



Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Diplomski studij Geoinformatika
Kolegij: **Integrirani sustavi u geomatici, III. semestar**

INS/GNSS mjerenje i analiza podataka

Seminarski rad

Luka Križanac, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.

Sara Lozić, univ. bacc. ing. geod. et geoinf.

Zagreb, siječanj 2025

Sažetak: U ovom radu analiziran je proces prikupljanja, obrade i analize podataka korištenjem INS/GNSS uređaja na zadanoj trajektoriji u Zagrebu. Terensko mjerenje provedeno je INS/GNSS uređajem, dok su podaci obrađeni i vizualizirani pomoću QGIS-a. Zadana trajektorija uključivala je kružni oblik duljine oko 1 km, a mjerenje je obuhvatilo četiri različita tipa gibanja: hodanje, trčanje, električni romobil i automobil.

Nakon terenskog mjerenja, podaci su konvertirani i transformirani u odgovarajuće formate za daljnju analizu. U QGIS-u su izrađene idealne trajektorije za usporedbu s podacima prikupljenima tijekom mjerenja. Rezultati su analizirani prema odstupanjima od idealne trajektorije te su prikazani grafički, uključujući HDOP i VDOP vrijednosti za procjenu točnosti GNSS signala. Uspoređeni su rezultati za izabrane vrste gibanja, pri čemu su analizirani podaci kao što su odstupanje od idealne trajektorije, vidljivost satelita te raspon mjerenja akcelerometra i žiroskopa.

Ovaj rad pokazuje kako integrirani INS/GNSS sustavi u kombinaciji s geoinformatičkim alatima omogućuju preciznu analizu podataka i vizualizaciju rezultata u prostoru, pružajući vrijedan uvid u dinamiku gibanja i kvalitetu navigacijskih sustava.

Ključne riječi: INS/GNSS uređaj, QGIS, terensko mjerenje, idealna trajektorija, vidljivost satelita, odstupanje, HDOP, VDOP, analiza gibanja, vizualizacija podataka

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Terensko mjerenje s INS/GNSS uređajem	2
2.1. INS/GNSS uređaj i softver	2
2.2. Terensko mjerenje	5
3. Obrada podataka mjerenja	8
4. Analiza podataka mjerenja	9
4.1. Analiza cjelokupne trajektorije (hodanje).....	9
4.1.1. Analiza segmenta(hodanje).....	10
4.1.2. Analiza segmenta 2-3 (hodanje).....	11
4.1.3. Analiza segmenta 3-4 (hodanje).....	12
4.1.4. Analiza segmenta 4-1 (hodanje).....	13
4.2. Analiza cjelokupne trajektorije (trčanje).....	14
4.2.1. Analiza segmenta 1-2 (trčanje).....	15
4.2.2. Analiza segmenta 2-3 (trčanje).....	16
4.2.3. Analiza segmenta 3-4 (trčanje).....	17
4.2.4. Analiza segmenta 4-1 (trčanje).....	18
4.3. Analiza cjelokupne trajektorije (romobil).....	19
4.3.1. Analiza segmenta 1-2 (romobil).....	20
4.3.2. Analiza segmenta 2-3 (romobil).....	21
4.3.3. Analiza segmenta 3-4 (romobil).....	22
4.3.4. Analiza segmenta 4-1 (romobil).....	23
4.4. Analiza cjelokupne trajektorije (automobil).....	24
4.4.1. Analiza segmenta 1-2 (automobil).....	26
4.4.2. Analiza segmenta 2-3 (automobil).....	27
4.4.3. Analiza segmenta 3-4 (automobil).....	28
4.4.4. Analiza segmenta 4-1 (automobil).....	29
5. Usporedba gibanja	31
6. Zaključak	42
7. Literatura.....	43

1. Terensko mjerenje s INS/GNSS uređajem

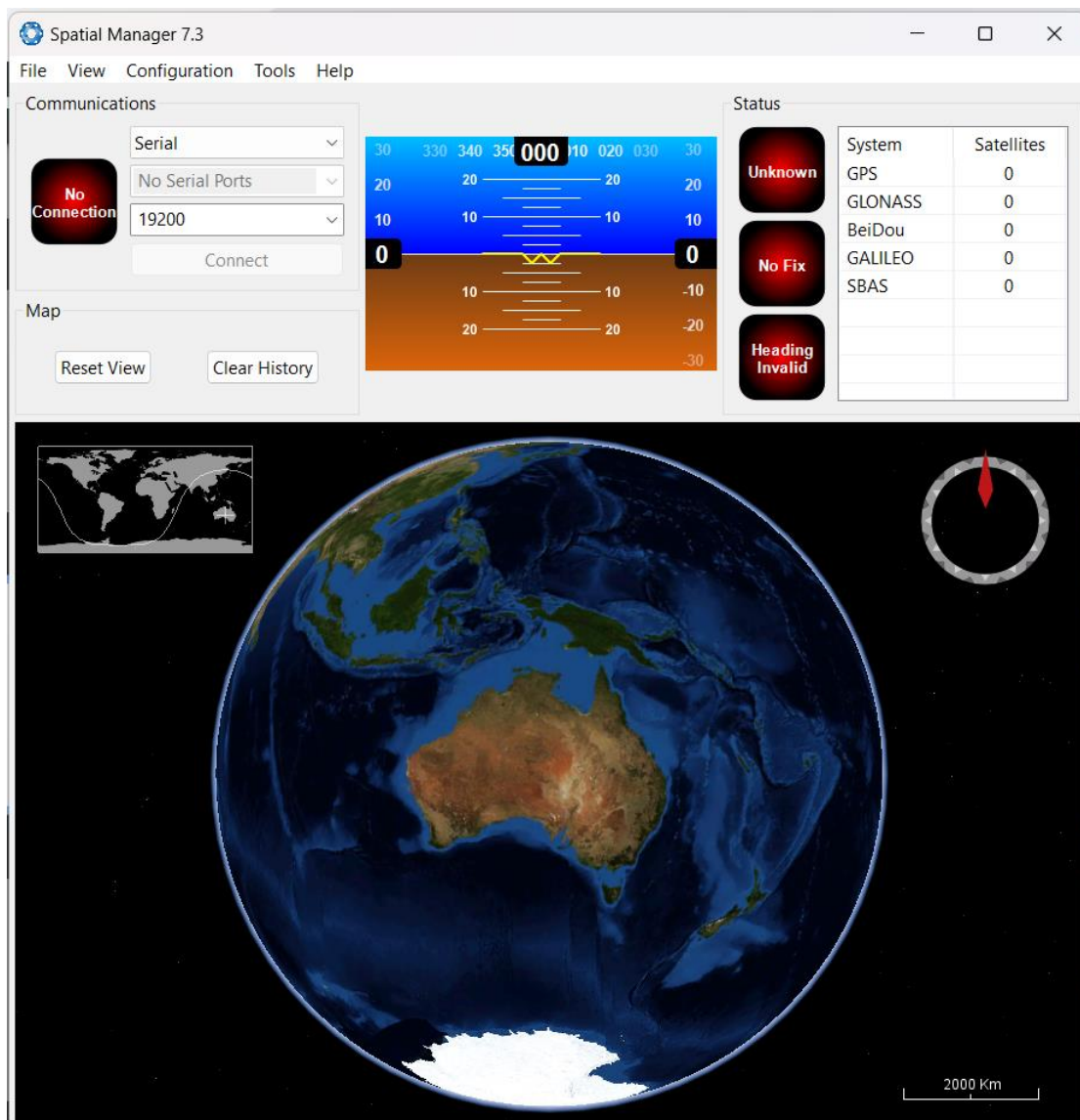
1.1. INS/GNSS uređaj i softver

Mjerenje se provodi pomoću uređaja Spatial INS/GNSS tvrtke Advanced Navigation. Uređaj se sastoji od GNSS antene, antenskog kabela, INS/GNSS uređaja (MEMS u kućištu) i serijskog kabela za povezivanje s računalom. Uz uređaj je korišten i aplikativni program Spatial Manager. Spatial INS/GNSS pruža navigacijsko rješenje kombinacijom inercijalnog navigacijskog sustava (INS) i globalnih navigacijskih satelitskih sustava (GNSS), omogućujući precizno određivanje položaja, brzine, ubrzanja i orijentacije. Integrira temperaturno kalibrirane akcelerometre, žiroskope, magnetometre i senzor tlaka s naprednim GNSS prijammnikom. Podržani navigacijski sustavi uključuju GPS L1, GLONASS L1, GALILEO E1 i BeiDou L1, dok SBAS sustavi (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN, QZSS) omogućuju poboljšanu horizontalnu točnost od 2 m (2,5 m bez SBAS-a). Rad svih senzora opisan je u koordinatnom sustavu uređaja, definiranom osima x, y i z, s početnom točkom unutar uređaja. Orijentacija se izražava putem Eulerovih kutova: nagib (rotacija oko x-osi), posrtanje (rotacija oko y-osi) i skretanje (rotacija oko z-osi).



Slika 2. INS/GNSS uređaj s prikazom orijentacije osi

Za mjerenje je potrebno koristiti Spatial Manager programski paket zajedno s uređajem. Softver ne zahtijeva instalaciju, ali za pokretanje je nužna najnovija verzija Java platforme. Spatial Manager temelji se na Advanced Navigation Packet Protocolu (ANPP), binarnom protokolu tvrtke Advanced Navigation, koji omogućuje komunikaciju između softvera i njihovih uređaja. Softver omogućuje postavljanje parametara prije mjerenja, praćenje podataka u stvarnom vremenu te spremanje rezultata u tekstualnu datoteku nakon mjerenja. Spatial Manager je bilo potrebno postaviti u zasebnu mapu na računalu jer se prilikom mjerenja svi podaci automatski u tu mapu spremaju.



Slika 3. Korisničko sučelje Spatial Managera

Tijekom mjerenja uređaj mora biti povezan s prijenosnim računalom putem kabela, uz otvorenu aplikaciju. U gornjem lijevom kutu sučelja nalazi se USB prikaz, dok središnji dio prikazuje grafičke podatke o navigaciji i orijentaciji. Desni kut prikazuje status uređaja i GNSS sustava. Antenski indikator mora biti zelene boje s oznakom „Healthy“, što potvrđuje ispravnu vezu antene. Status „3D fix“ je ključan za normalno mjerenje, a može biti postignut putem SBAS sustava, kao 2D fix (bez visinskih podataka) ili kao „nije fiksiran“ (potrebna magnetska kalibracija). „2D fix“ se javlja pri lošoj vidljivosti satelita, dok „nije fiksiran“ znači da nema vidljivih satelita. Po završetku mjerenja, podaci se konvertiraju alatom „Log Converter“ za daljnju obradu i analizu.

Tablica 1. Tehničke specifikacije ugrađenog GNSS prijemnika i antene (deklarirane od strane proizvođača)

Parametar	Vrijednost parametra
Podržani navigacijski sustav	GPS L1 GLONASS L1 GALILEO E1 BeiDou L1
Poboljšani navigacijski sustavi (SBAS)	WAAS EGNOS MSAS GAGAN QZSS
Horizontalna točnost	2,5 m
Horizontalna točnost (s SBAS–om)	2,0 m

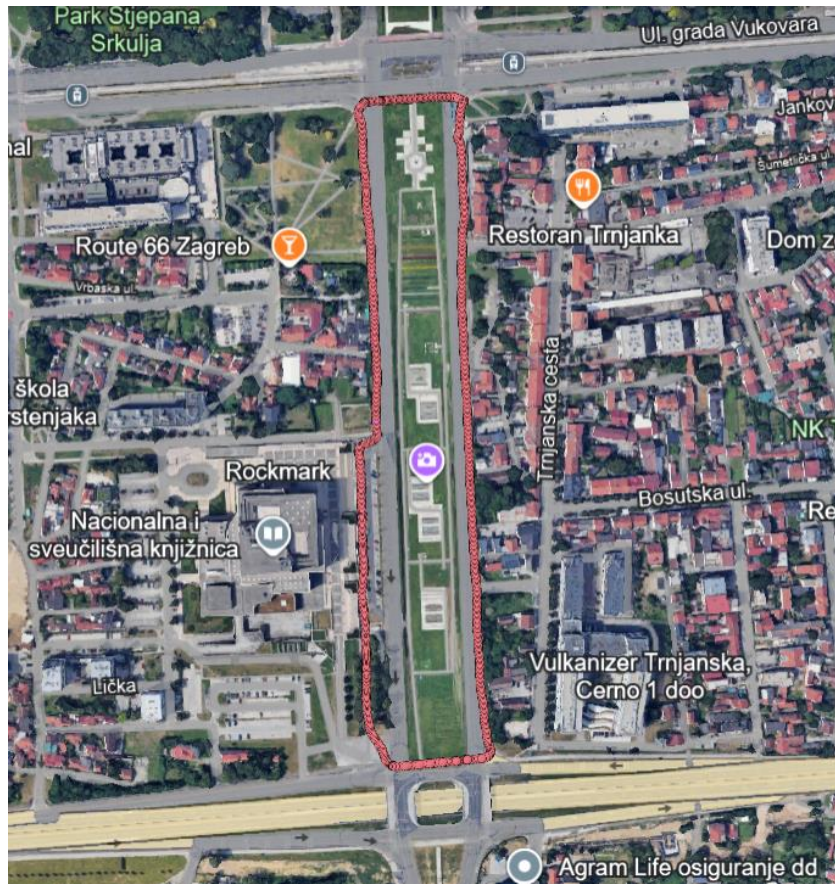
Tablica 2. Navigacijske specifikacije Spatial INS/GNSS uređaja (deklarirane od strane proizvođača)

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

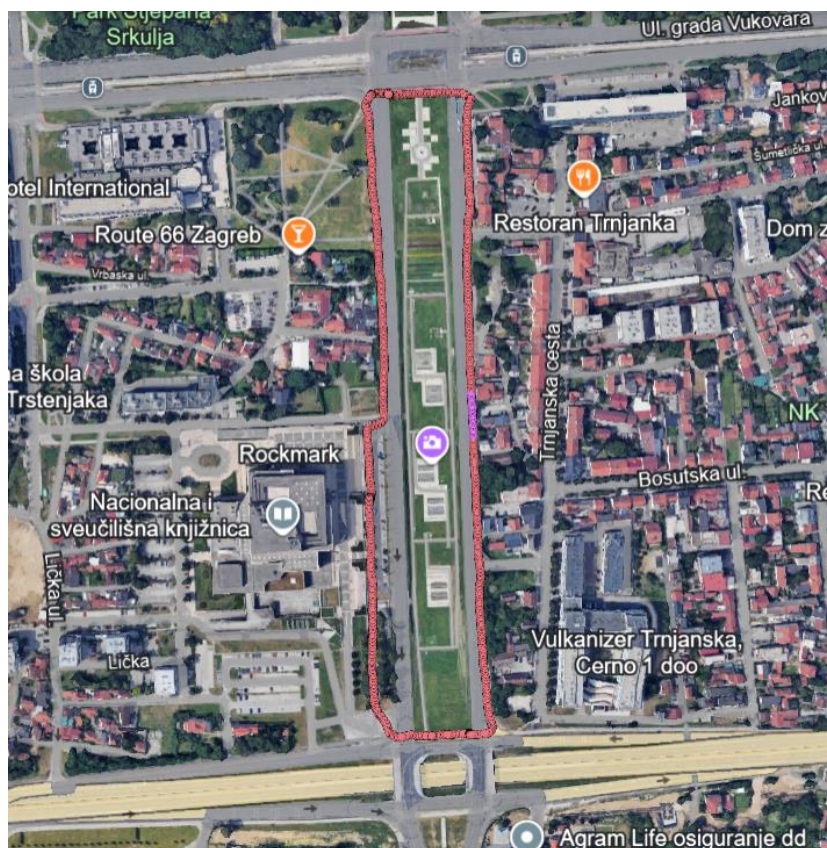
1.2. Terensko mjerenje

Terensko mjerenje je obavljeno INS/GNSS uređajem dana 26.11.2024. godine između 12:30 i 14:45 h, a bilo je oblačno vrijeme s laganim vjetrovom. Mjerenje je obavljeno u grupi od dva člana radi jednostavnijeg obavljanja mjerenja jer je bilo potrebno bar dvoje ljudi radi nošenja opreme i instrumenata. INS/GNSS uređaj se spaja s prijenosnim računalom serijskim kablom, a s antenskim kablom na antenu. Članovi grupe su bili Luka Križanac i Sara Lozić. Prvo smo preuzeli instrumente i opremu na Geodetskom fakultetu u Savskoj ulici pa krenuli do izabranog područja mjerenja. Jedan od članova bio je zadužen za rukovanje INS/GNSS uređajem, a drugi za nošenje prijenosnog računala i praćenje statusa u aplikaciji Spatial Manager. U Spatial Manageru potrebno je namjestiti ratu USB Serial Porta na 19200, kao i ratu registracije na 1 sekundu. Prvi korak kod izlaska na teren je postavljanje GNSS antene u horizontalni položaj s čistim horizontom. Zatim spojiti antenu i uređaj kabelom (fiksno), a uređaj povezati s računalom serijskim kabelom (napajanje). Nakon što zasvijetli zelena lampica, ostaviti uređaj da samostalno opaža od 5 do 15 minuta. Mjerenje se obavlja na način da je orijentacija x osi INS/GNSS uređaja u smjeru gibanja, z osi prema središtu Zemlje, a y osi na desnu stranu. Važno je što pravocrtnije hodati po trajektoriji koja se mjeri.

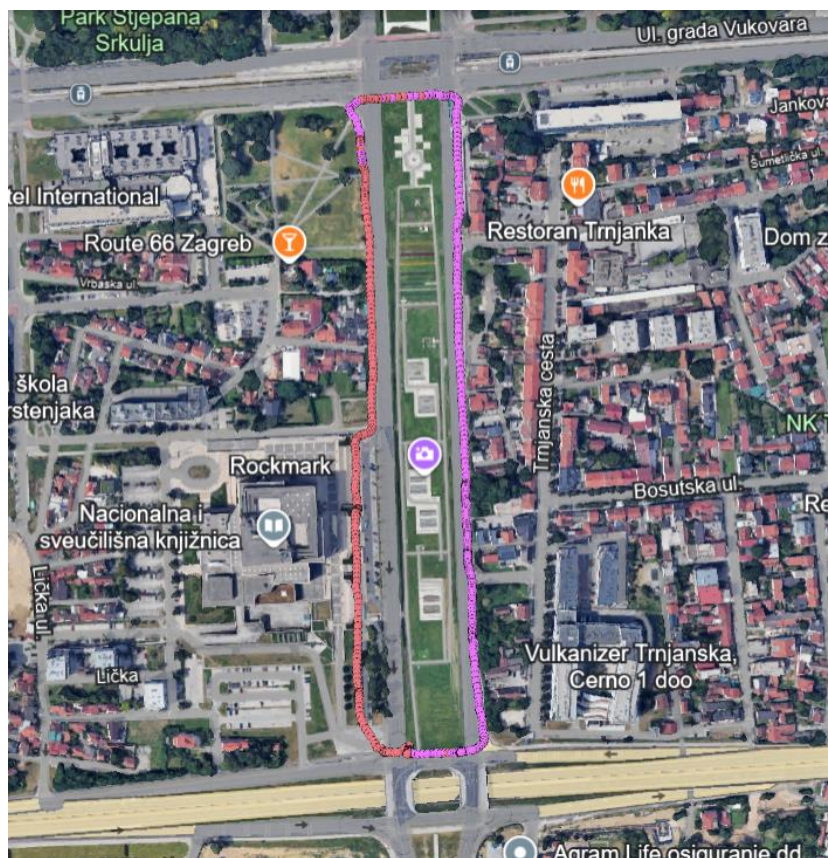
Zadanu trajektoriju oko fontana smo mjerili s četiri različita gibanja, prvo hodanjem, drugo laganim trčanjem, treće električnim romobilom, a posljednje tj. četvrto mjerenje pomoću automobila. Svako od mjerenja je prošlo bez ikakvih problema, nije bilo nikakvih prepreka osim što se trebalo zaustavljati na semaforima kako bi se prešla cesta i nije bilo mogućnosti kod Nacionalne sveučilišne knjižnice proći bliže cesti zbog prepreka na putu, na tom mjestu nije bilo bližeg nogostupa i bili su parkirani automobili pored ceste. Nakon završetka mjerenja dobivene podatke bilo potrebno konvertirati iz formata .anpp pomoću alata „Log converter“. Rezultat konverzije je datoteka sa statističkim i geometrijskim podacima mjerenja u .csv, .kml, .gpx i .txt formatima. Geometrija u .kml formatu učitana je u Google Earth radi kontrole uspješnosti izvođenja terenskih mjerenja. U nastavku su prikazi svih gibanja, obavljenih tijekom mjerenja, prikazani u Google Earth-u.



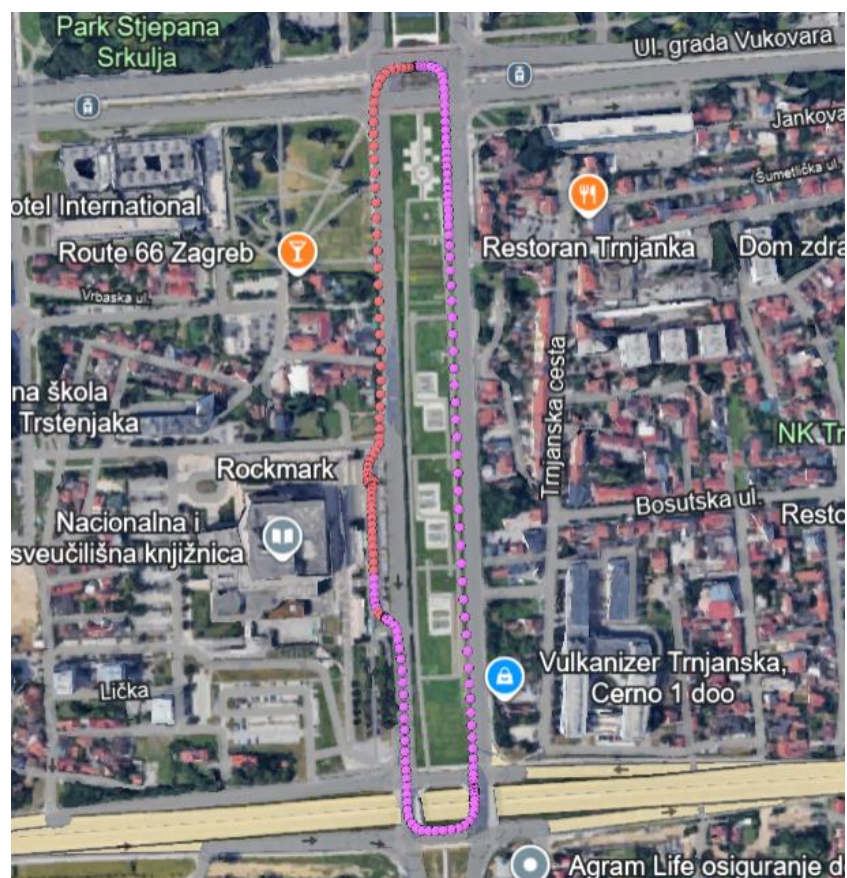
Slika 4. Podaci mjerenja učitani u Google Earth (hodanje)



Slika 5. Podaci mjerenja učitani u Google Earth (trčanje)



Slika 6. Podaci mjerenja učitani u Google Earth (eklektični romobil)



Slika 7. Podaci mjerenja učitani u Google Earth (automobil)

2. Obrada podataka mjerenja

Nakon završetka mjerenja, potrebno je obraditi i analizirati prikupljene podatke. Za početnu obradu korišten je QGIS 3.28.15 uz integrirani GRASS dodatak. Kao referentni koordinatni sustav odabran je HTRS96/TM, službeni sustav Republike Hrvatske. Sljedeći korak je učitavanje .csv datoteke „State“ koja sadrži podatke mjerenja u WGS84 sustavu. Bilo je potrebno dobiveni sloj transformirati u .shp datoteku u HTRS96/TM sustav, a onda su se odredile točke idealne trajektorije u QGIS-u kako bi lakše dobili idealnu trajektoriju. Zatim je stvoren novi linijski vektorski sloj „idealna trajektorija“ kod kojeg su ravnim linijama spojene određene točke kako bi se podaci mjerenja mogli jednostavnije analizirati. Naravno, učitana je i odgovarajuća podloga, DOF 2018 (grad Zagreb), kao WMS servis. Treba analizirati i usporediti sve odabrane brzine gibanja.

Prvo se krenulo s analizom podataka prikupljenih tijekom prve odabrane brzine tj. s podacima prikupljenih hodanjem. Računa se minimalna udaljenost svih pojedinih točaka mjerenja od idealne trajektorije, a za to je korišten QGIS plugin „NNJoin“. Nakon provedbe izračuna pomoću tog plugin-a stvara se novi sloj kod kojeg se u atributnoj tablici pojavljuje polje „distance“ gdje se nalaze dobivene udaljenosti svih podataka mjerenja od idealne trajektorije. Dobiveni sloj se eksportira u .csv datoteku te se nastavlja obrada u MS Excel-u.



Slika 8. Prikaz idealne trajektorije (crni poligon) i podataka mjerenja (hodanje - ljubičaste točke)

3. Analiza podataka mjerenja

U softveru MS Excel učitani su novi slojevi iz kojih nam je bitan stupac „distance“ (udaljenost). Osim udaljenosti, bitni su nam podaci o broju satelita tijekom mjerenja koji se nalaze u konvertiranoj datoteci „Satellites“ koji smo dobili ranije iz Spatial Managera. Iz te datoteke potrebno je bilo kopirati stupce koji sadrže brojeve vidljivih satelita tijekom mjerenja, a to su stupci koji označavaju satelite GPS, GLONASS i SBAS. Zatim se pomoću kopiranih podataka i udaljenosti računa odstupanje mjerenja od idealne trajektorije, kao i vidljivost satelita.

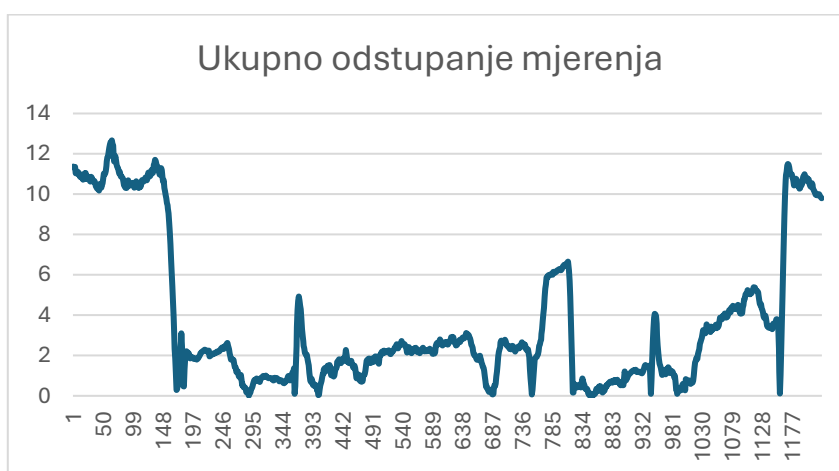
Prvo se računa ukupno odstupanje mjerenja te vidljivost satelita, a zatim za svaki segment posebno odstupanje, kao i vidljivost satelita tijekom tog segmenta. Mjerenja su se prikupljala u smjeru obrnutom od smjera kazaljke na satu, pa su segmenti zato razdvojeni na ovaj način: 1-2, 2-3, 3-4, 4-1.

U nastavku svi grafovi odstupanja mjerenja su prikazani u metrima.

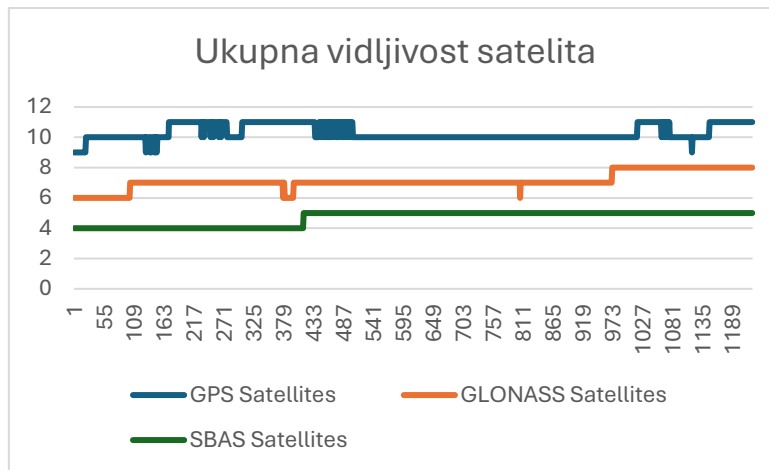
3.1. Analiza cjelokupne trajektorije (hodanje)

Tablica 3. Statistički podaci za cjelokupno mjerenje (hodanje)

Ukupan broj mjerenja	1225
Aps. srednje odstupanje [m]	3.6843
Najveće odstupanje [m]	12.6673
Najmanje odstupanje [m]	0.0112
Standardno odstupanje [m]	3.6007
Prosječni broj vidljivih satelita	22.0784



Graf 1. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije tijekom cijelog mjerenja (hodanje)



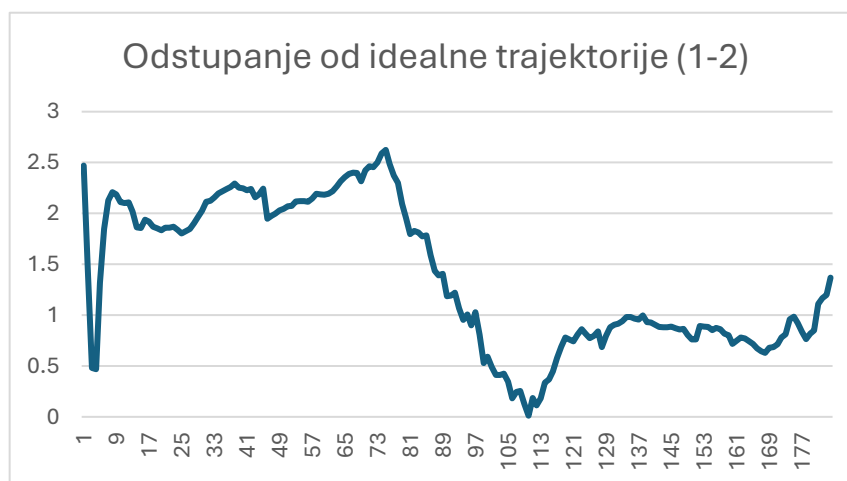
Graf 2. Vidljivost satelita za pojedinu točku tijekom cijelog mjerenja (hodanje)

Vidljivo je iz dobivenih rezultata analize odstupanja mjerenja od idealne trajektorije da odstupanje nije toliko veliko osim na području pored Nacionalne sveučilišne knjižnice gdje nije bilo mogućnosti biti bliže cesti tj. idealnoj trajektoriji. Vidljivost satelita je dobra tijekom cijelog mjerenja.

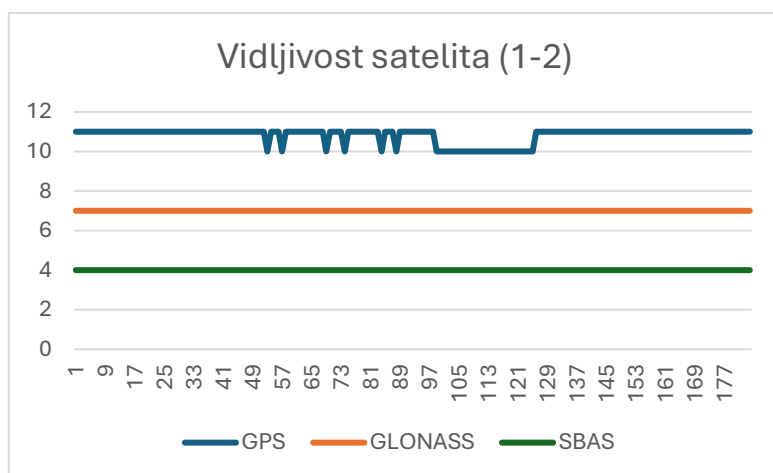
3.1.1. Analiza segmenta 1-2 (hodanje)

Tablica 4. Statistički podaci za segment 1-2 (hodanje)

Ukupan broj mjerenja	184
Aps. srednje odstupanje [m]	1.3795
Najveće odstupanje [m]	2.6239
Najmanje odstupanje [m]	0.0112
Standardno odstupanje [m]	0.7098
Prosječni broj vidljivih satelita	21.8207



Graf 3. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (hodanje)

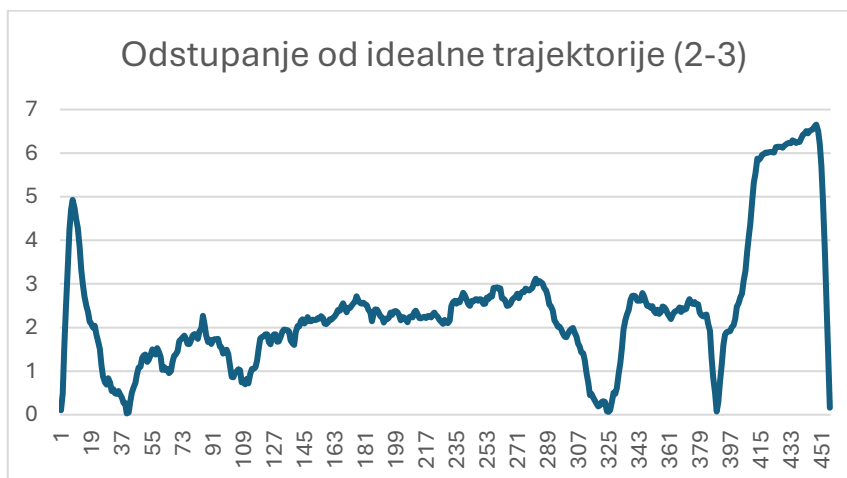


Graf 4. Vidljivost satelita za pojedinu točku (hodanje)

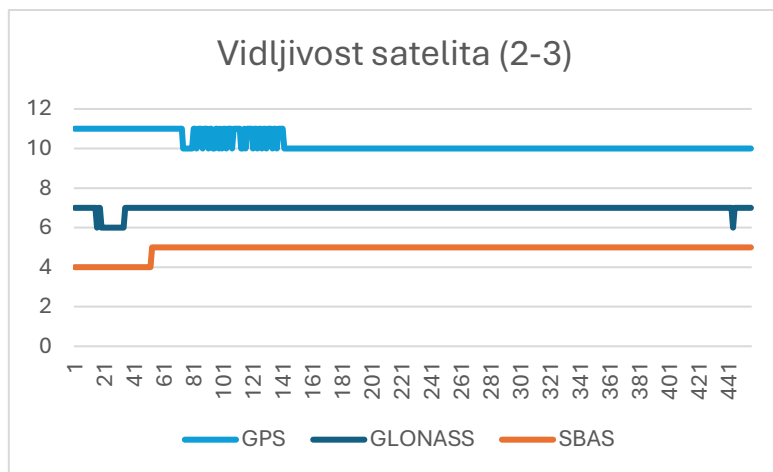
3.1.2. Analiza segmenta 2-3 (hodanje)

Tablica 5. Statistički podaci za segment 2-3

Ukupan broj mjerenja	456
Aps. srednje odstupanje [m]	2.3744
Najveće odstupanje [m]	6.6545
Najmanje odstupanje [m]	0.0290
Standardno odstupanje [m]	1.4506
Prosječni broj vidljivih satelita	22.1009



Graf 5. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (hodanje)

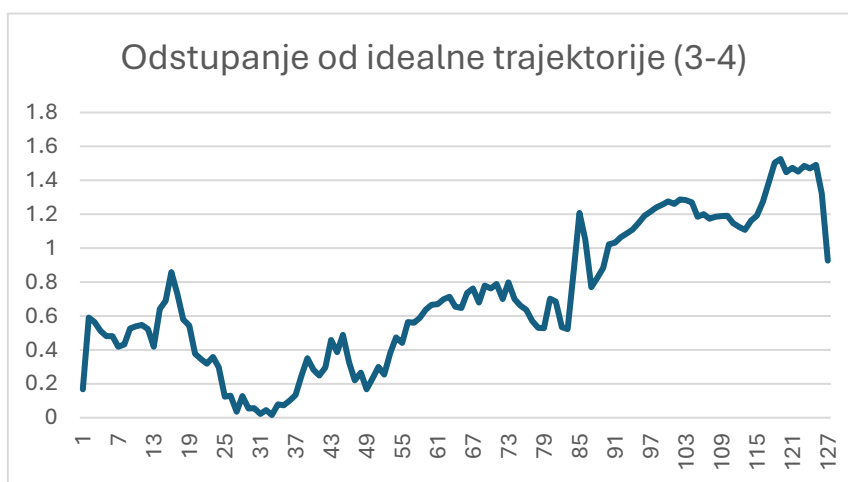


Graf 6. Vidljivost satelita za pojedinu točku (hodanje)

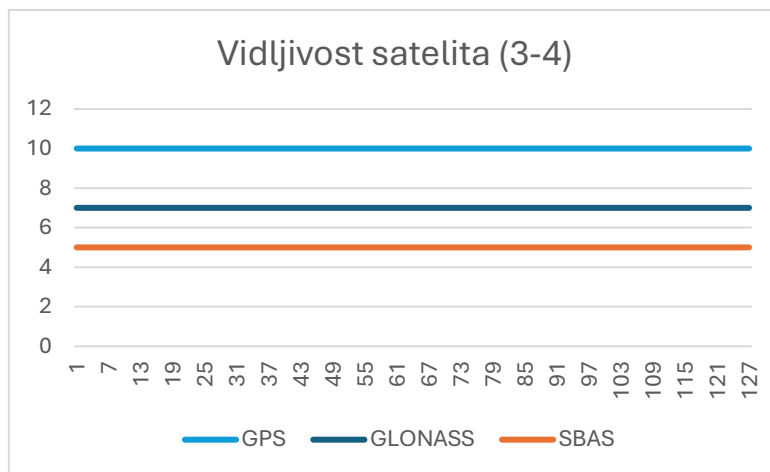
3.1.3. Analiza segmenta 3-4 (hodanje)

Tablica 6. Statistički podaci za segment 3-4

Ukupan broj mjerenja	127
Aps. srednje odstupanje [m]	0.7101
Najveće odstupanje [m]	1.5255
Najmanje odstupanje [m]	0.0156
Standardno odstupanje [m]	0.4194
Prosječni broj vidljivih satelita	22.0000



Graf 7. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (hodanje)

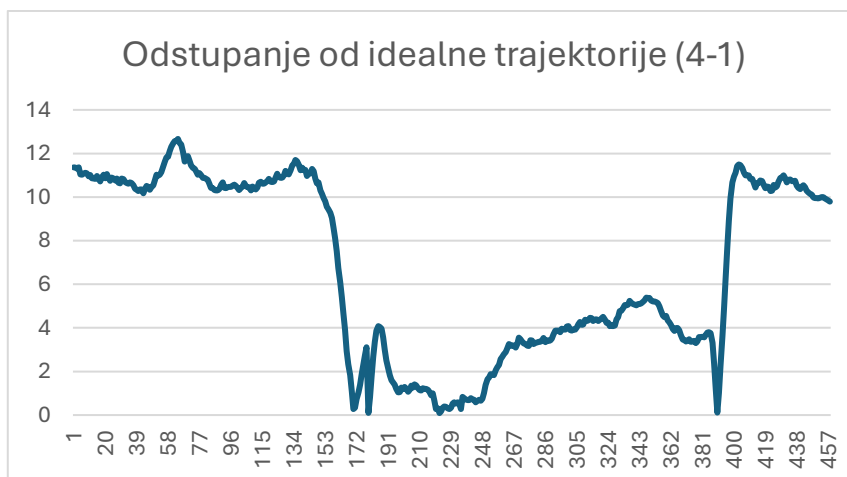


Graf 8. Vidljivost satelita za pojedinu točku (hodanje)

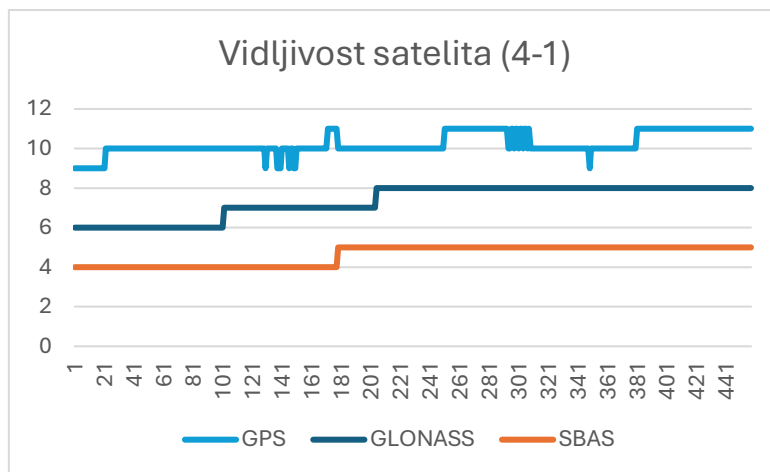
3.1.4. Analiza segmenta 4-1 (hodanje)

Tablica 7. Statistički podaci za segment 4-1

Ukupan broj mjerenja	458
Aps. srednje odstupanje [m]	6.7392
Najveće odstupanje [m]	12.6673
Najmanje odstupanje [m]	0.0918
Standardno odstupanje [m]	4.0886
Prosječni broj vidljivih satelita	22.1812



Graf 9. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (hodanje)

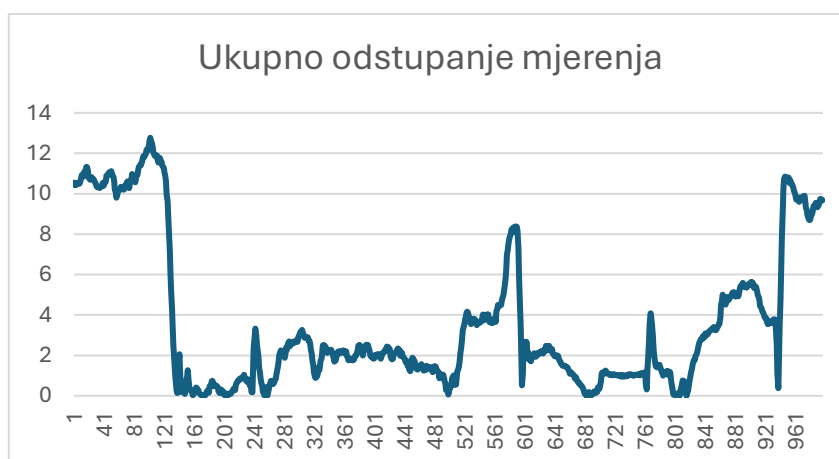


Graf 10. Vidljivost satelita za pojedinu točku (hodanje)

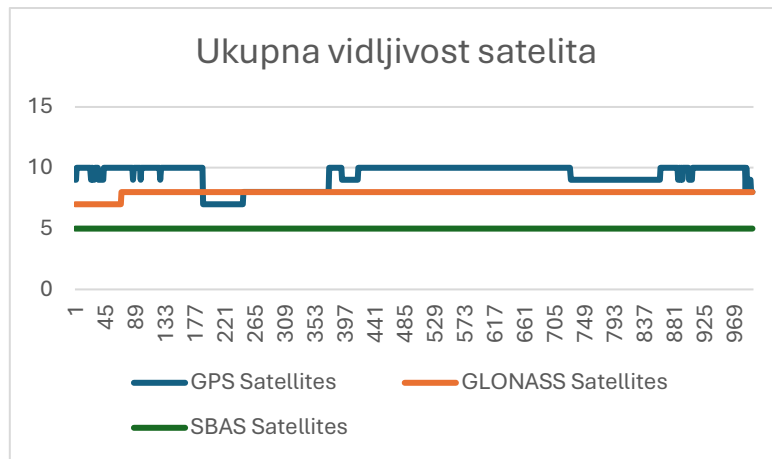
3.2. Analiza cjelokupne trajektorije (trčanje)

Tablica 8. Statistički podaci za cjelokupno mjerenje (trčanje)

Ukupan broj mjerenja	997
Aps. srednje odstupanje [m]	3.6421
Najveće odstupanje [m]	12.7671
Najmanje odstupanje [m]	0.0009
Standardno odstupanje [m]	3.6229
Prosječni broj vidljivih satelita	22.2828



Graf 11. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije tijekom cijelog mjerenja (trčanje)



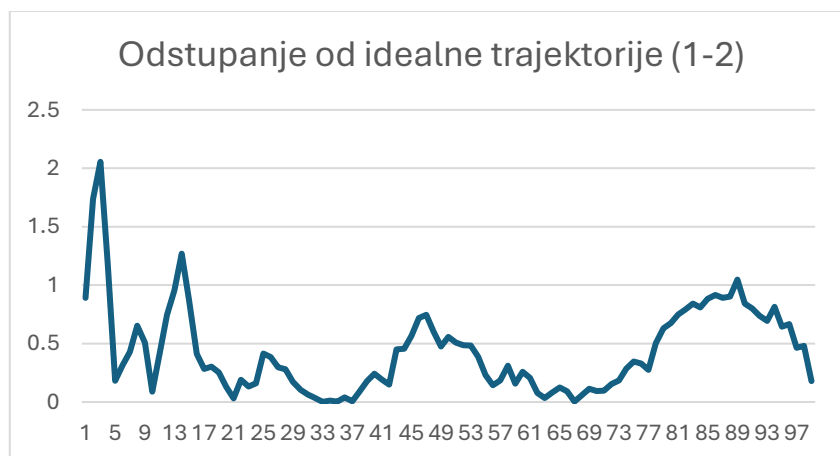
Graf 12. Vidljivost satelita za pojedinu točku tijekom cijelog mjerenja (trčanje)

Prilikom mjerenja ovom vrstom gibanja na trajektoriji nije bilo nikakvih fizičkih ni tehničkih smetnji. Duž cijele trajektorije GNSS antena je uvijek bila spojena sa satelitima i ni u jednom trenutku se ta veza nije prekinula.

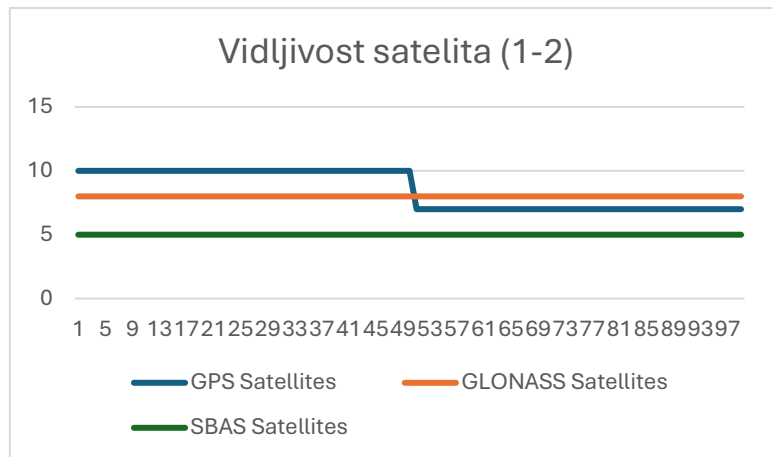
3.2.1. Analiza segmenta 1-2 (trčanje)

Tablica 9. Statistički podaci za segment 1-2

Ukupan broj mjerenja	99
Aps. srednje odstupanje [m]	0.4351
Najveće odstupanje [m]	2.0555
Najmanje odstupanje [m]	0.0009
Standardno odstupanje [m]	0.3736
Prosječni broj vidljivih satelita	21.5152



Graf 13. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (trčanje)

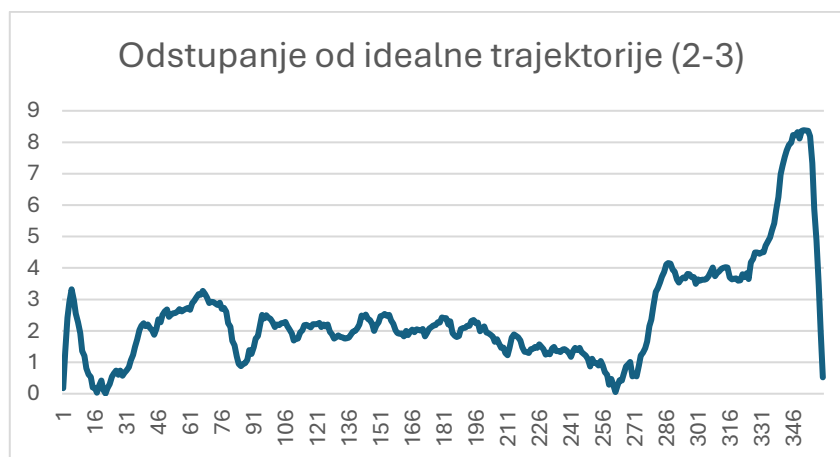


Graf 14. Vidljivost satelita za pojedinu točku (trčanje)

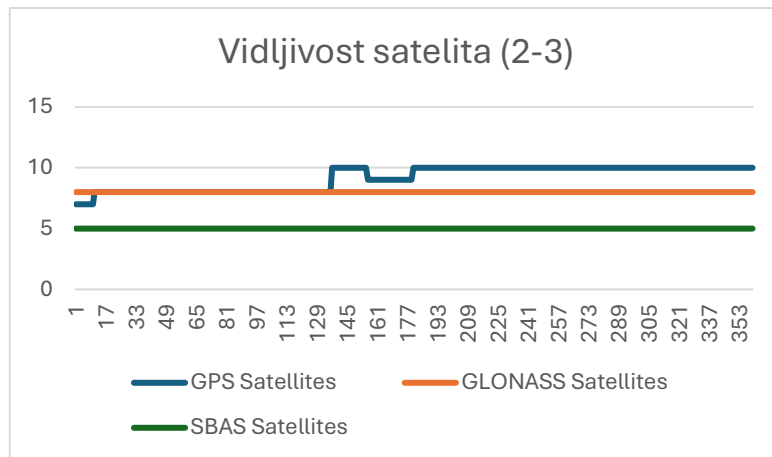
3.2.2. Analiza segmenta 2-3 (trčanje)

Tablica 10. Statistički podaci za segment 2-3

Ukupan broj mjerenja	360
Aps. srednje odstupanje [m]	2.4404
Najveće odstupanje [m]	8.3822
Najmanje odstupanje [m]	0.0048
Standardno odstupanje [m]	1.6240
Prosječni broj vidljivih satelita	22.1500



Graf 15. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (trčanje)

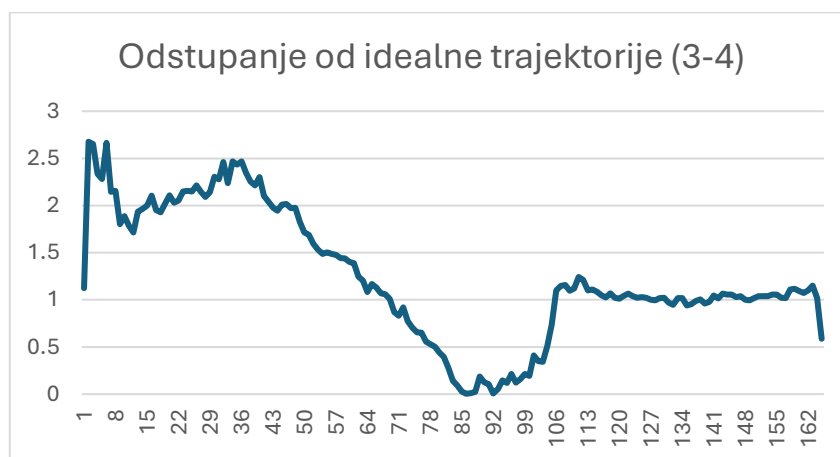


Graf 16. Vidljivost satelita za pojedinu točku (trčanje)

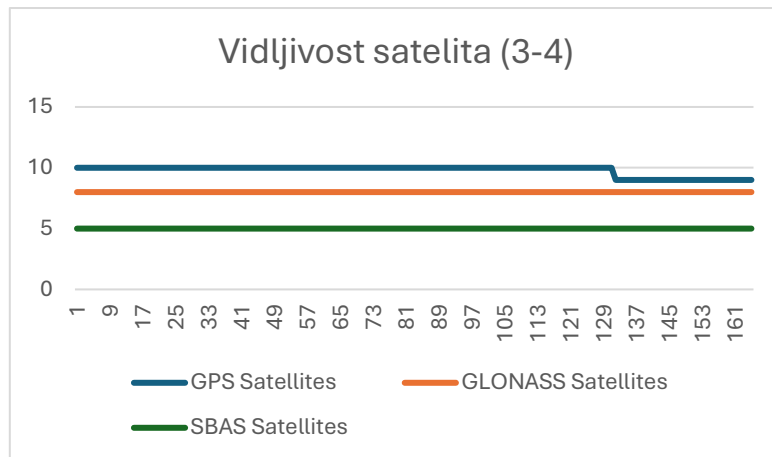
3.2.3. Analiza segmenta 3-4 (trčanje)

Tablica 11. Statistički podaci za segment 3-4

Ukupan broj mjerenja	165
Aps. srednje odstupanje [m]	1.2484
Najveće odstupanje [m]	2.6769
Najmanje odstupanje [m]	0.0038
Standardno odstupanje [m]	0.6858
Prosječni broj vidljivih satelita	22.7939



Graf 17. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (trčanje)

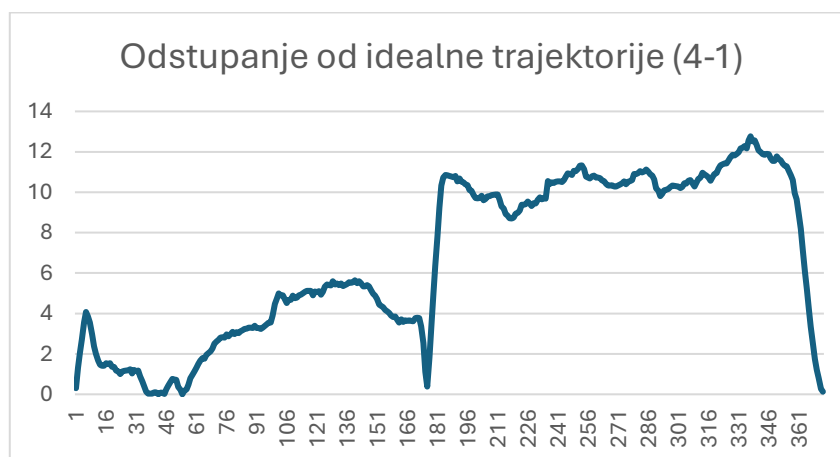


Graf 18. Vidljivost satelita za pojedinu točku (trčanje)

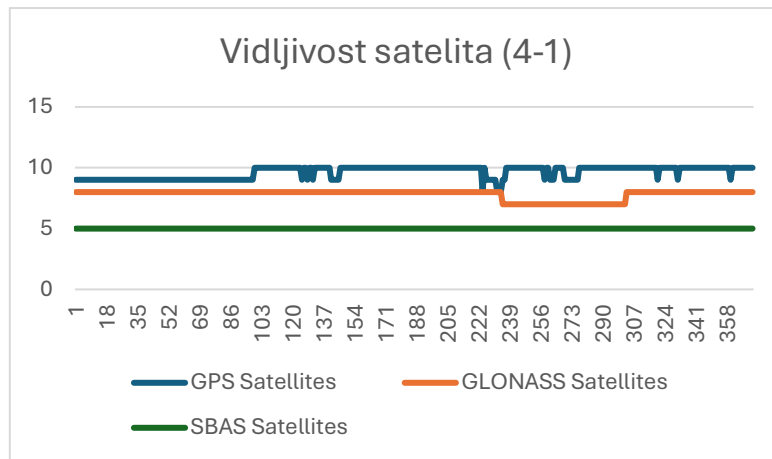
3.2.4. Analiza segmenta 4-1 (trčanje)

Tablica 12. Statistički podaci za segment 4-1

Ukupan broj mjerenja	373
Aps. srednje odstupanje [m]	6.7119
Najveće odstupanje [m]	12.7671
Najmanje odstupanje [m]	0.0015
Standardno odstupanje [m]	4.0284
Prosječni broj vidljivih satelita	22.3887



Graf 19. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (trčanje)

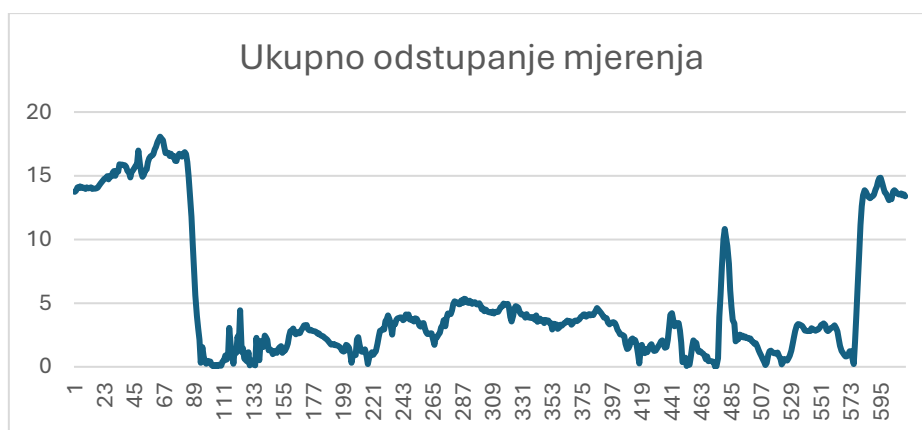


Graf 20. Vidljivost satelita za pojedinu točku (trčanje)

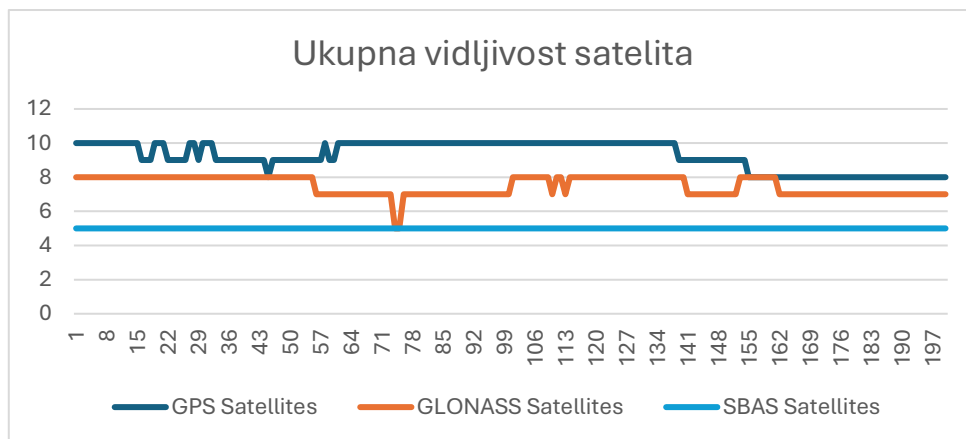
3.3. Analiza cjelokupne trajektorije (električni romobil)

Tablica 13. Statistički podaci za cjelokupno mjerenje (električni romobil)

Ukupan broj mjerenja	613
Aps. srednje odstupanje [m]	5,0859
Najveće odstupanje [m]	18,0667
Najmanje odstupanje [m]	0,0009
Standardno odstupanje [m]	5,1616
Prosječni broj vidljivih satelita	20,5147



Graf 21. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (električni romobil)



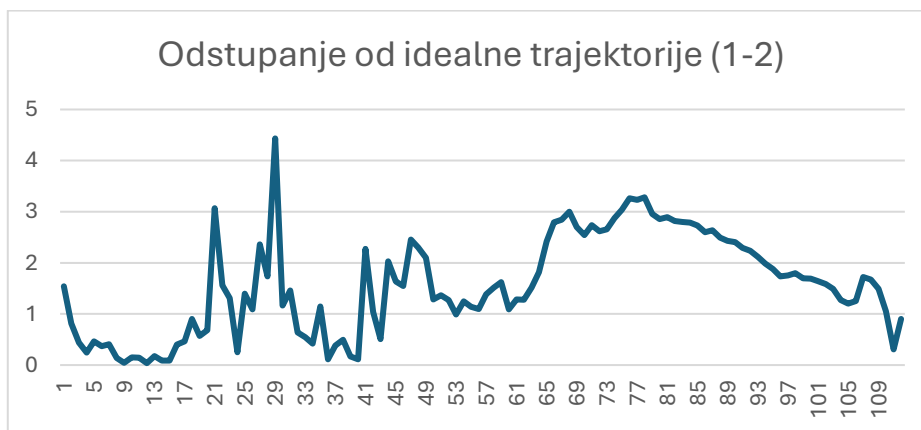
Graf 22. Vidljivost satelita za pojedinu točku (električni romobil)

Prilikom mjerenja ovom vrstom gibanja na trajektoriji nije bilo nikakvih fizičkih smetnji, ali bilo je poteškoća sa stabilizacijom antene na romobilu. Pločnik na kojem se obavljalo mjerenje je bio pun rupa na segmentima 1-2 i 2-3 i time utjecao na stabilizaciju antene dok se obavljalo mjerenje i bilo je potrebno ponovno postaviti antenu na romobil kako bi se nastavilo mjerenje. Duž cijele trajektorije GNSS antena je uvijek bila spojena sa satelitima i ni u jednom trenutku se ta veza nije prekinula.

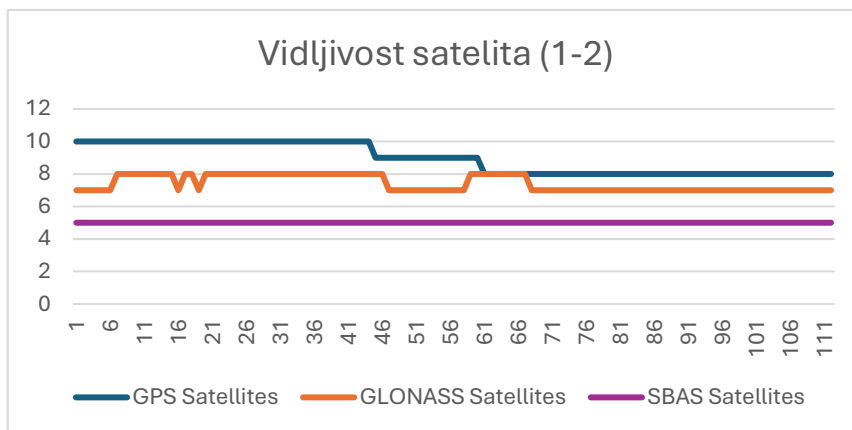
3.3.1. Analiza segmenta 1-2 (električni romobil)

Tablica 14. Statistički podaci za segment 1-2 (električni romobil)

Ukupan broj mjerenja	112
Aps. srednje odstupanje [m]	1,5623
Najveće odstupanje [m]	4,4344
Najmanje odstupanje [m]	0,0374
Standardno odstupanje [m]	0,9707
Prosječni broj vidljivih satelita	21,3482



Graf 23. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (električni romobil)

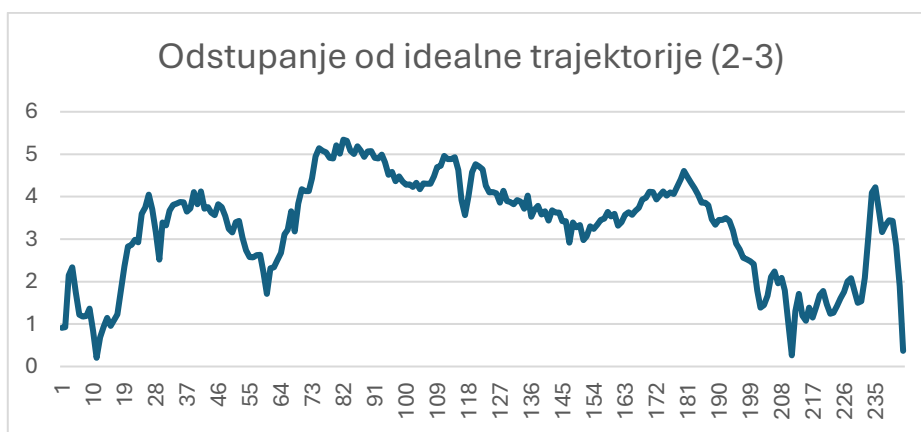


Graf 24. Vidljivost satelita za pojedinu točku (električni romobil)

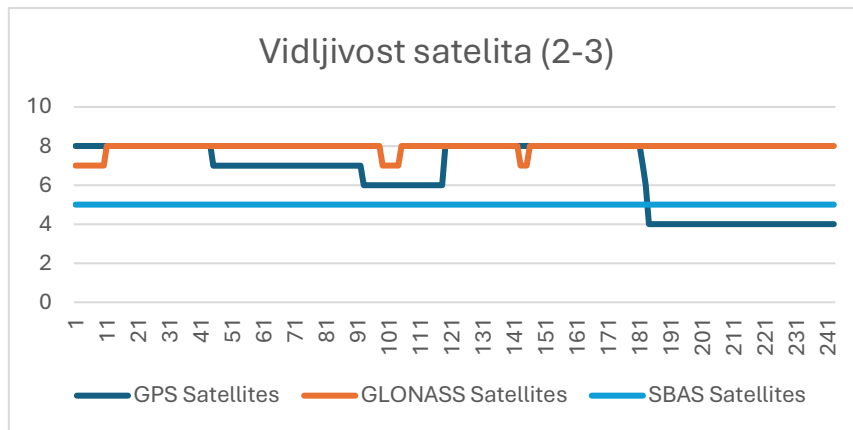
3.3.2. Analiza segmenta 2-3 (električni romobil)

Tablica 15. Statistički podaci za segment 2-3 (električni romobil)

Ukupan broj mjerenja	243
Aps. srednje odstupanje [m]	3,3072
Najveće odstupanje [m]	5,3434
Najmanje odstupanje [m]	0,2048
Standardno odstupanje [m]	1,1980
Prosječni broj vidljivih satelita	19,5103



Graf 25. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (električni romobil)

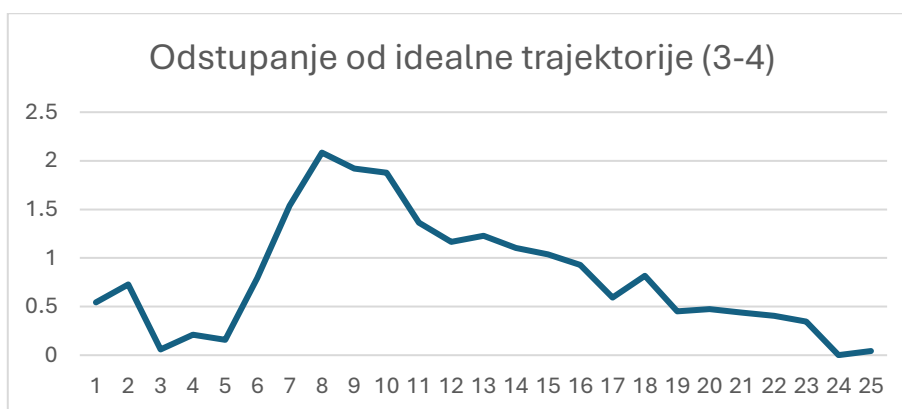


Graf 26. Vidljivost satelita za pojedinu točku (električni romobil)

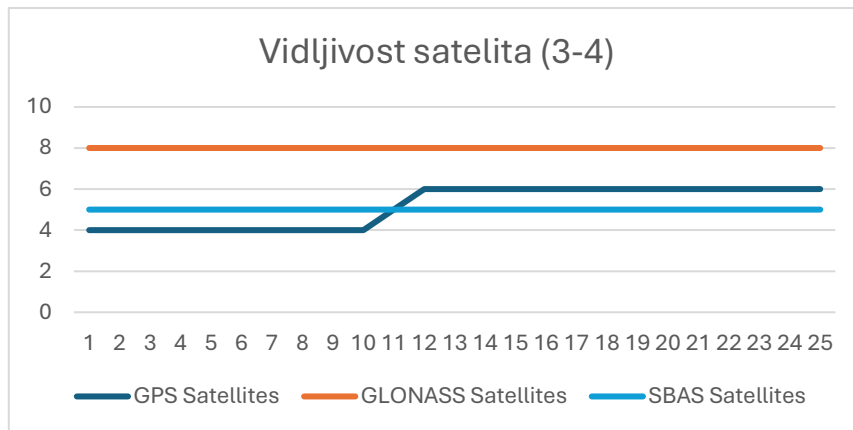
3.3.3. Analiza segmenta 3-4 (električni romobil)

Tablica 16. Statistički podaci za segment 3-4 (električni romobil)

Ukupan broj mjerenja	25
Aps. srednje odstupanje [m]	0,8120
Najveće odstupanje [m]	2,0842
Najmanje odstupanje [m]	0,0009
Standardno odstupanje [m]	0,6043
Prosječni broj vidljivih satelita	18,1600



Graf 27. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (električni romobil)

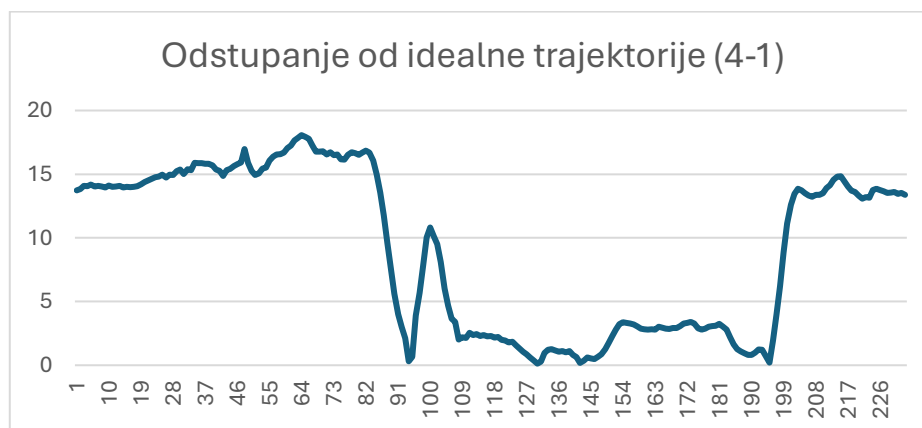


Graf 28. Vidljivost satelita za pojedinu točku (električni romobil)

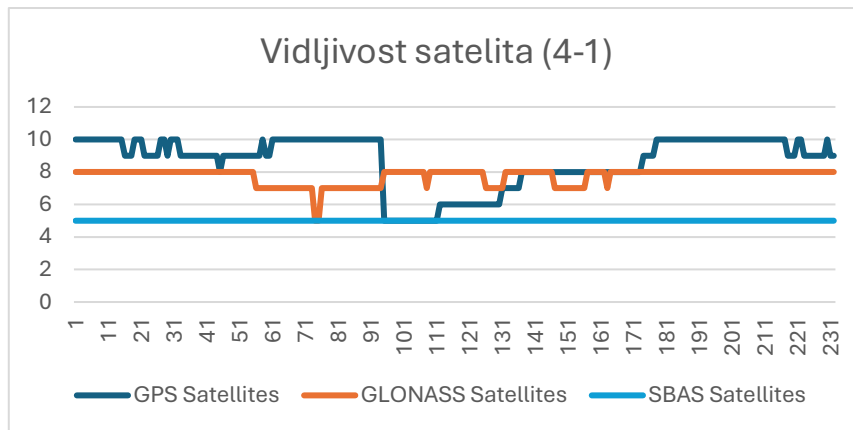
3.3.4. Analiza segmenta 4-1 (električni romobil)

Tablica 17. Statistički podaci za segment 4-1 (električni romobil)

Ukupan broj mjerenja	233
Aps. srednje odstupanje [m]	9,0934
Najveće odstupanje [m]	18,0667
Najmanje odstupanje [m]	0,1269
Standardno odstupanje [m]	6,3945
Prosječni broj vidljivih satelita	21,4181

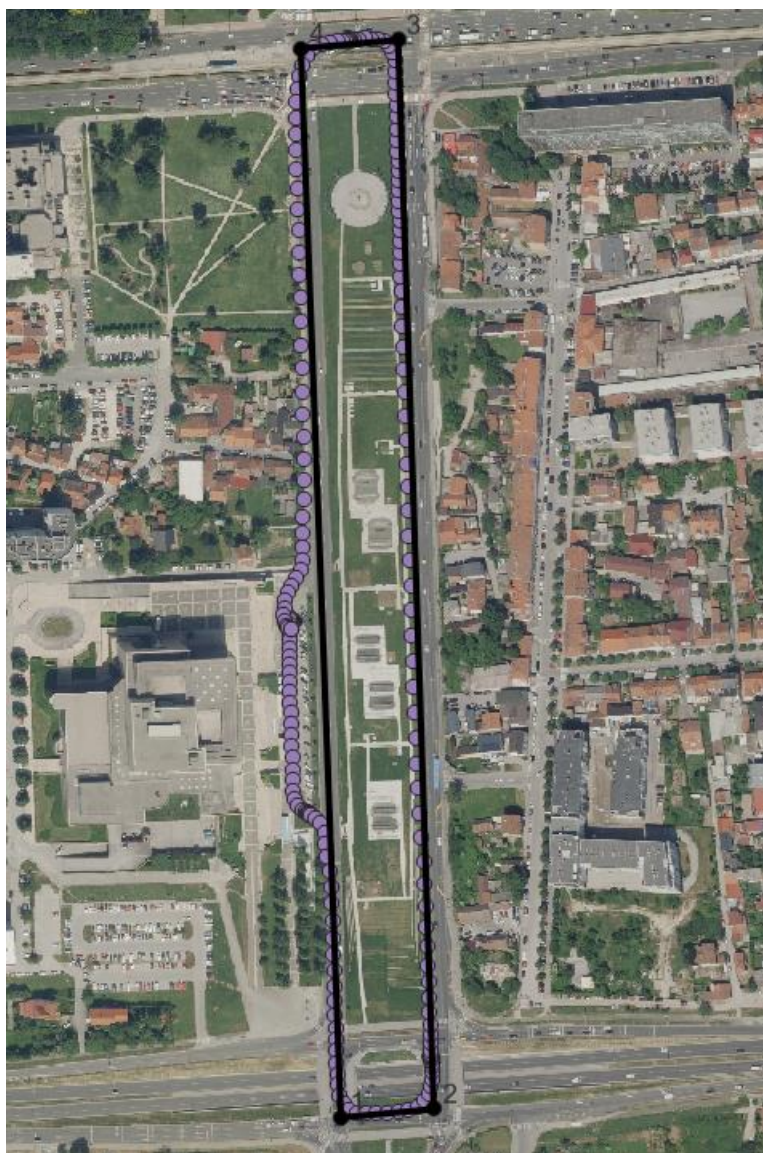


Graf 29. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (električni romobil)



Graf 30. Vidljivost satelita za pojedinu točku (električni romobil)

3.4. Analiza cjelokupne trajektorije (automobil)

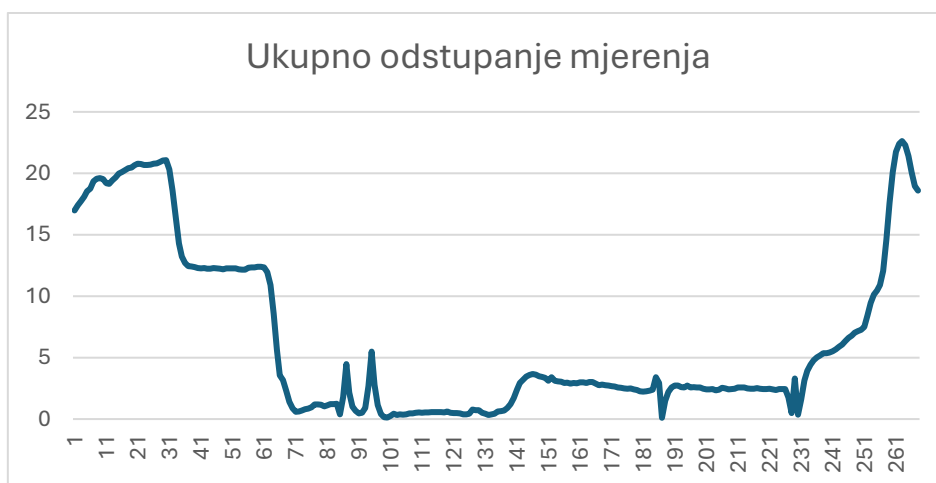


Slika 9. Prikaz idealne trajektorije (crni poligon) i podataka mjerenja (automobil - ljubičaste točke)

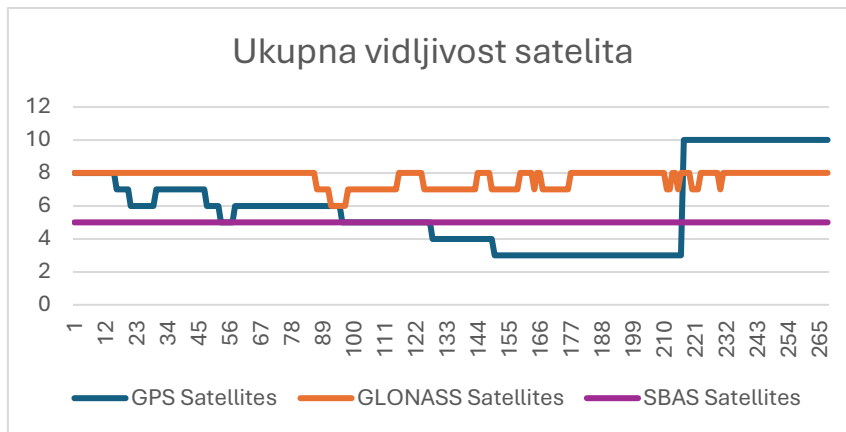
Prilikom mjerenja ovom vrstom gibanja na trajektoriji nije bilo nikakvih fizičkih smetnji, a antenu je bilo potrebno držati u koso zbog nemogućnosti da stoji uspravno unutar vozila. Kroz otvoren prozor na automobilu, gornji dio antene je bio vani i uređaj na vrhu antene je bio pridržan rukom kako ne bi pao zbog brzine kretanja automobila. Duž cijele trajektorije GNSS antena je uvijek bila spojena sa satelitima i ni u jednom trenutku se ta veza nije prekinula. Važno je naglasiti da je bilo potrebno napraviti drugu idealnu trajektoriju (slika 9.) zbog nemogućnosti kretanja po trajektoriji kojom se kretalo u ostalim gibanjima. Korištenjem prve idealne trajektorije ne bi dobili reprezentativne podatke jer bi na sjevernom i južnom dijelu trajektorije odstupanja bila iznimno velika i zbog toga je bilo potrebno izraditi novu idealnu trajektoriju.

Tablica 18. Statistički podaci za cjelokupno mjerenje (automobil)

Ukupan broj mjerenja	268
Aps. srednje odstupanje [m]	6,4888
Najveće odstupanje [m]	22,6247
Najmanje odstupanje [m]	0,1051
Standardno odstupanje [m]	6,8889
Prosječni broj vidljivih satelita	18,5993



Graf 31. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (automobil)

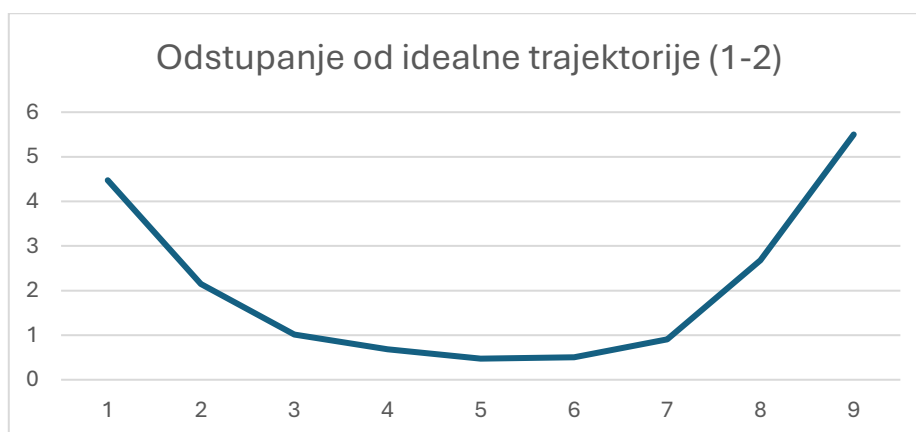


Graf 32. Vidljivost satelita za pojedinu točku (automobil)

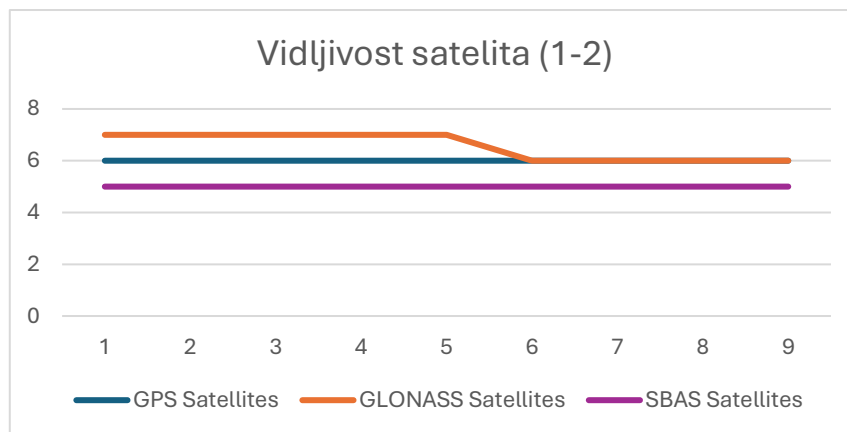
3.4.1. Analiza segmenta 1-2 (automobil)

Tablica 19. Statistički podaci za segment 1-2 (automobil)

Ukupan broj mjerenja	9
Aps. srednje odstupanje [m]	2,0418
Najveće odstupanje [m]	5,5004
Najmanje odstupanje [m]	0,4731
Standardno odstupanje [m]	1,8468
Prosječni broj vidljivih satelita	17,5556



Graf 33. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (automobil)

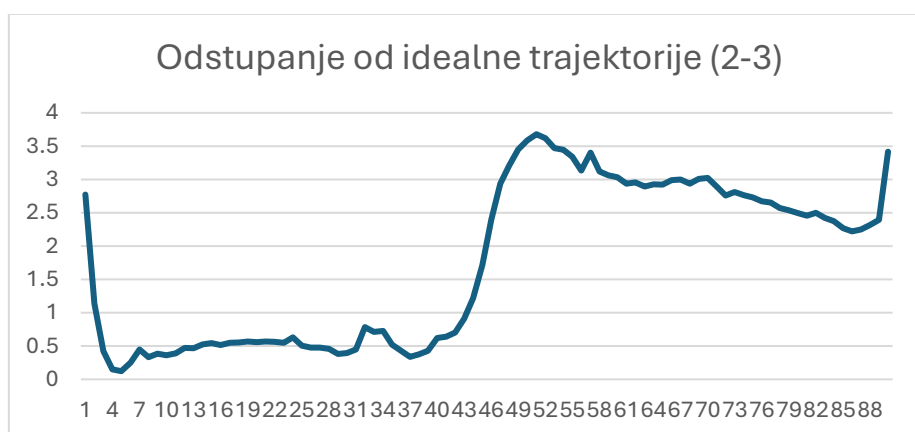


Graf 34. Vidljivost satelita za pojedinu točku (automobil)

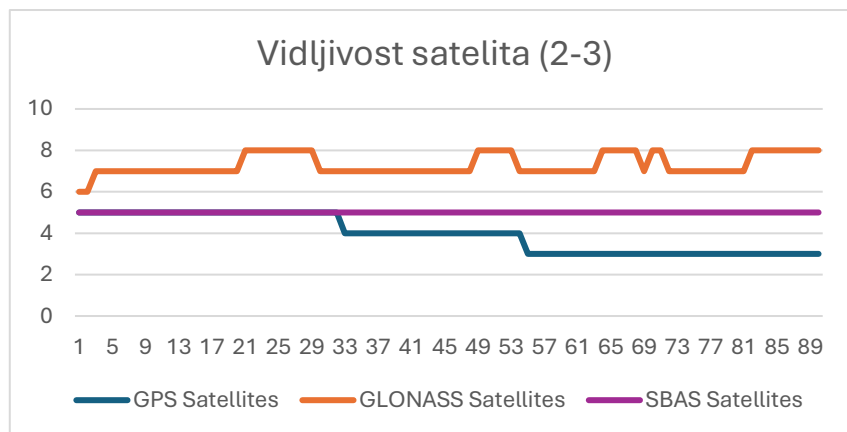
3.4.2. Analiza segmenta 2-3 (automobil)

Tablica 20. Statistički podaci za segment 2-3 (automobil)

Ukupan broj mjerenja	90
Aps. srednje odstupanje [m]	1,7450
Najveće odstupanje [m]	3,6791
Najmanje odstupanje [m]	0,1226
Standardno odstupanje [m]	1,2219
Prosječni broj vidljivih satelita	16,2667



Graf 35. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (automobil)

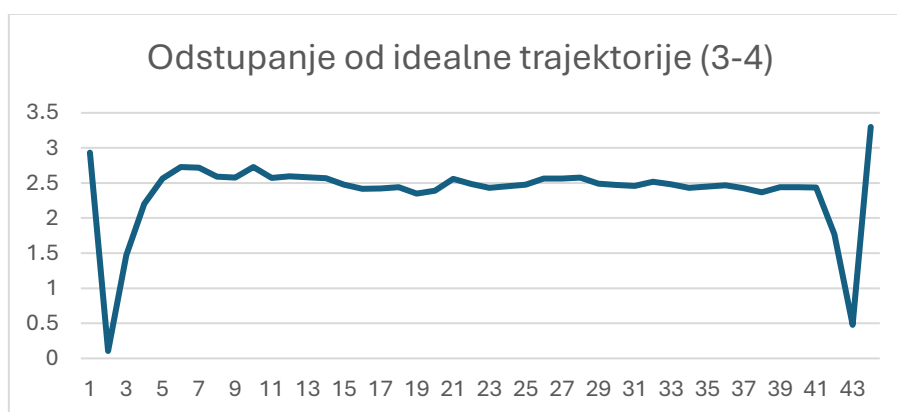


Graf 36. Vidljivost satelita za pojedinu točku (automobil)

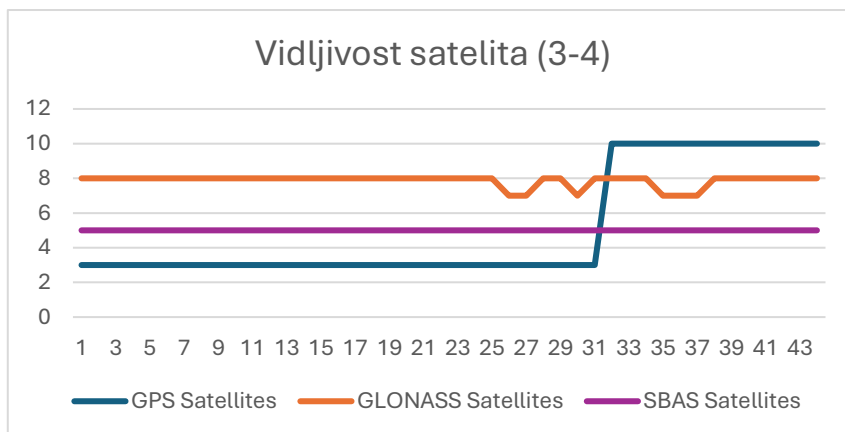
3.4.3. Analiza segmenta 3-4 (automobil)

Tablica 21. Statistički podaci za segment 3-4 (automobil)

Ukupan broj mjerenja	44
Aps. srednje odstupanje [m]	2,3853
Najveće odstupanje [m]	3,2986
Najmanje odstupanje [m]	0,1051
Standardno odstupanje [m]	0,5296
Prosječni broj vidljivih satelita	17,9318



Graf 37. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (automobil)

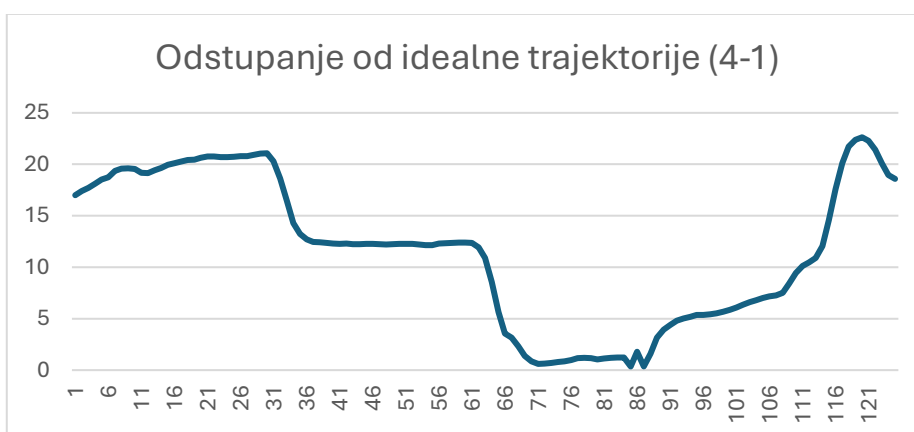


Graf 38. Vidljivost satelita za pojedinu točku (automobil)

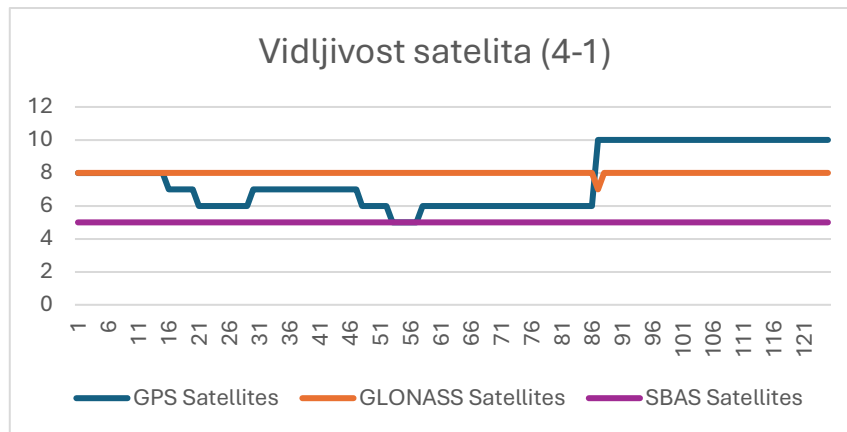
3.4.4. Analiza segmenta 4-1 (automobil)

Tablica 22. Statistički podaci za segment 4-1 (automobil)

Ukupan broj mjerenja	125
Aps. srednje odstupanje [m]	11,6690
Najveće odstupanje [m]	22,6247
Najmanje odstupanje [m]	0,3627
Standardno odstupanje [m]	7,1278
Prosječni broj vidljivih satelita	20,6240



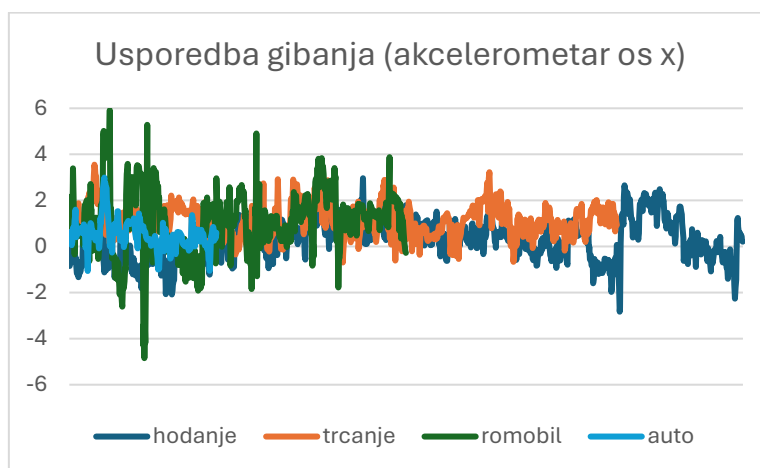
Graf 39. Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije (automobil)



Graf 40. Vidljivost satelita za pojedinu točku (automobil)

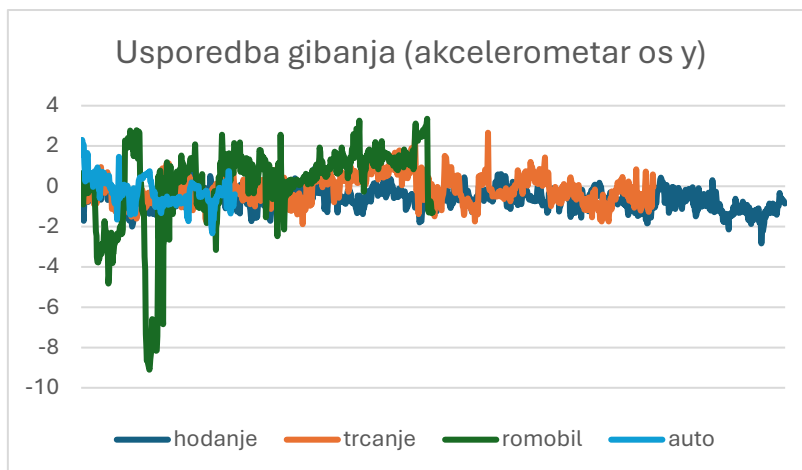
4. Usporedba gibanja

Budući da je u prethodnom poglavlju napravljena analiza za svako pojedino gibanje, kao i segmente svakog gibanja, potrebno je usporediti gibanja međusobno. Glavni razlog, zbog kojega smo istu trajektoriju mjerili sa različitim gibanjima, je da usporedimo kako je brzina gibanja utjecala na točnost rezultata. Za utjecaj linearne brzine gibanja važan je akcelerometar unutar INS uređaja, a za utjecaj rotacijske brzine važan je žiroskop. Unutar podataka mjerenja za svako mjerenje nalazi se .csv datoteka *RawSensors* unutar koje smo imali pristup podacima mjerenja akcelerometra i žiroskopa. Svaki uređaj mjerio je podatke po tri koordinatne osi (x,y i z). Mjerna jedinica za podatke dobivene akcelerometrom je m/s^2 , a žiroskopom stupanj/s. Kako bi usporedili gibanja, izrađeni su grafovi po svakoj osi akcelerometra i žiroskopa.



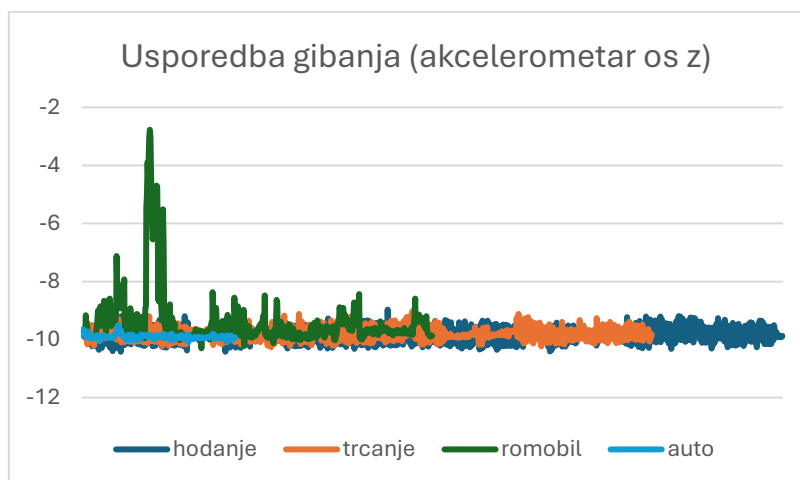
Graf 41. Odstupanja za os x akcelerometra

Iz grafa 41. moguće je iščitati da je najveća amplituda mjerenja zabilježena kod mjerenja romobilom gdje je najveće pozitivno mjerenje $5,92 m/s^2$, a negativno mjerenje $-4,85 m/s^2$. Također najveće standardno odstupanje imaju mjerenja zabilježena romobilom, a standardno odstupanje iznosi $1,39 m/s^2$. Najveća točnost dobivena je mjerenjem u automobilu gdje mjerenja imaju najmanju amplitudu, a standardno odstupanje je najmanje.



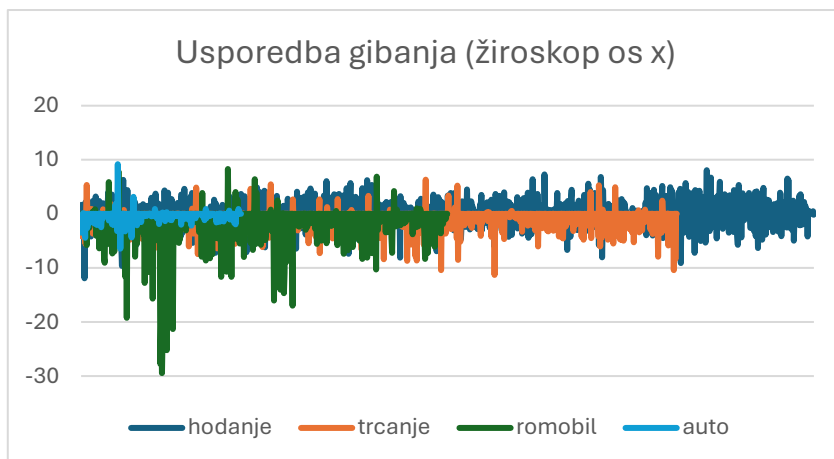
Graf 42. Odstupanja za os y akcelerometra

Kao i za os x, mjerenja po osi y pokazuju kako su mjerenja dobivena mjerenjem na romobilu najnetočnija. Iz grafa 42 lako se vidi da su amplitude kod mjerenja na romobilu najveće, a standardno odstupanje od $2,16 \text{ m/s}^2$ je također najveće. Po osi y najbolja mjerenja su ona dobivena prilikom hodanja jer je standardno odstupanje najmanje.

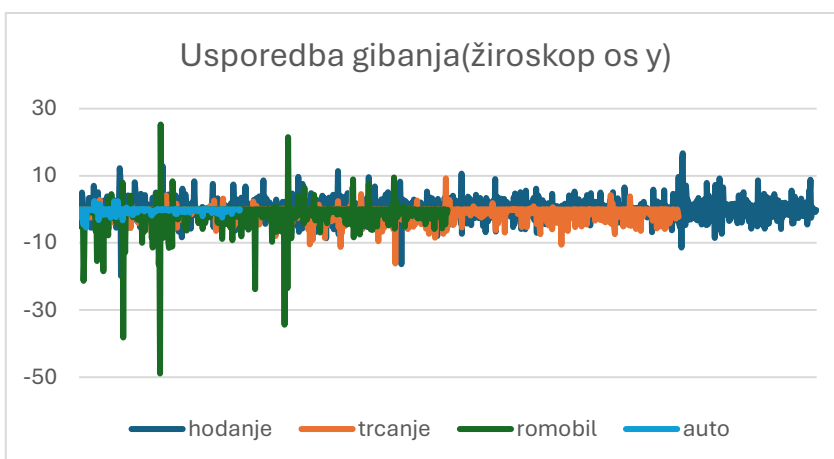


Graf 43. Odstupanja za os z akcelerometra

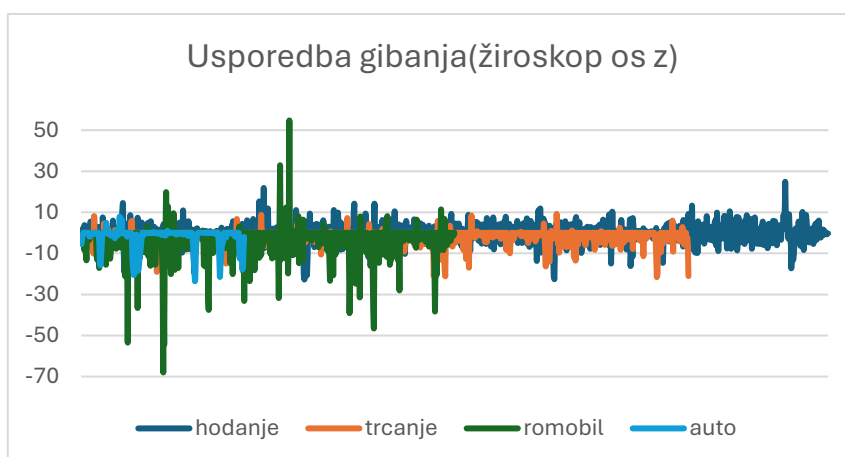
Mjerenja po osi z akcelerometra donose iste rezultate kao i mjerenja po osima x i y što se tiče točnosti. Mjerenja romobilom su najnetočnija i ona s najvećim standardnim odstupanjem ($0,99 \text{ m/s}^2$) i amplitudama. Najmanje standardno odstupanje dobiveno je prilikom trčanja.



Graf 44. Odstupanja za os x žiroskopa



Graf 45. Odstupanja za os y žiroskopa



Graf 46. Odstupanja za os z žiroskopa

Grafovi 44, 45 i 46 predstavljaju analizu mjerenja za osi x,y i z žiroskopa. Kao i kod mjerenja akcelerometrom, mjerenja dobivena romobilom su najnetočnija i standardna odstupanja su najveća upravo kod mjerenja s romobilom. Mjerenja po osi x i osi y najtočnija su kada se mjerilo u automobilu, a za os z trčanje je dalo najtočnija mjerenja.

Mjerenja iz prošlog poglavlja odnose se na točnosti u odnosu na idealnu trajektoriju. Najmanje odstupanje od idealne trajektorije zabilježena su prilikom trčanja i romobila, a iznosi 0,0009 m gdje je uređaj bio na gotovo idealnoj trajektoriji. Ako se u obzir uzmu standardna odstupanja mjerenja, najmanje standardno odstupanje dobiveno je hodanjem.

HDOP i VDOP vrijednosti ključni su pokazatelji kvalitete GNSS mjerenja. HDOP predstavlja utjecaj geometrije satelita na horizontalnu točnost (položaj u ravnini x-y), dok VDOP opisuje utjecaj na vertikalnu točnost (z-os). Niže vrijednosti, HDOP-a i VDOP-a, ukazuju na bolju geometrijsku raspodjelu satelita, što rezultira većom preciznošću mjerenja. Visoke vrijednosti, s druge strane, signaliziraju lošu geometriju, često uzrokovanu malim brojem vidljivih satelita ili njihovom koncentracijom u jednom dijelu neba. Kod integriranih INS/GNSS sustava, HDOP i VDOP parametri služe za procjenu pouzdanosti GNSS podataka koji se koriste za kalibraciju inercijalnog sustava.

U nastavku slijede grafovi koji prikazuju DOP vrijednosti tijekom mjerenja:

1. HDOP i VDOP vrijednosti tijekom mjerenja hodanjem:

Tablica 23. HDOP vrijednosti (hodanje)

HDOP vrijednosti	Broj mjerenja
Idealno: < 1	1225
Vrlo dobro: 1 - 2	0
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0

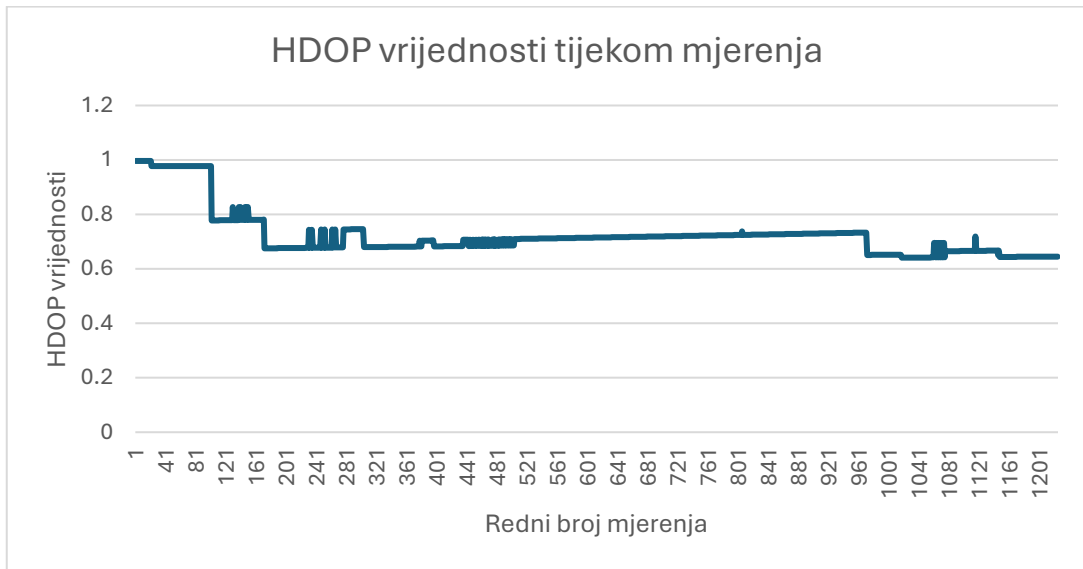
Tablica 24. VDOP vrijednosti (hodanje)

VDOP vrijednosti	Broj mjerenja
Idealno: < 2	1225
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0

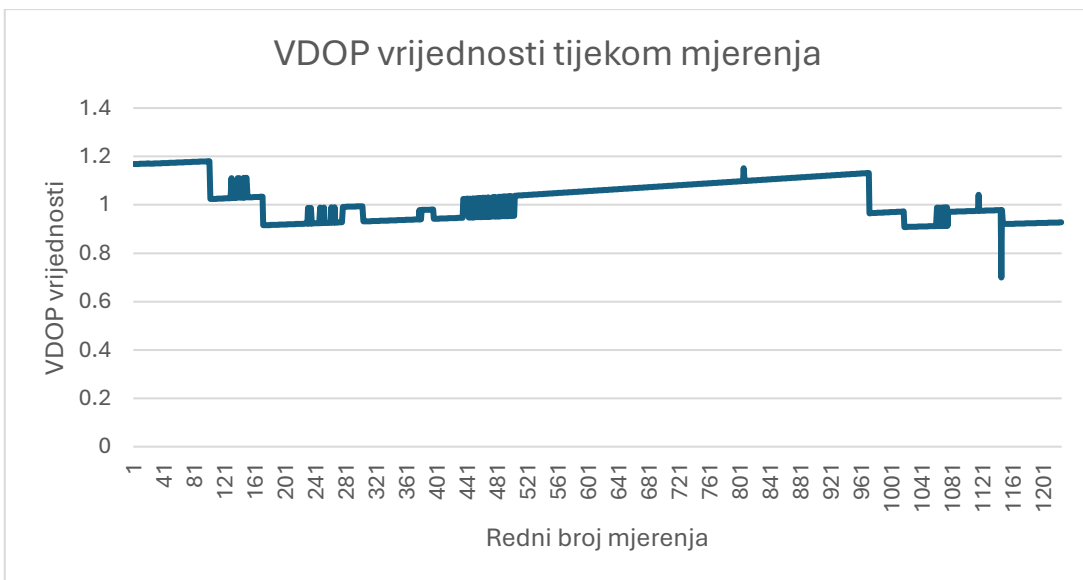
Tablica 25. Prosječna, minimalna i maksimalna HDOP i VDOP vrijednost (hodanje)

Vrijednost tijekom mjerenja	HDOP vrijednost	VDOP vrijednost
Prosječna vrijednost	0.7237	1.0235
Minimalna vrijednost	0.6411	0.6995
Maksimalna vrijednost	0.9963	1.1802

Iz prethodne tri tablice može se primjetiti da sve vrijednosti, HDOP i VDOP, dobivene tijekom mjerenja hodanjem tj. prvom vrstom kretanja, pripadaju kategoriji „idealno“. Vrijednosti variraju s vrlo malim oscilacijama tijekom cijelog mjerenja što je vidljivo u tablici 25.



Graf 47. HDOP vrijednosti (hodanje)



Graf 48. VDOP vrijednosti (hodanje)

2. HDOP i VDOP vrijednosti tijekom mjerenja trčanjem:

Tablica 26. HDOP vrijednosti (trčanje)

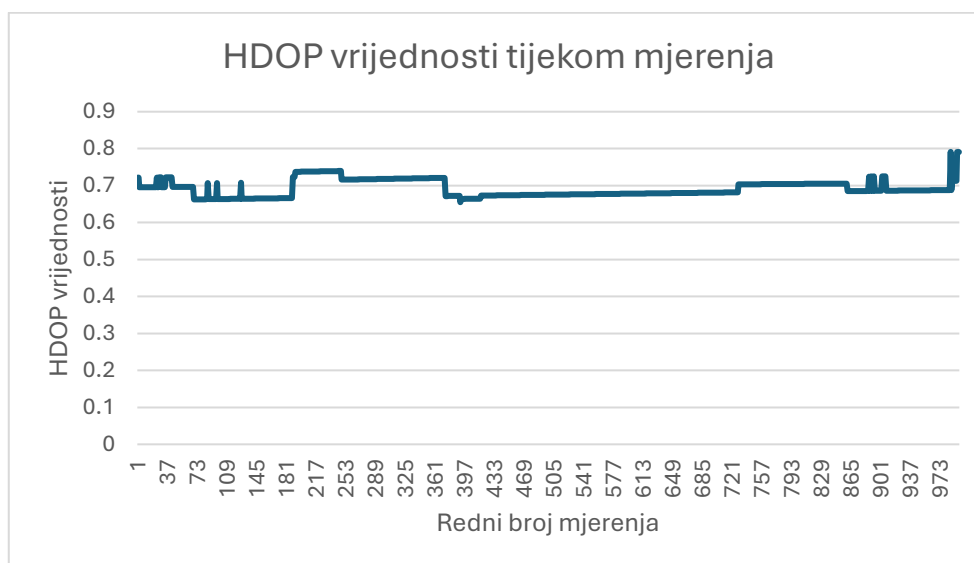
HDOP vrijednosti	Broj mjerenja
Idealno: < 1	996
Vrlo dobro: 1 – 2	0
Dobro: 2 – 5	0
Loše: > 5	0

Tablica 27. VDOP vrijednosti (trčanje)

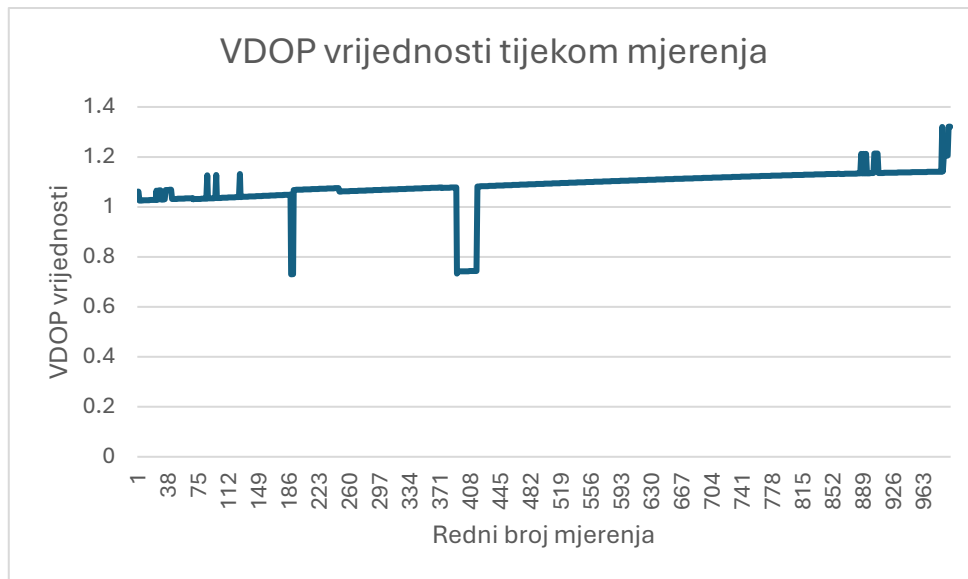
VDOP vrijednosti	Broj mjerenja
Idealno: < 2	996
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0

Tablica 28. Prosječna, minimalna i maksimalna HDOP i VDOP vrijednost (hodanje)

Vrijednosti tijekom mjerenja	HDOP vrijednost	VDOP vrijednost
Prosječna vrijednost	0.6916	1.0835
Minimalna vrijednost	0.6551	0.7300
Maksimalna vrijednost	0.7911	1.3209



Graf 49. HDOP vrijednosti (trčanje)



Graf 50. VDOP vrijednosti (trčanje)

Kao što se može vidjeti iz tablica i iz grafova, tijekom mjerenja prikupljenih trčanjem HDOP i VDOP vrijednosti su sve idealne te ne odstupaju puno od svoje prosječne vrijednosti tijekom ovog mjerenja.

3. HDOP i VDOP vrijednosti tijekom mjerenja pomoću električnog romobila:

Tablica 29. HDOP vrijednosti (električni romobil)

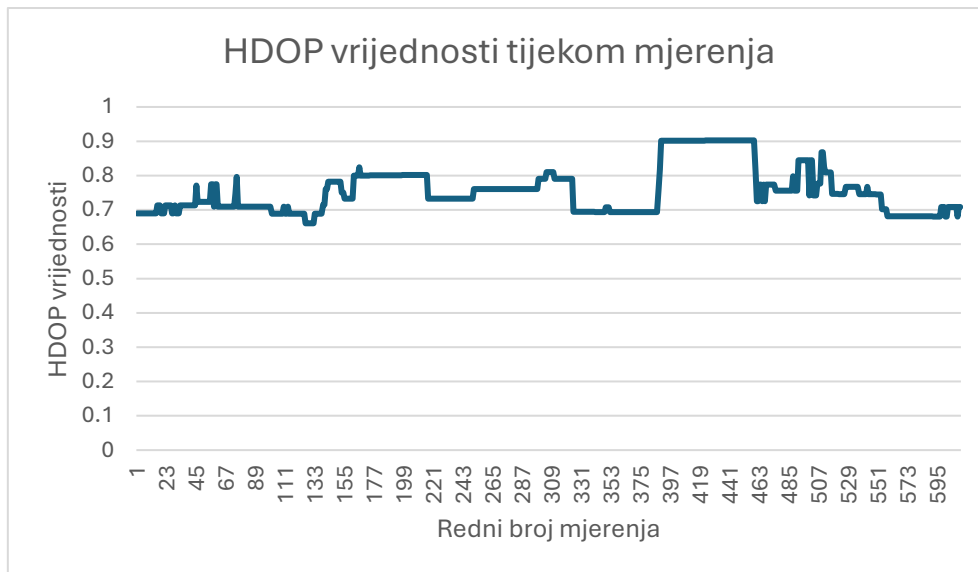
HDOP vrijednosti	Broj mjerenja
Idealno: < 1	612
Vrlo dobro: 1 - 2	0
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0

Tablica 30. VDOP vrijednosti (električni romobil)

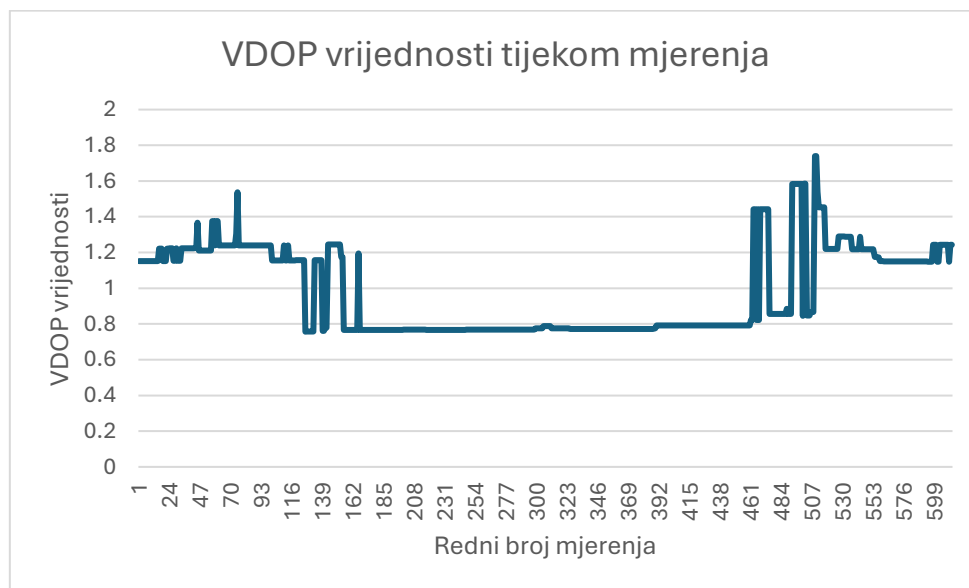
VDOP vrijednosti	Broj mjerenja
Idealno: < 2	612
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0

Tablica 31. Prosječna, minimalna i maksimalna HDOP i VDOP vrijednost (hodanje)

Vrijednosti tijekom mjerenja	HDOP vrijednost	VDOP vrijednost
Prosječna vrijednost	0.7555	0.9811
Minimalna vrijednost	0.6609	0.7568
Maksimalna vrijednost	0.9026	1.7397



Graf 51. HDOP vrijednosti (električni romobil)



Graf 52. VDOP vrijednosti (električni romobil)

Kod mjerenja električnim romobilom sva mjerenja spadaju u kategoriju „idealno“, ali ovdje se vide veće oscilacije tijekom mjerenja moguće radi prije spomenutih problema koji su se događali tijekom ovog mjerenja pomoću električnog romobila. Vidljivo je da su odstupanja od prosjeka veća nego kod mjerenja dobivenih hodanjem i trčanjem.

4. HDOP i VDOP vrijednosti tijekom mjerenja pomoću automobila:

Tablica 32. HDOP vrijednosti (automobil)

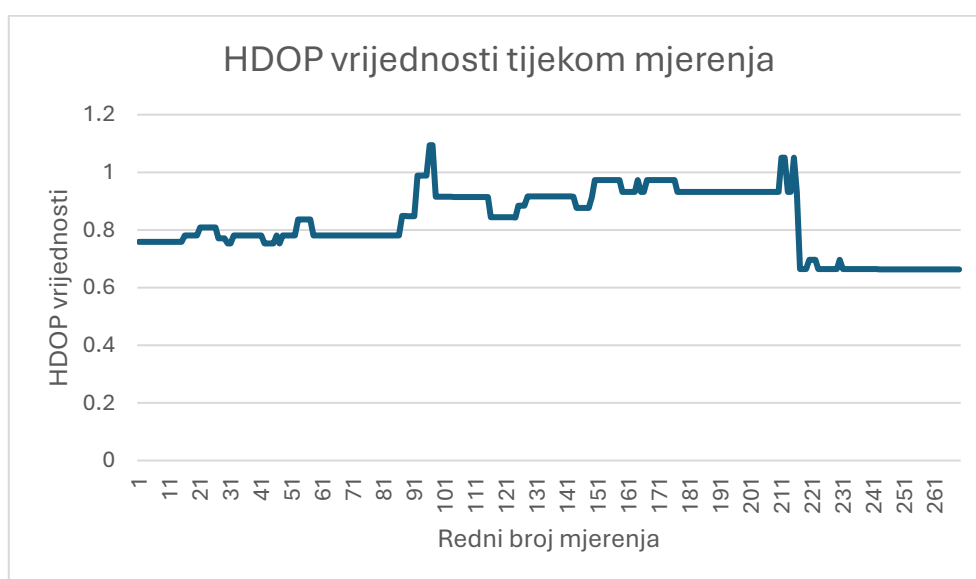
HDOP vrijednosti	Broj mjerenja
Idealno: < 1	264
Vrlo dobro: 1 - 2	5
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0

Tablica 33. VDOP vrijednosti (automobil)

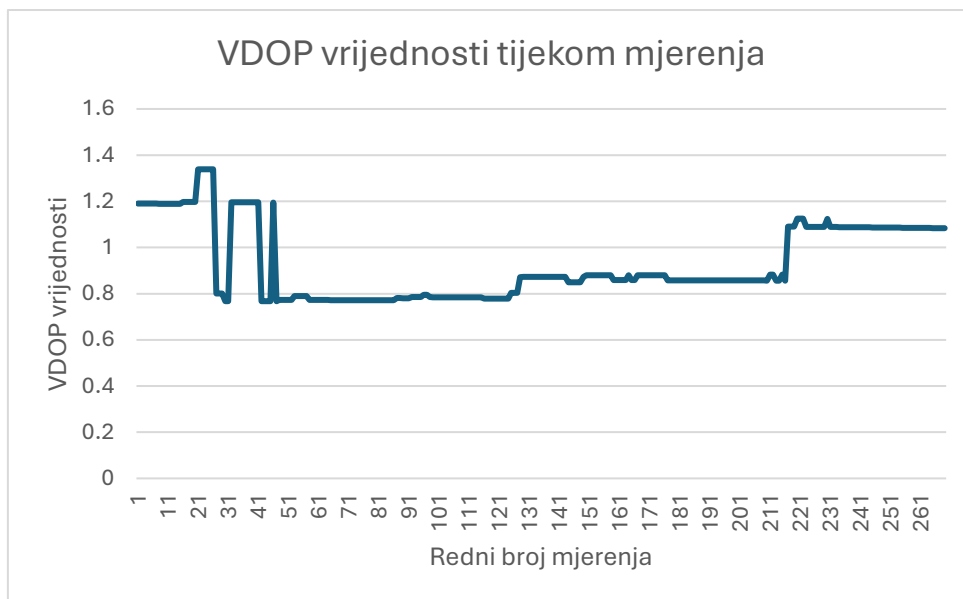
VDOP vrijednosti	Broj mjerenja
Idealno: < 2	269
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0

Tablica 34. Prosječna, minimalna i maksimalna HDOP i VDOP vrijednost (automobil)

Vrijednosti tijekom mjerenja	HDOP vrijednost	VDOP vrijednost
Prosječna vrijednost	0.8291	0.9293
Minimalna vrijednost	0.6630	0.7673
Maksimalna vrijednost	1.0941	1.3385



Graf 53. HDOP vrijednosti (automobil)

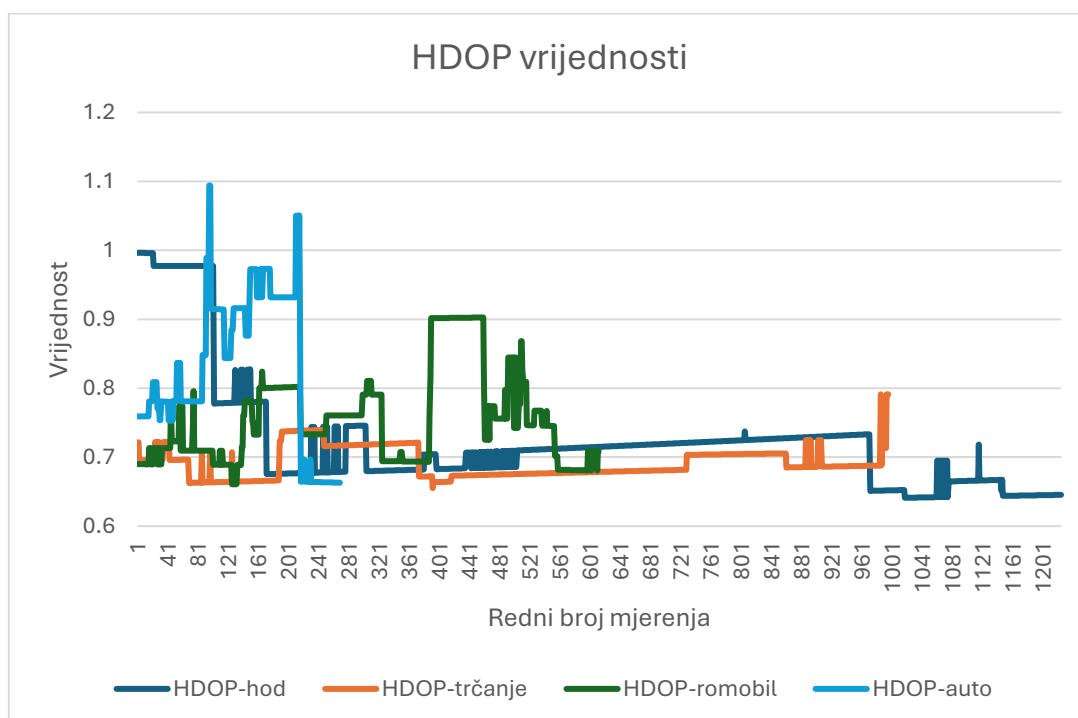


Graf 54. VDOP vrijednosti (automobil)

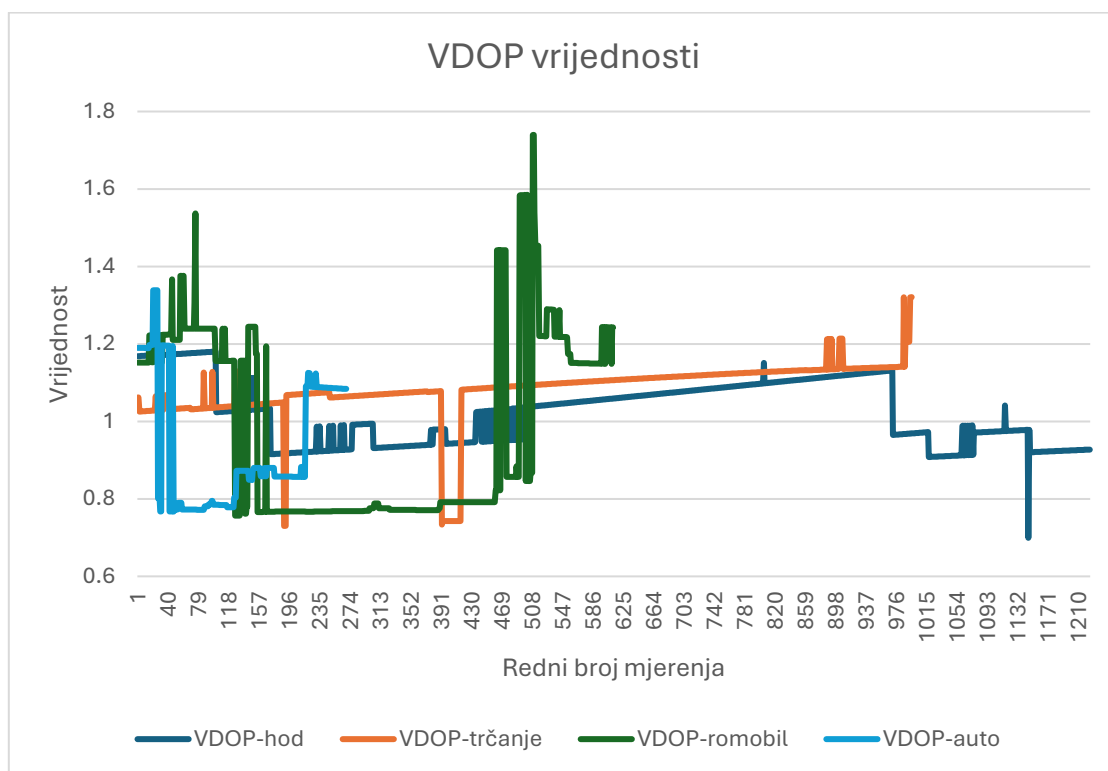
Kao i kod električnog romobila, vidljivo je i kod mjerenja pomoću automobila da su oscilacije i ovdje veće od mjerenja dobivenih hodanjem i trčanjem, ali još uvijek zadovoljavajuća, iako 5 mjerenja kod HDOP vrijednosti prelaze granicu idealnog.

Znači da su sva mjerenja dobivena pomoću sva četiri definirana gibanja zadovoljavajuća.

U nastavku je prikazana analiza DOP vrijednosti za sva mjerenja:



Graf 55. HDOP vrijednosti tijekom sva četiri mjerenja



Graf 56. VDOP vrijednosti tijekom sva četiri mjerenja

Tablica 35. Prosječna, minimalna i maksimalna HDOP i VDOP vrijednost za sva mjerenja

Vrijednosti tijekom mjerenja	HDOP vrijednost	VDOP vrijednost
Prosječna vrijednost	0.7288	1.0262
Minimalna vrijednost	0.6411	0.6995
Maksimalna vrijednost	1.0941	1.7397

5. Zaključak

Na temelju provedene analize INS/GNSS mjerenja pomoću različitih metoda gibanja, dolazimo do sljedećih zaključaka.

Mjerenja su najbrže provedena pomoću automobila i električnog romobila, no brzina izvođenja imala je utjecaj na broj prikupljenih mjerenja, koji je bio manji u usporedbi s hodanjem i trčanjem. Električni romobil se pokazao najmanje preciznim zbog vibracija uzrokovanih neravnom plohom pločnika, što je rezultiralo većim odstupanjima i oscilacijama u mjerenjima. Automobil, iako brz i praktičan, nije omogućio idealno postavljanje antene zbog ograničenja prostora pa je zapravo antena bila postavljena na nešto višoj visini od ostalih mjerenja i nije mogla biti postavljena pravilno, što je uzrokovalo manju točnost na nekim dijelovima trajektorije. S druge strane, hodanje i trčanje, iako vremenski zahtjevniji, omogućili su preciznija mjerenja s manjim odstupanjima od idealne trajektorije. Hodanje se pokazalo kao najpreciznija metoda s najmanjim standardnim odstupanjima u gotovo svim segmentima analize, dok je trčanje također osiguralo zadovoljavajuću razinu preciznosti.

DOP vrijednosti (HDOP i VDOP) tijekom svih mjerenja ostale su u "idealnoj" kategoriji, potvrđujući visoku kvalitetu geometrije satelita i pouzdanost GNSS signala. Ipak, vibracije i nepravilno postavljanje antene pokazali su kako vanjski uvjeti i način gibanja mogu značajno utjecati na konačnu preciznost podataka.

Na temelju cjelokupne analize, hodanje se može izdvojiti kao najpouzdanija metoda za INS/GNSS mjerenja u uvjetima koji zahtijevaju visoku točnost, dok je automobil pogodan za brzo dobivanje podataka u manje zahtjevnim okruženjima. Električni romobil, unatoč brzini, zahtijeva daljnju optimizaciju za stabilizaciju antene kako bi se poboljšala točnost podataka. Dobiveni rezultati pokazuju da je važan pažljivi odabir metode gibanja ovisno o zahtjevima projekta i uvjetima mjerenja.

6. Literatura

1. Horvat G. (2014.): Analiza softverskog paketa za obradu integriranih INS/GNSS navigacijskih podataka i primjena sustava, Diplomski rad, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu
2. Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2005). Understanding GPS: Principles and Applications (2nd ed.). Artech House.
3. Nevistić Z. (2022.): Rad sa INS uređajem i pripadajućim softverom, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu
4. Nevistić Z (2022.): Upute za rad s INS-om, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu