5: https://www.tersus-gnss.com/tech_blog/what-is-dop-in-gnss (19.12.2024.)