

Sveučilište u Zagrebu

Geodetski fakultet

Kolegij: Integrirani sustavi u geomatici

Akademska godina: 2024./25.



Tehničko izvješće

Zadatak:

Navigacija s inercijalnom mjernom jedinicom –
mogućnosti i ograničenja

Izradili:

Marin Šostarec i Ivan Pavao Vlaić

Zagreb, prosinac 2024. i siječanj 2025.

Sadržaj

1. Sažetak	4
2. Opis zadatka	4
3. INS/GNSS uređaj i softver	5
2.1 INSS/GNSS uređaj.....	5
2.2 Softver.....	6
4. Terensko mjerenje	8
5. Obrada podataka.....	10
6. Analiza podataka	11
6.1. Analiza podataka mjerenja dobivenih hodanjem	12
6.1.1. Analiza cjelokupnog mjerenja.....	12
6.1.2. Analiza segmenta 1T-2T.....	13
6.1.3. Analiza segmenta 2T-3T.....	14
6.1.4. Analiza segmenta 3T-4T.....	15
6.1.5. Analiza segmenta 4T-5T.....	16
6.1.6. Analiza segmenta 5T-6T.....	17
6.2. Analiza podataka mjerenja dobivenih trčanjem	18
6.2.1. Analiza podataka cjelokupnog mjerenja.....	18
6.2.2. Analiza segmenta 1T-2T.....	20
6.2.3. Analiza segmenta 2T-3T.....	21
6.2.4. Analiza segmenta 3T-4T.....	22
6.2.5. Analiza segmenta 4T-5T.....	24
6.2.6. Analiza segmenta 5T-6T.....	25
6.3. Analiza podataka mjerenja dobivenih sporom vožnjom	26
6.3.1. Analiza podataka cjelokupnog mjerenja.....	26
6.3.2. Analiza segmenta 1T-2T.....	28
6.3.3. Analiza segmenta 2T-3T.....	29
6.3.4. Analiza segmenta 3T-4T.....	30
6.3.5. Analiza segmenta 4T-5T.....	31
6.3.6. Analiza segmenta 5T-6T.....	32
6.4. Analiza podataka mjerenja dobivenih brzom vožnjom	33
6.4.1. Analiza podataka cjelokupnog mjerenja.....	33
6.4.2. Analiza segmenta 1T-2T.....	34

6.4.3.	Analiza segmenta 2T-3T.....	35
6.4.4.	Analiza segmenta 3T-2T.....	36
6.4.5.	Analiza segmenta 4T-5T.....	37
6.4.6.	Analiza segmenta 5T-6T.....	38
7.	Usporedba gibanja.....	39
7.1.1.	HDOP i VDOP za mjerenja tokom hodanja	42
7.1.2.	HDOP i VDOP za mjerenja tokom trčanja	43
7.1.3.	HDOP I VDOP za mjerenja spore vožnje.....	45
7.1.4.	HDOP i VDOP za mjerenje brze vožnje.....	46
7.1.5.	Usporedba gibanja za sva 4 mjerenja te zaključak	48
8.	Zaključak.....	49
9.	Literatura.....	49

1. Sažetak

Rad analizira mogućnosti te ograničenja INS/GNSS sustava kroz izvršavanje mjerenja trajektorije duljine preko 1 kilometar. Na 4 različita načina su provedena mjerenja koja uključuju hodanje, trčanje te sporu i brzu vožnju. Mjerenja su provedena na kosom horizontalnom pravcu, a najbliže tome je bila odabrana Bukovačka cesta u blizini Maksimira. Uz pomoć SpatialManager-a, MS Excel te QGIS softvera je izvršena analiza dobivenih podataka. Uspoređuju se dobiveni podaci s idealnom trajektorijom. Rezultati pokazuju da brzina i promjena nadmorske visine mogu utjecati na točnost prikupljenih podataka.

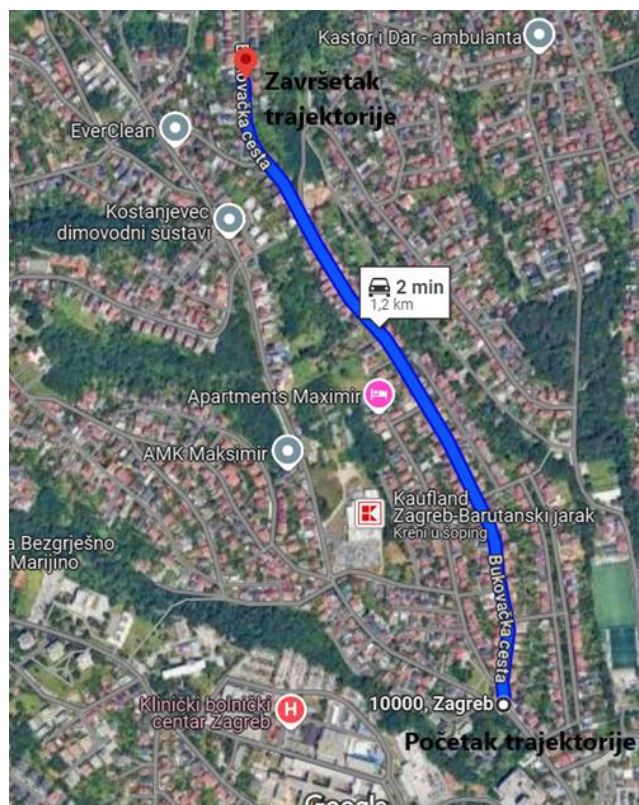
2. Opis zadatka

Zadatak projekta uključuje mjerenje kosog pravca dužine 1 kilometar s 4 različite brzine gibanja koristeći INS/GNSS uređaj te pripadajući softver, s ciljem obrade i interpretacije rezultata. Priprema za projekt započinje preuzimanjem Spatial Manager programskog paketa, uz obaveznu instalaciju Jave na računalu za njegovo pokretanje. Također, ključno je podesiti komunikacijske parametre i po potrebi instalirati tri dodatna softvera.

Mjerenja su provedena na zadanoj trajektoriji koja se nalazi na Bukovačkoj cesti, pri četiri različite brzine kretanja: spori hod, brzi hod, 20 km/h i 40 km/h. Prije početka terenskog rada potrebno je provesti testiranje kako bi se provjerilo ispravno povezivanje uređaja s računalom i osiguralo njihovo nesmetano funkcioniranje.

Zadatak uključuje provođenje mjerenja na zadanoj trajektoriji uzbrdo Bukovačkom cestom. Tijekom izvođenja mjerenja, jedan član tima nosi prijenosno računalo i prati prikupljanje podataka u stvarnom vremenu, dok drugi član nosi štap na kojem su postavljeni antena i INS/GNSS uređaj. Prikupljeni podaci se nakon mjerenja uspoređuju s idealnom trajektorijom kako bi se izvršila analiza i procjena kvalitete prikupljenih podataka te utvrdila preciznost sustava.

Cilj projekta je ne samo uspješno provesti mjerenja i obraditi podatke, već i procijeniti kvalitetu rezultata prikupljenih INS/GNSS uređajem te interpretirati odstupanja od zadane trajektorije.



Slika 1: Prikaz mjereneog dijela Bukovačke ceste

3. INS/GNSS uređaj i softver

2.1 INSS/GNSS uređaj

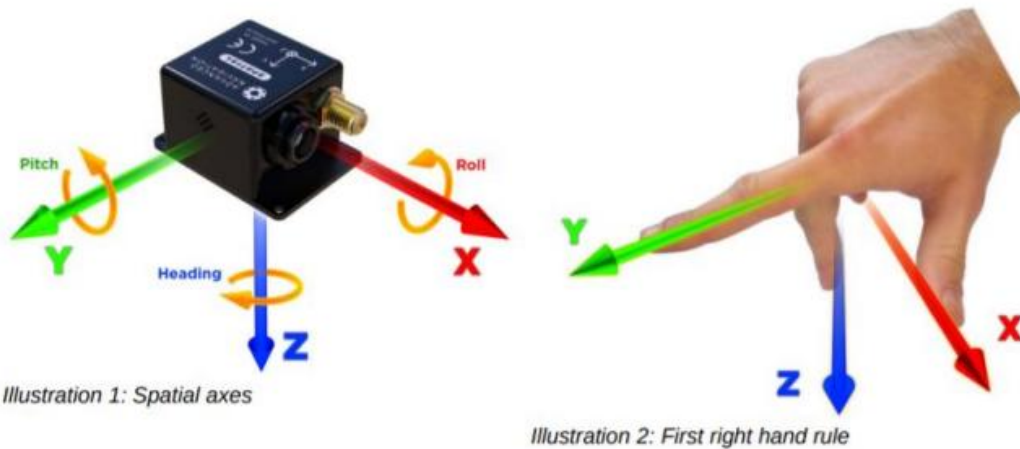
Spatial INS/GNSS uređaj, proizvod tvrtke Advanced Navigation, temeljen je na MEMS (eng. Micro Electro Mechanical System) tehnologiji. Ovaj sustav integrira inercijalne navigacijske sustave (INS) s GNSS-om, čime se postiže komplementarnost – prednosti jednog sustava nadoknađuju nedostatke drugog i obrnuto. Sustav se sastoji od nekoliko sastavnih komponenti a to su: GNSS antena, dva serijska kabela i MEMS senzora. GNSS antena prima signale satelita, jedan serijski kabel služi za povezivanje antene s INS/GNSS uređajem a drugi služi za spajanje uređaja s računalom te MEMS senzori služe za precizna mjerenja.

Svi senzori uređaja funkcioniraju unutar koordinatnog sustava definiranog s tri osi: x, y i z. Ishodište ovog sustava smješteno je unutar uređaja, a korisnik može definirati orijentaciju osi prema potrebi ili ih usmjeriti u unaprijed određene smjerove. Stoga je preporučljivo da x os bude usmjerena u smjeru kretanja vozila, z os u smjeru nadira, dok y os s njima zatvara desni pravokutni koordinatni sustav.

Orijentacija uređaja definira se kroz model tri kuta poznat kao Eulerovi kutovi: nagib (roll), posrtanje (pitch) i skretanje (heading/yaw). Nagib je definiran rotacijom oko x-osi, posrtanje oko y-osi i skretanje oko z-osi. Podržani navigacijski sustavi su: GPS L1, GLONASS L1, GALILEO E1, BeiDou L1. Poboľjšani navigacijski sustavi (SBAS) koje koristi su: WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN, QZSS. Horizontalna točnost mu je 2,5 m, dok s SBAS-om ona iznosi 2 m.



Slika 2: Orijentacija osi INS/GNSS



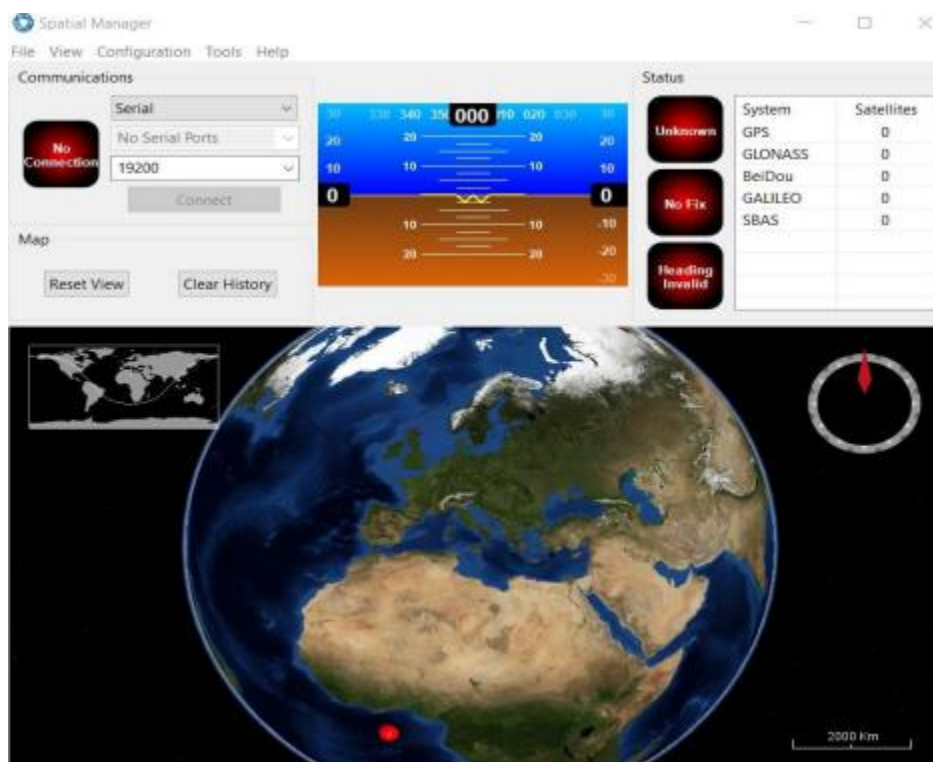
Slika 3: Eulerovi kutovi

2.2 Softver

Spatial Manager softver ključan je za izvođenje, praćenje i obradu integriranih INS/GNSS podataka. Njegove funkcionalnosti omogućuju jednostavno upravljanje mjerenjima i kasniju analizu podataka.

Softver se preuzima sa službene internetske stranice tvrtke Advanced Navigation, a nakon preuzimanja datoteka s ekstenzijom *.jar kopira se u novi direktorij. Ovaj korak osigurava da svi podaci generirani tijekom rada ostanu pohranjeni unutar istog direktorija. Instalacija Jave na računalu je obavezna kako bi se softver mogao pokrenuti. Osim toga, potrebno je instalirati FTDI program koji omogućuje uspostavljanje komunikacije između računala i uređaja. Spatial INS/GNSS uređaj potrebno je povezati s računalom putem USB kabela prije samog pokretanja softvera.

Spatial Manager koristi ANPP (Advanced Navigation Packet Protocol), komunikacijski protokol koji omogućuje učinkovitu komunikaciju između softvera i uređaja. Funkcionalnosti softvera uključuju postavljanje parametara prije početka mjerenja, praćenje mjerenja u stvarnom vremenu te ispis podataka u tekstualnom formatu nakon završetka mjerenja.



Slika 4: Izbornik Spatial Manager

U gornjem lijevom kutu sučelja Spatial Managera nalazi se USB sučelje koje omogućuje povezivanje uređaja s računalom. Središnji dio sučelja prikazuje grafičke prikaze vezane uz

navigacijske i orijentacijske podatke, dok desni kut sučelja pruža informacije o statusu uređaja i GNSS sustavu.

Tijekom cijelog procesa mjerenja ključno je osigurati stalnu povezanost uređaja kabelom s prijenosnim računalom na kojem je aplikacija otvorena. Antenski indikator mora pokazivati zelenu boju s oznakom "Healthy", što potvrđuje ispravno povezivanje antene. Normalno funkcioniranje tijekom mjerenja zahtijeva status "3D fix", koji može biti ostvaren putem SBAS sustava (Satellite-Based Augmentation System). Alternativno, status može biti "2D fix", što označava nedostatak informacija o visini ili "not fixed", što ukazuje na potrebu za magnetskom kalibracijom. Status "2D fix" često se pojavljuje kada je vidljivost prema dostupnim satelitima loša, dok status "not fixed" ukazuje na potpuno odsustvo signala sa satelita.

Nakon završetka mjerenja, svi prikupljeni podaci moraju biti konvertirani pomoću alata "Log Converter". Konvertirani podaci tada se mogu dalje obrađivati i analizirati, čime se osigurava njihova iskoristivost za daljnje projekte i analize.

4. Terensko mjerenje

Terensko mjerenje INS/GNSS uređajem je obavljeno u petak 29.11.2024. između 10:30 i 12:30 sati. Prije samog izlaska na teren bilo je potrebno odrediti trajektoriju duljine jedan kilometar koja se nalazi na Bukovačkoj cesti pod nekim nagibom. Mjerenja su obavili Marin Šostarec i Ivan Pavao Vlaić. Jedan od članova je bio zadužen za nošenje prijenosnog računala, a drugi za nošenje i orijentaciju INS/GNSS uređaja. Prije mjerenja INS/GNSS uređaj se spaja serijskim kabelom na prijenosno računalo, a s antenskim kabelom se spaja na antenu. U Spatial Manageru potrebno je namjestiti ratu registracije na 1 sekundu i ratu USB Serial Porta na 19200. Spatial Manager je potrebno spremirati u zasebnu mapu na računalu jer se prilikom mjerenja svi podaci ondje automatski pohranjuju.

Mjerenje se obavlja na način da je x os usmjerena u smjeru gibanja, z os u smjeru središta Zemlje, a y os zatvara desni pravokutni koordinatni sustav. Mjerenja smo započeli u blizini kružnog toka na Bukovačkoj cesti. Mjerenja su izvršena Bukovačkom cestom uzbrdo u duljini od 1.2 kilometra, cesta nije u cijelosti savršeni pravac te je ipak podijeljena na 5 segmenata za detaljniju analizu. Mjerenja na zadanoj trajektoriji provedena su na četiri različita načina kretanja: prvo hodanjem, zatim brzi hod, treće korištenjem automobila brzinom kretanja 20 km/h, a posljednje, četvrto mjerenje izvedeno je također s pomoću automobila brzinom kretanja 40 km/h. Vrijeme je bilo oblačno bez padalina sa ugodnom temperaturom. Nije bilo nikakvih prepreka. Polazište svakog mjerenja je bilo kraj kružnog toka i završavalo uzbrdo nakon malo više od jednog kilometra. U nastavku su priložene slike sa terena.



Slika 5: Mjerenje INS uređajem iz automobila



Slika 6: Prikaz početka trajektorije



Slika 7: Prikaz završetka trajektorije

Nakon završetka mjerenja dobivene podatke potrebno je konvertirati pomoću alata „Log converter“. Rezultat konverzije je datoteka sa statističkim i geometrijskim podacima mjerenja u .csv formatu.

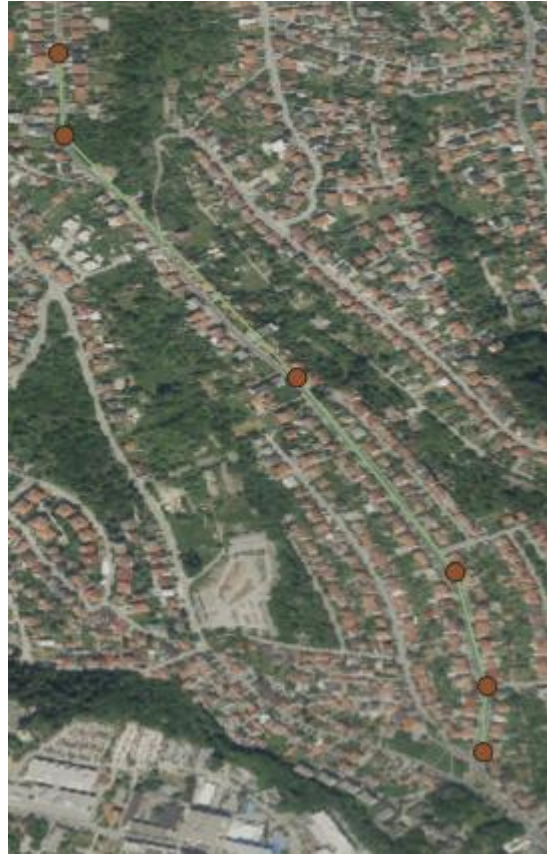
5. Obrada podataka

Početni korak obrade podataka uključuje učitavanje odgovarajuće podloge. U ovom projektu koristi se DOF 2018, koji je dostupan kao WMS servis putem ZG Geoportala, unutar popisa prostornih servisa. Potrebno je izabrati HTRS96/TM kao referentni koordinatni sustav. To je službeni sustav Republike Hrvatske.

Sljedeći korak u obradi podataka započinje pronalaznjem rezultata mjerenja koji su pohranjeni u Excel datoteci pod nazivom „State“. Ova datoteka smještena je u direktoriju s konvertiranim podacima mjerenja. Kako bi se podaci mogli analizirati, potrebno ih je učitati u softver QGIS putem opcije „Add Delimited Text Layer“, koja omogućuje unos podataka strukturiranih u Excel datoteku s vrijednostima odvojenim zarezom. Učitani su podaci za sva 4 mjerenja. Svi novoučitani slojevi su učitani u WGS84 sustavu te je iste potrebno transformirati u .shp datoteku u HTRS96/TM sustavu.

Određene su točke idealne trajektorije, jer ipak Bukovačka cesta nije savršen pravac. Točke nam omogućuju detaljniju analizu po segmentima, te su određene točke, kojih je bilo 6, povezane

u liniju. „Idealna“ trajektorija je povezana u linijski sloj koji nam služi da pomoću „NNJoin“ funkcije, koja je dio QGIS-a kao plug-in, odredimo minimalnu udaljenost točaka mjerenja od idealne trajektorije. Po provedbi navedene funkcije dobivamo novi sloj koji u svojoj atributnoj tablici sadrži udaljenosti podataka mjerenja od spomenute idealne trajektorije. Za svako mjerenje se dobije sloj, a svaki od tih slojeva se izveze kao .csv datoteka. Daljnja obrada se vrši u „MS Excel-u“.



Slika 8 Prikaz idealne trajektorije u QGIS-u

6. Analiza podataka

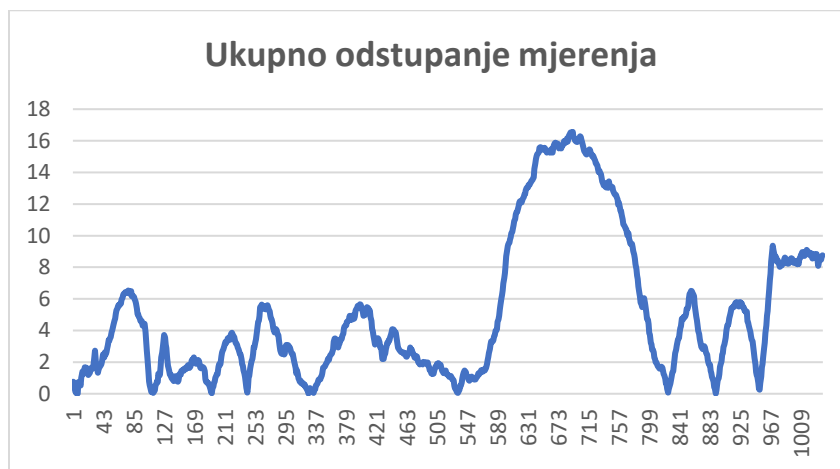
Za daljnju analizu podataka u softveru „MS Excel“ su učitani slojevi pri čemu je za analizu ključan stupac „distance“. Taj stupac predstavlja minimalnu udaljenost podataka mjerenja od idealne trajektorije. Ovaj set podataka je potrebno kombinirati s podacima o broju satelita. Podaci o broju satelita tokom mjerenja se nalaze u konvertiranoj datoteci „Satellites“. Vidljivi sateliti tokom mjerenja su bili: GPS, SBAS i GLONASS sateliti. U „MS Excel“-u su izvršene analize za cjelokupno mjerenje te za segmente koji su redom nazvani: „1T-2T“, „2T-3T“, „3T-4T“, „4T-5T“, „5T-6T“. Za svaki segment su određene vrijednosti: ukupan broj mjerenja, prosječni broj vidljivih satelita trajektorije, apsolutno srednje odstupanje (u metrima), najveće i najmanje odstupanje (u metrima), standardno odstupanje (u metrima).

6.1. Analiza podataka mjerenja dobivenih hodanjem

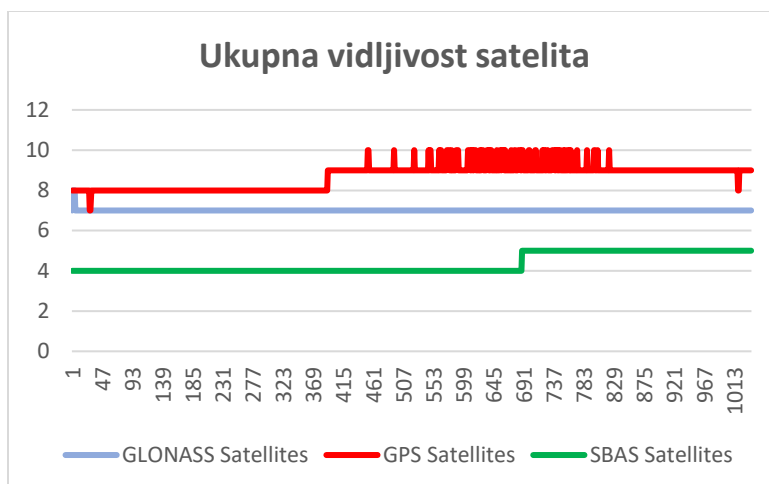
6.1.1. Analiza cjelokupnog mjerenja

Tablica 1 Statistički prikaz podataka cjelokupnog mjerenja hodanjem

CJELOKUPNA TRAJEKTORIJA	
Ukupan broj mjerenja:	1039
Prosječni broj vidljivih satelita:	20.04235
Aps. srednje odstupanje [m]:	5.10006
Najveće odstupanje [m]:	16.56309
Najmanje odstupanje [m]:	0.00620
Standardno odstupanje [m]:	4.55184



Slika 9 Ukupno odstupanje mjerenja od idealne trajektorije cijelog mjerenja hodanjem



Slika 10 Vidljivost satelita za podatke mjerenja cijelog mjerenja hodanjem

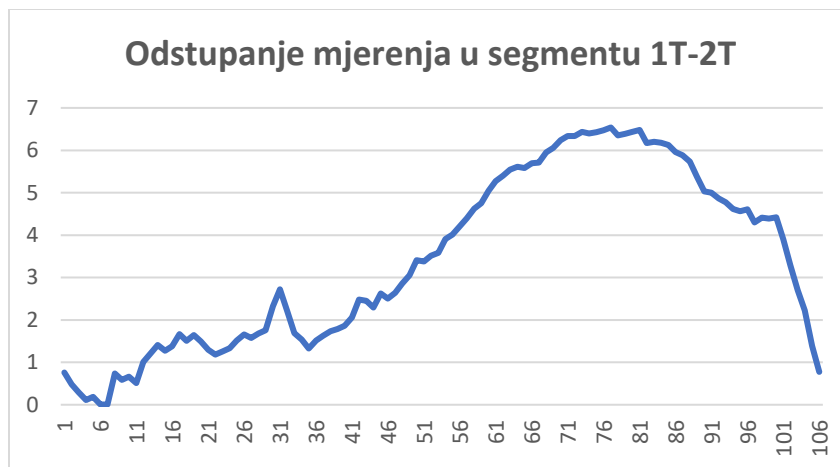
Nakon analize, iz grafičkih i tabličnih prikaza (Tablica 1, Slika 9 i Slika 10), zaključujemo da nema velikih odstupanja mjerenja od idealne trajektorije osim razdoblja mjerenja 600-800 jer „idealna“ trajektorije odnosno idealni pravac odstupa od smjera ceste (blagi zavoj).

Vidljivost satelita je zadovoljavajuća tokom cijelog mjerenja.

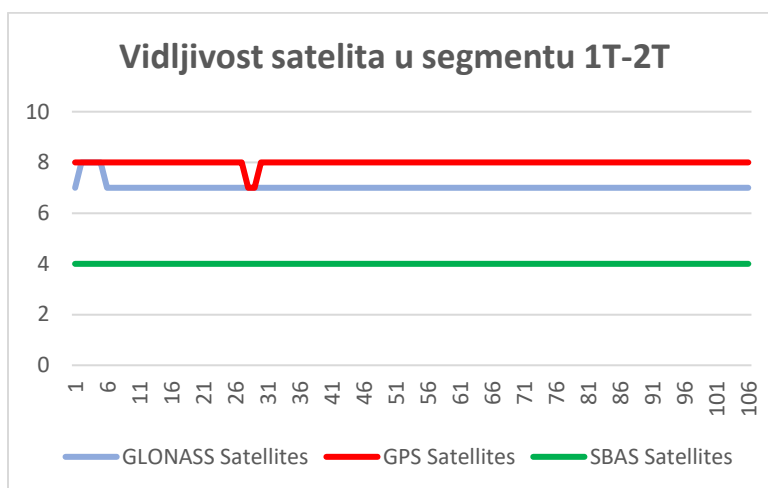
6.1.2. Analiza segmenta 1T-2T

Tablica 2 Statistički prikaz podataka u segmentu 1T-2T dobivenih hodanjem

SEGMENT 1T-2T	
Ukupan broj mjerenja:	106
Prosječni broj vidljivih satelita:	19.01887
Aps. srednje odstupanje [m]:	3.38486
Najveće odstupanje [m]:	6.53872
Najmanje odstupanje [m]:	0.00620
Standardno odstupanje [m]:	2.07396



Slika 11 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 1T-2T dobivenih hodanjem

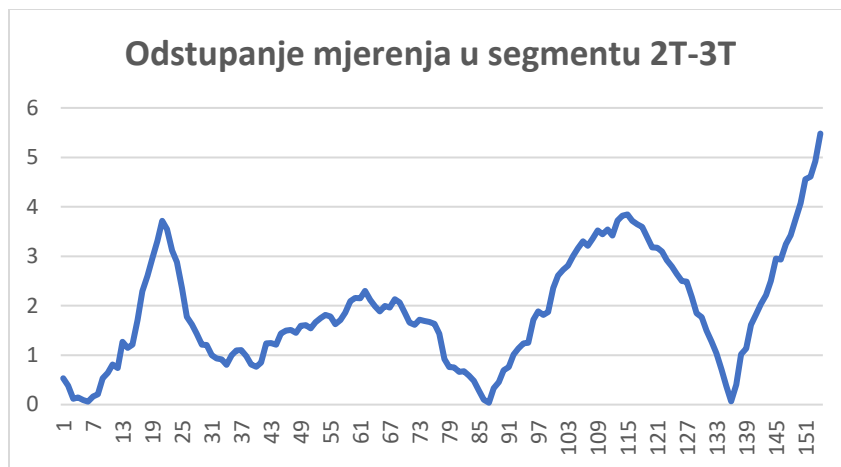


Slika 12 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 1T-2T dobivenih hodanjem

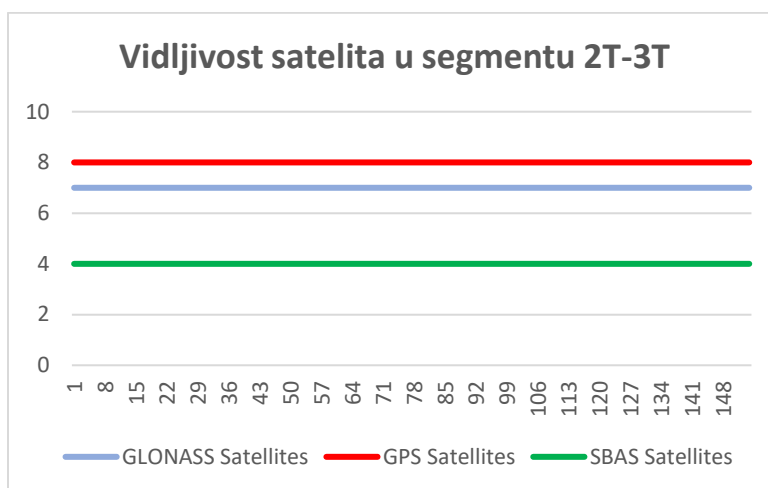
6.1.3. Analiza segmenta 2T-3T

Tablica 3 Statistički prikaz podataka u segmentu 2T-3T dobivenih hodanjem

SEGMENT 2T-3T	
Ukupan broj mjerenja:	154
Prosječni broj vidljivih satelita:	19.00000
Aps. srednje odstupanje [m]:	1.87376
Najveće odstupanje [m]:	5.48137
Najmanje odstupanje [m]:	0.03751
Standardno odstupanje [m]:	1.14800



Slika 13 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 2T-3T dobivenih hodanjem

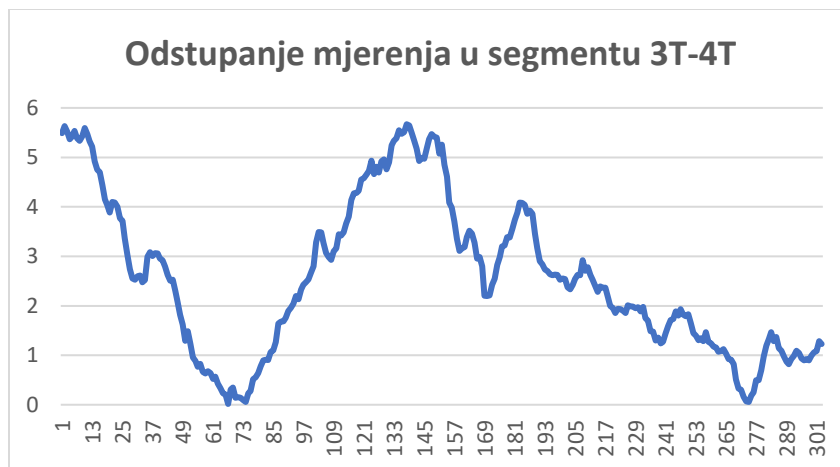


Slika 14 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 2T-3T dobivenih hodanjem

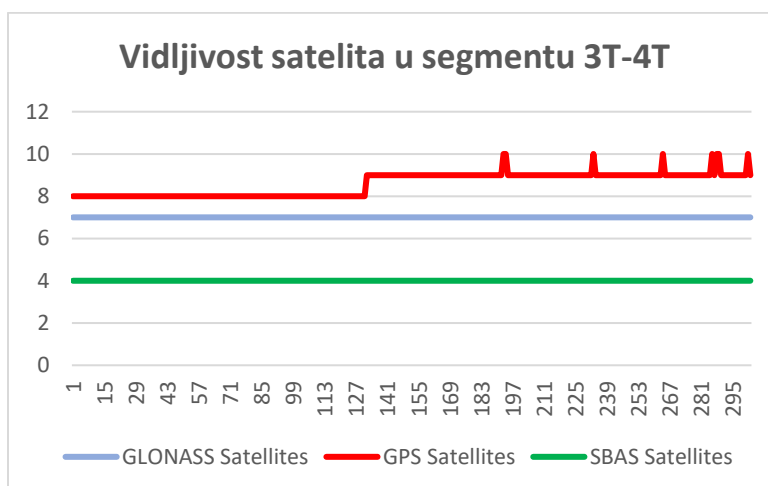
6.1.4. Analiza segmenta 3T-4T

Tablica 4 Statistički prikaz podataka u segmentu 3T-4T dobivenih hodanjem

SEGMENT 3T-4T	
Ukupan broj mjerenja:	303
Prosječni broj vidljivih satelita:	19.59406
Aps. srednje odstupanje [m]:	2.57606
Najveće odstupanje [m]:	5.66952
Najmanje odstupanje [m]:	0.01618
Standardno odstupanje [m]:	1.56943



Slika 15 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 3T-4T dobivenih hodanjem

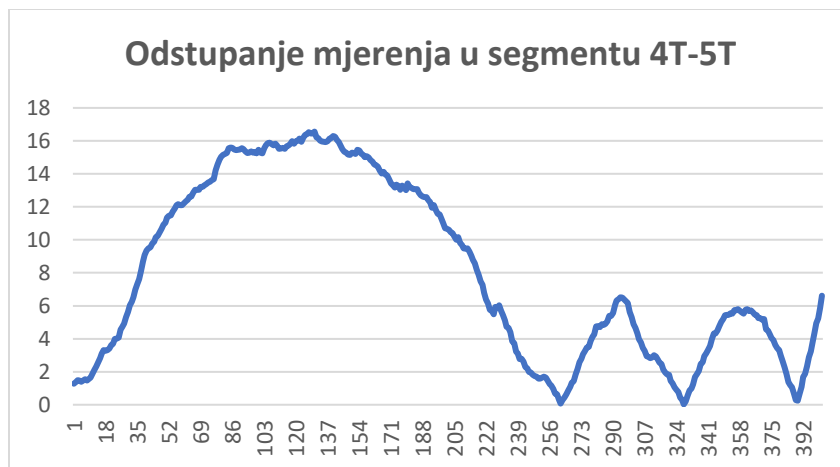


Slika 16 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 3T-4T dobivenih hodanjem

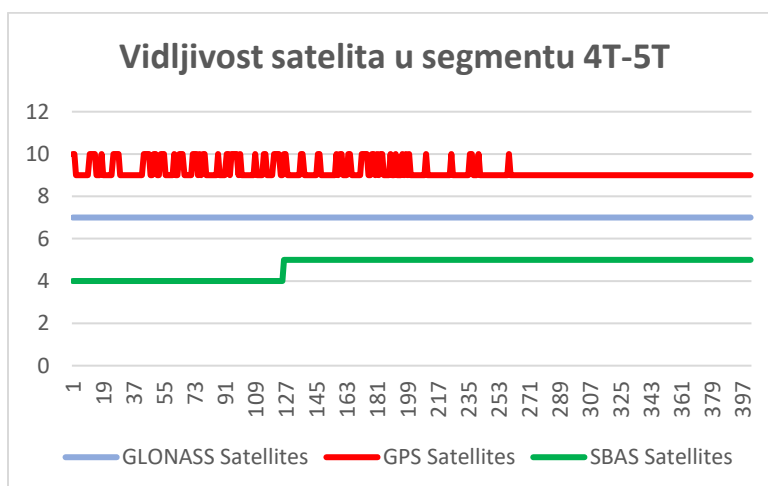
6.1.5. Analiza segmenta 4T-5T

Tablica 5 Statistički prikaz podataka u segmentu 4T-5T dobivenih hodanjem

SEGMENT 4T-5T	
Ukupan broj mjerenja:	402
Prosječni broj vidljivih satelita:	20.87811
Aps. srednje odstupanje [m]:	8.05737
Najveće odstupanje [m]:	16.56309
Najmanje odstupanje [m]:	0.02153
Standardno odstupanje [m]:	5.43919



Slika 17 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 4T-5T dobivenih hodanjem

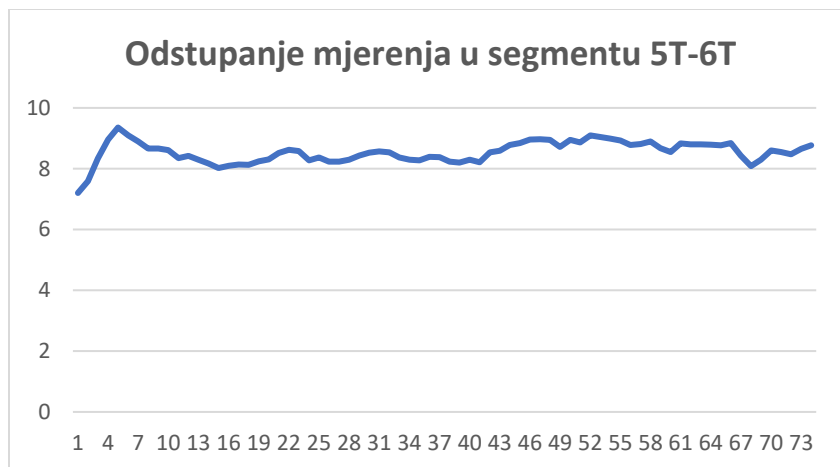


Slika 18 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 4T-5T dobivenih hodanjem

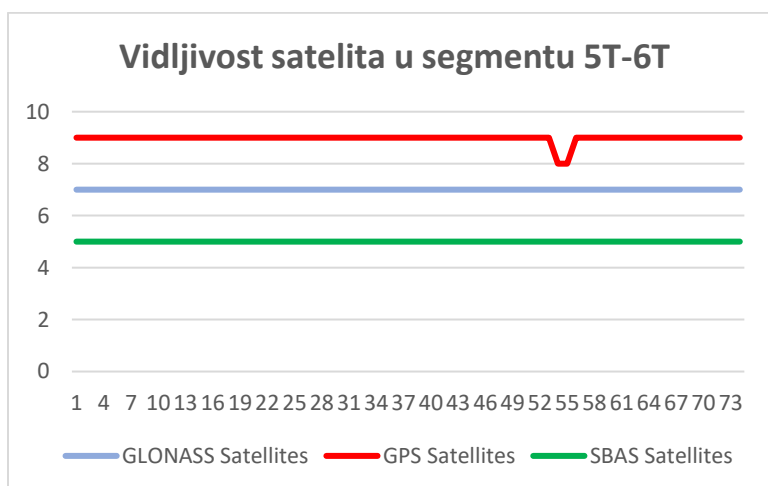
6.1.6. Analiza segmenta 5T-6T

Tablica 6 Statistički prikaz podataka u segmentu 5T-6T dobivenih hodanjem

SEGMENT 5T-6T	
Ukupan broj mjerenja	74
Prosječni broj vidljivih satelita	20.97297
Aps. srednje odstupanje [m]	8.54057
Najveće odstupanje [m]	9.35426
Najmanje odstupanje [m]	7.20188
Standardno odstupanje [m]	0.35403



Slika 19 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 5T-6T dobivenih hodanjem



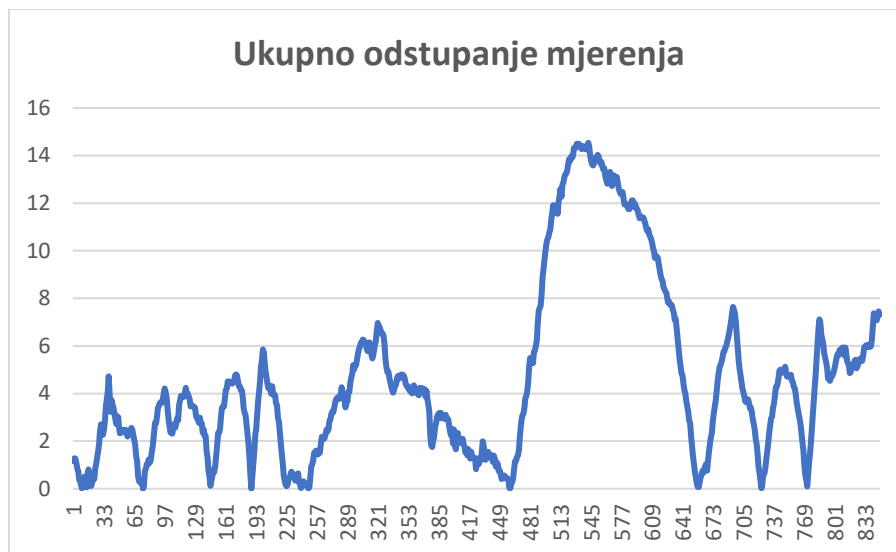
Slika 20 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 5T-6T dobivenih hodanjem

6.2. Analiza podataka mjerenja dobivenih trčanjem

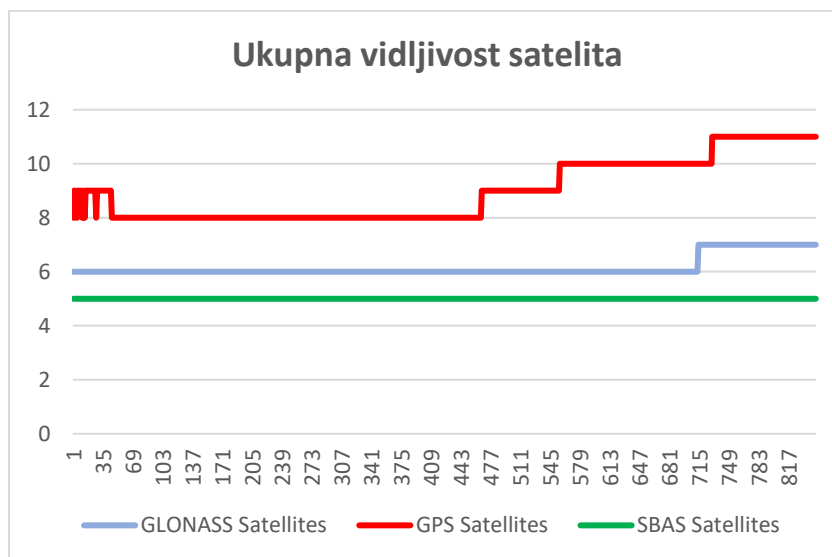
6.2.1. Analiza podataka cjelokupnog mjerenja

Tablica 7 Statistički prikaz podataka cjelokupnog mjerenja trčanjem

CJELOKUPNA TRAJEKTORIJA	
Ukupan broj mjerenja:	848
Prosječni broj vidljivih satelita:	20.139151
Aps. srednje odstupanje [m]:	4.658551
Najveće odstupanje [m]:	14.531979
Najmanje odstupanje [m].	0.000658
Standardno odstupanje [m]:	3.769424



Slika 21 Ukupno odstupanje mjerenja od idealne trajektorije cijelog mjerenja – trčanje



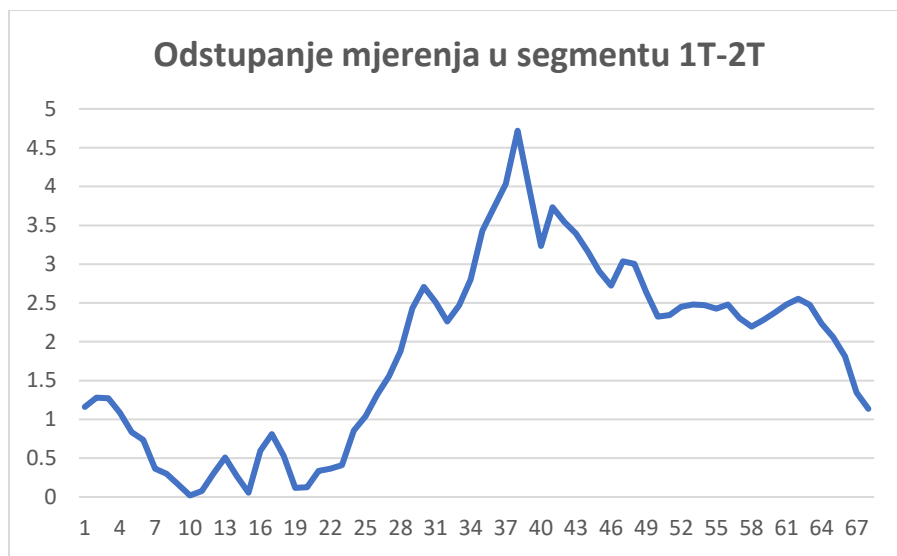
Slika 22 Vidljivost satelita za podatke mjerenja cijelog mjerenja - trčanje

Nakon analize cjelog mjerenja trčanjem, iz grafičkih i tabličnih prikaza (Tablica 7, Slika 21 i Slika 22), zaključujemo da nema velikih odstupanja mjerenja od idealne trajektorije osim razdoblja mjerenja 600-800 jer „idealna“ trajektorije odnosno idealni pravac odstupa od smjera ceste (blagi zavoj). Mjerenja su izvedena uspješno, iako uvjeti u trčanju nisu idealni.

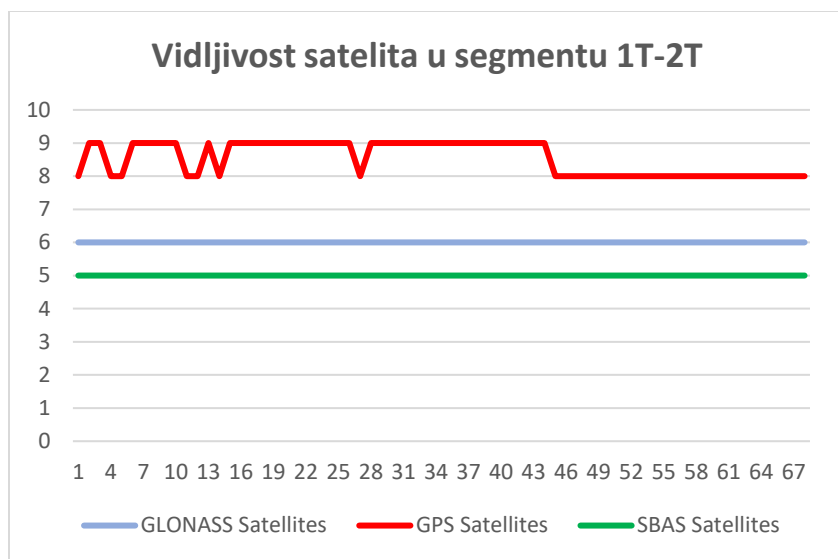
6.2.2. Analiza segmenta 1T-2T

Tablica 8 Statistički prikaz podataka u segmentu 1T-2T dobivenih trčanjem

SEGMENT 1T-2T	
Ukupan broj mjerenja	68
Prosječni broj vidljivih satelita	19.544118
Aps. srednje odstupanje [m]	1.867967
Najveće odstupanje [m]	4.718910
Najmanje odstupanje [m]	0.019421
Standardno odstupanje [m]	1.199779



Slika 23 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 1T-2T dobivenih trčanjem

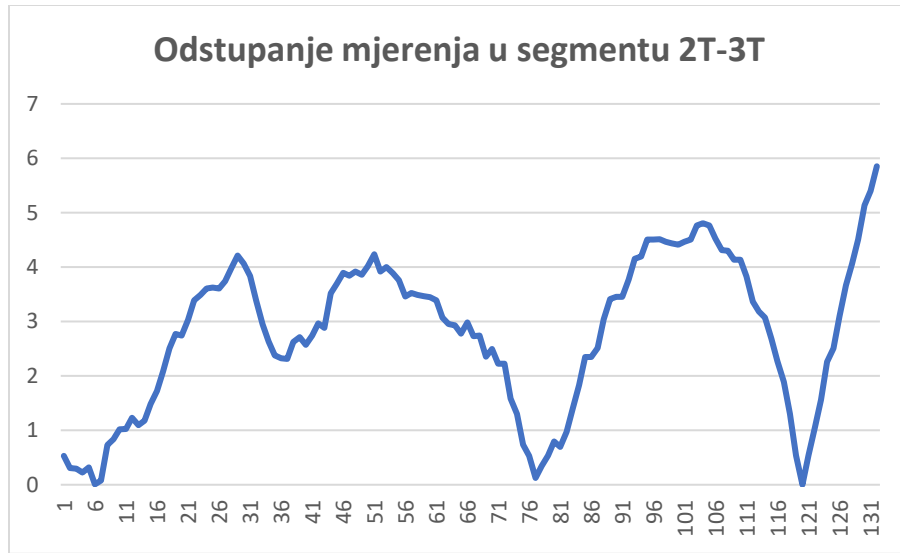


Slika 24 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 1T-2T dobivenih trčanjem

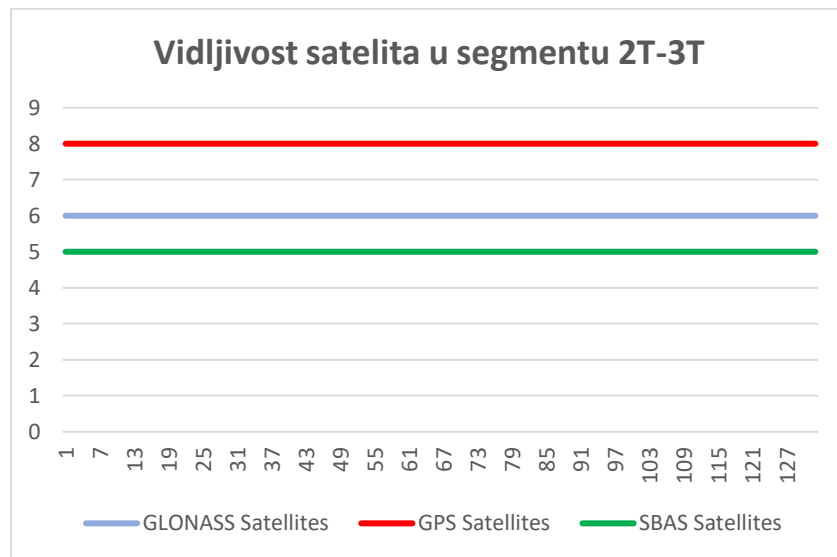
6.2.3. Analiza segmenta 2T-3T

Tablica 9 Statistički prikaz podataka u segmentu 2T-3T dobivenih trčanjem

SEGMENT 2T-3T	
Ukupan broj mjerenja:	132
Prosječni broj vidljivih satelita:	19.00000
Aps. srednje odstupanje [m]:	2.79503
Najveće odstupanje [m].	5.85305
Najmanje odstupanje [m]:	0.00066
Standardno odstupanje [m]:	1.39116



Slika 25 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 2T-3T dobivenih trčanjem

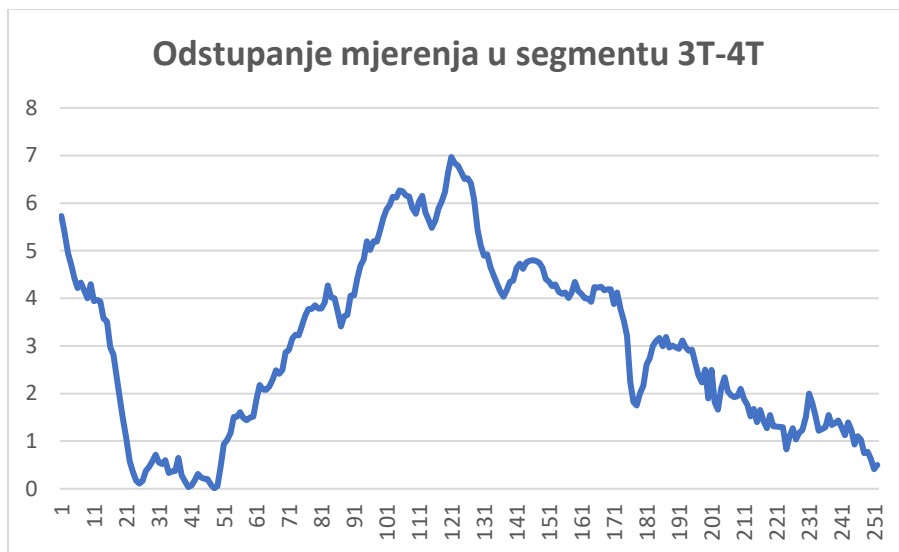


Slika 26 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 2T-3T dobivenih trčanjem

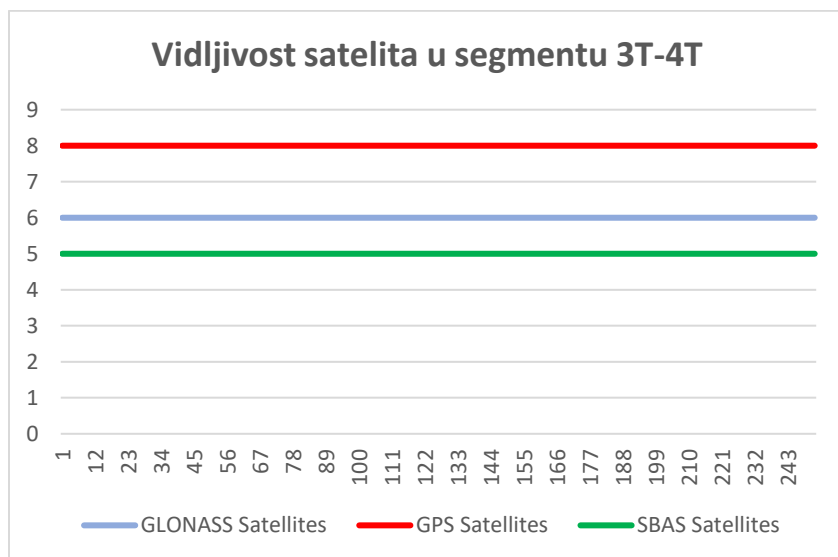
6.2.4. Analiza segmenta 3T-4T

Tablica 10 Statistički prikaz podataka u segmentu 3T-4T dobivenih trčanjem

SEGMENT 3T-4T	
Ukupan broj mjerenja:	252
Prosječni broj vidljivih satelita:	19.00000
Aps. srednje odstupanje [m]:	3.02708
Najveće odstupanje [m]:	6.96835
Najmanje odstupanje [m]:	0.01050
Standardno odstupanje [m]:	1.85034



Slika 27 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 3T-4T dobivenih trčanjem

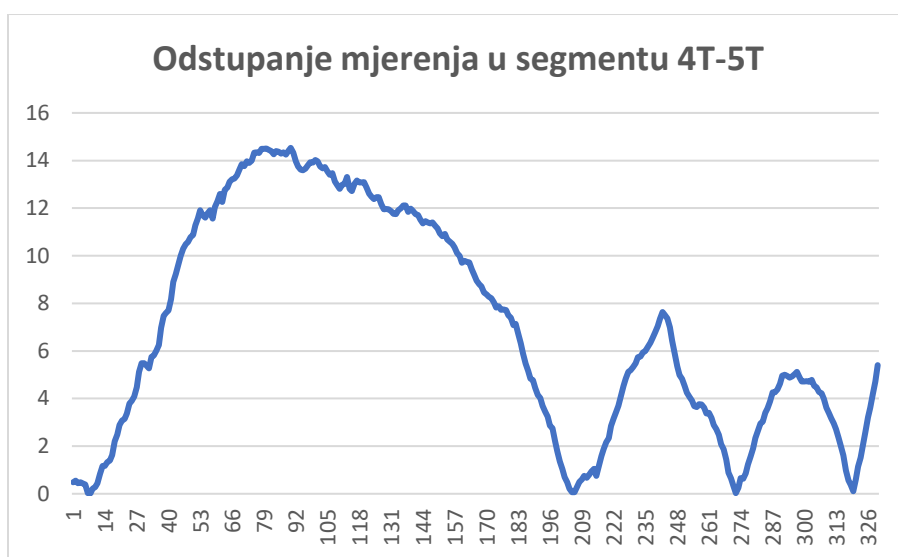


Slika 28 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 3T-4T dobivenih trčanjem

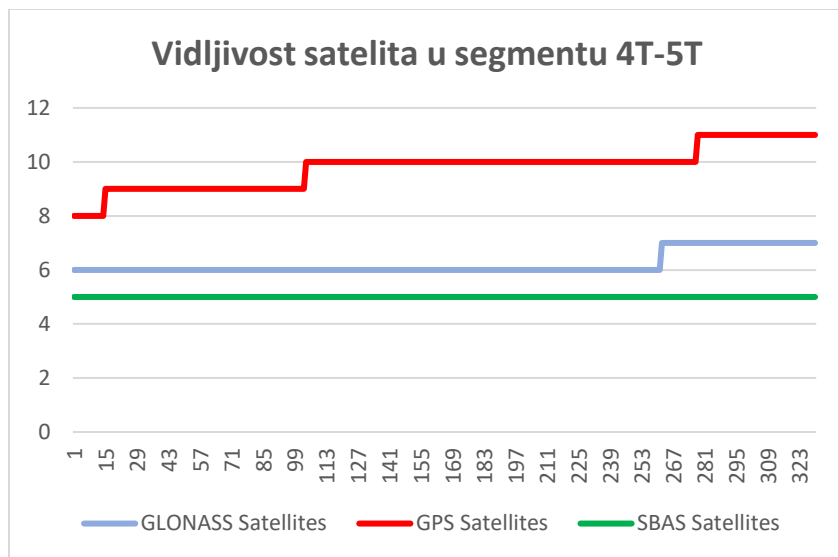
6.2.5. Analiza segmenta 4T-5T

Tablica 11 Statistički prikaz podataka u segmentu 4T-5T dobivenih trčanjem

SEGMENT 4T-5T	
Ukupan broj mjerenja:	330
Prosječni broj vidljivih satelita:	21.01515
Aps. srednje odstupanje [m]:	7.00349
Najveće odstupanje [m]:	14.53198
Najmanje odstupanje [m]:	0.01236
Standardno odstupanje [m]:	4.68891



Slika 29 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 4T-5T dobivenih trčanjem

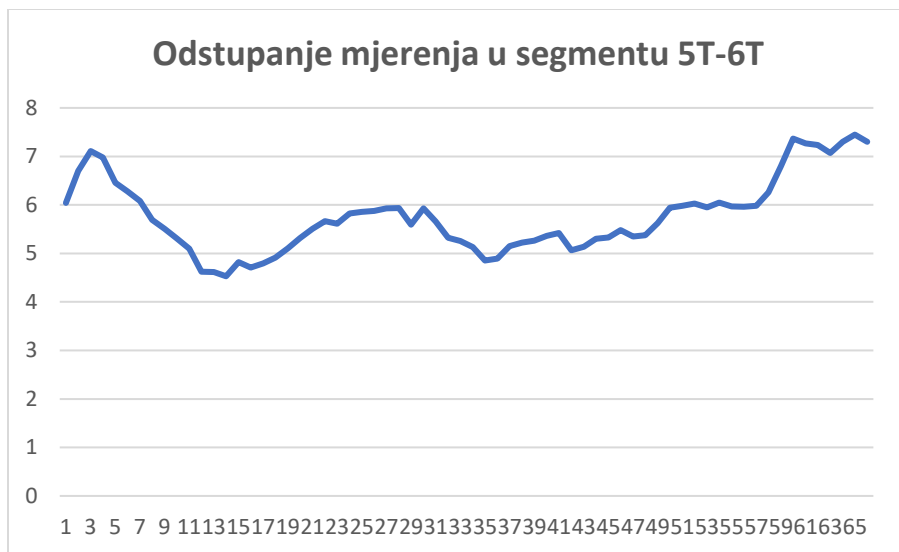


Slika 30 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 4T-5T dobivenih trčanjem

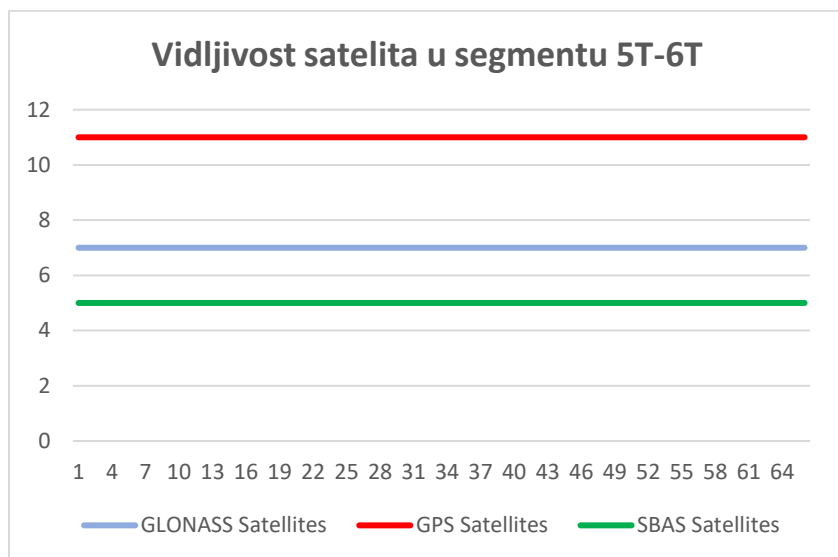
6.2.6. Analiza segmenta 5T-6T

Tablica 12 Statistički prikaz podataka u segmentu 5T-6T dobivenih trčanjem

SEGMENT 5T-6T	
Ukupan broj mjerenja:	66
Prosječni broj vidljivih satelita:	23.00000
Aps. srednje odstupanje [m]:	5.76529
Najveće odstupanje [m]:	7.44923
Najmanje odstupanje [m]:	4.52850
Standardno odstupanje [m]:	0.76309



Slika 31 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 5T-6T dobivenih trčanjem



Slika 32 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 5T-6T dobivenih trčanjem

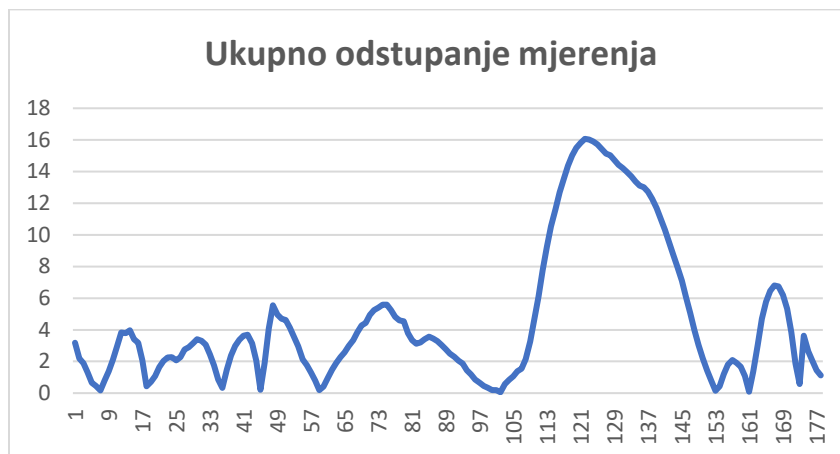
6.3. Analiza podataka mjerenja dobivenih sporom vožnjom

6.3.1. Analiza podataka cjelokupnog mjerenja

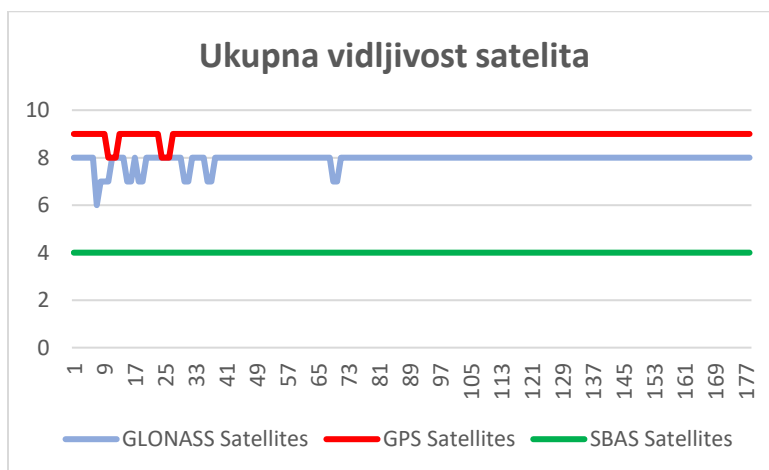
Tablica 13 Statistički prikaz podataka cjelokupnog mjerenja sporom vožnjom

CJELOKUPNA TRAJEKTORIJA	
Ukupan broj mjerenja:	178
Prosječni broj vidljivih satelita:	20.882022

Aps. srednje odstupanje [m]:	4.598463
Najveće odstupanje [m]:	16.068357
Najmanje odstupanje [m]:	0.054808
Standardno odstupanje [m]:	4.444997



Slika 33 Ukupno odstupanje mjerenja od idealne trajektorije cijelog mjerenja – spora vožnja



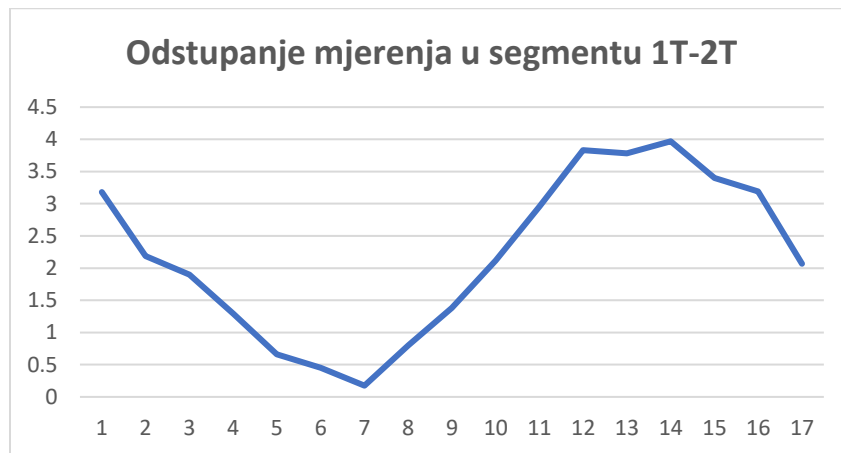
Slika 34 Vidljivost satelita za podatke mjerenja cijelog mjerenja - spora vožnja

Nakon analize cjelog mjerenja trčanjem, iz grafičkih i tabličnih prikaza (Tablica 13, Slika 33 i Slika 34), zaključujemo da nema velikih odstupanja mjerenja od idealne trajektorije osim razdoblja mjerenja 600-800 jer „idealna“ trajektorije odnosno idealni pravac odstupa od smjera ceste (blagi zavoj). Mjerenja su izvedena uspješno, iako uvjeti u vožnji nisu idealni. Velik broj ležećih policajaca te rupa na cesti (zbog različitih radova, ali i ne saniranih) su utjecale na stabilnost i izvedbu mjerenja.

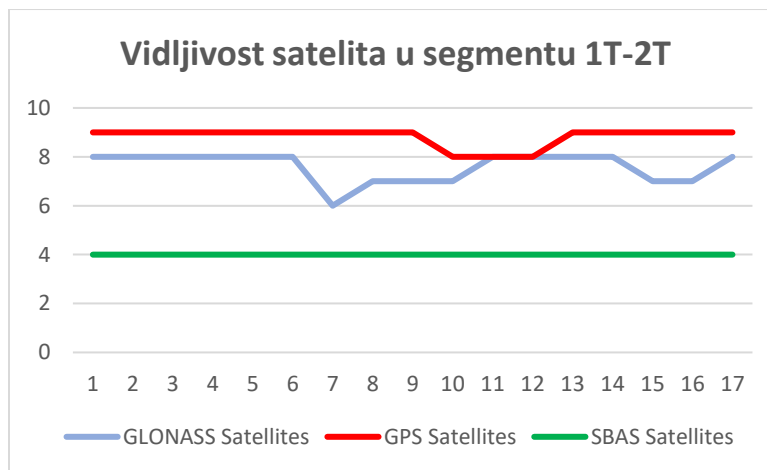
6.3.2. Analiza segmenta 1T-2T

Tablica 14 Statistički prikaz podataka u segmentu 1T-2T dobivenih sporom vožnjom

SEGMENT 1T-2T	
Ukupan broj mjerenja:	17
Prosječni broj vidljivih satelita:	20.411765
Aps. srednje odstupanje [m]:	2.196499
Najveće odstupanje [m]:	3.969285
Najmanje odstupanje [m]:	0.174743
Standardno odstupanje [m]:	1.259195



Slika 35 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 1T-2T dobivenih sporom vožnjom

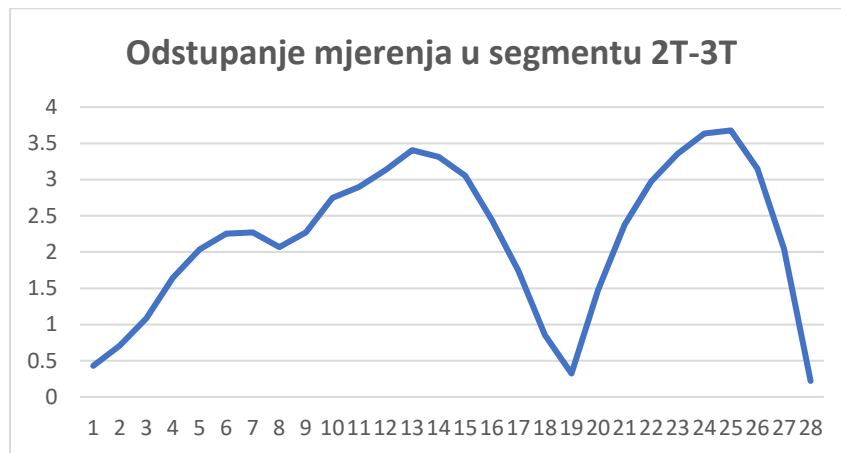


Slika 36 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 1T-2T dobivenih sporom vožnjom

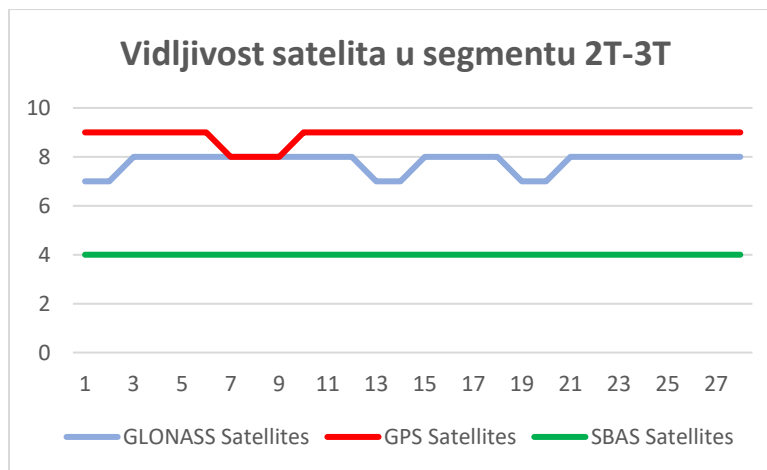
6.3.3. Analiza segmenta 2T-3T

Tablica 15 Statistički prikaz podataka u segmentu 2T-3T dobivenih sporom vožnjom

SEGMENT 2T-3T	
Ukupan broj mjerenja:	28
Prosječni broj vidljivih satelita:	20.678571
Aps. srednje odstupanje [m]:	2.199550
Najveće odstupanje [m]:	3.678586
Najmanje odstupanje [m]:	0.220058
Standardno odstupanje [m]:	1.040945



Slika 37 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 2T-3T dobivenih sporom vožnjom

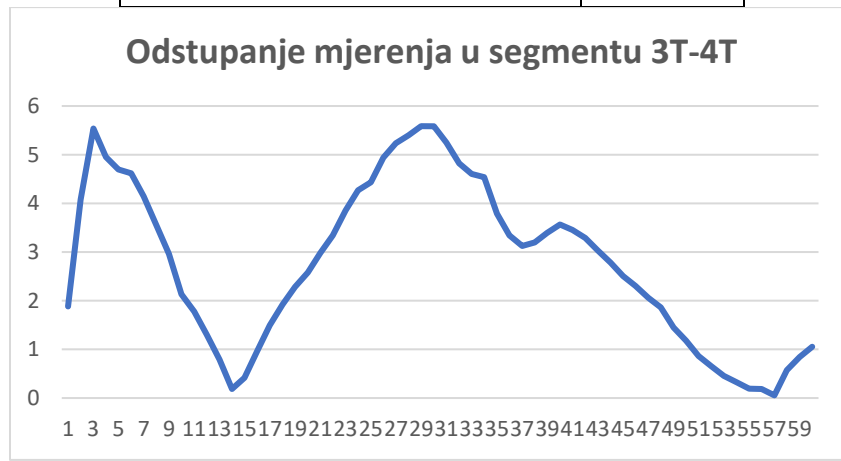


Slika 38 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 2T-3T dobivenih sporom vožnjom

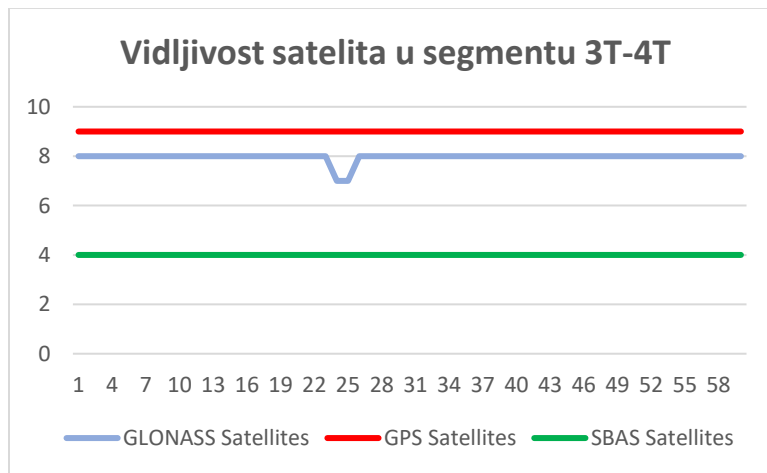
6.3.4. Analiza segmenta 3T-4T

Tablica 16 Statistički prikaz podataka u segmentu 3T-4T dobivenih sporom vožnjom

SEGMENT 3T-4T	
Ukupan broj mjerenja:	60
Prosječni broj vidljivih satelita:	20.966667
Aps. srednje odstupanje [m]:	2.777220
Najveće odstupanje [m]:	5.585720
Najmanje odstupanje [m]:	0.054808
Standardno odstupanje [m]:	1.688030



Slika 39 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 3T-4T dobivenih sporom vožnjom

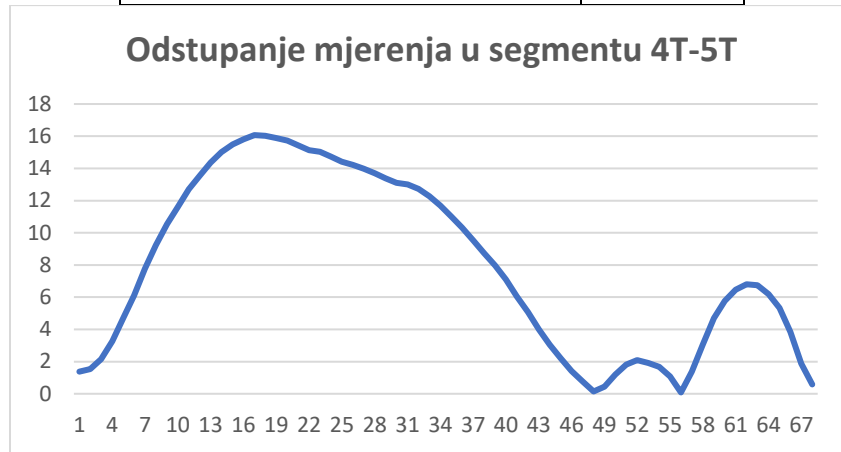


Slika 40 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 3T-4T dobivenih sporom vožnjom

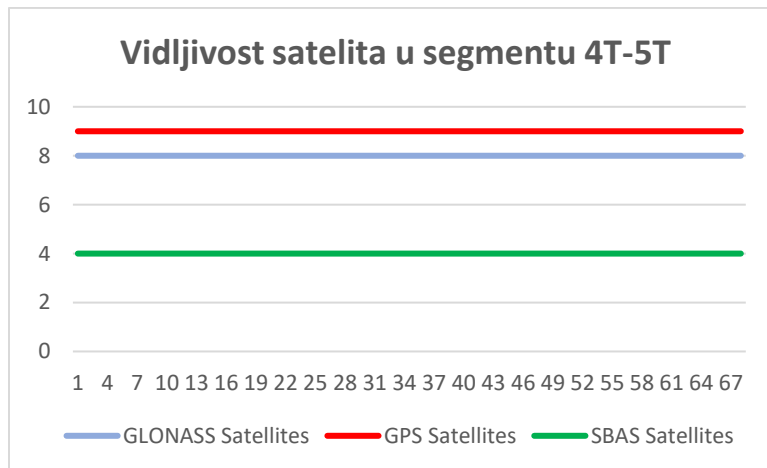
6.3.5. Analiza segmenta 4T-5T

Tablica 17 Statistički prikaz podataka u segmentu 4T-5T dobivenih sporom vožnjom

SEGMENT 4T-5T	
Ukupan broj mjerenja	68
Prosječni broj vidljivih satelita	7.972069
Aps. srednje odstupanje [m]	7.972069
Najveće odstupanje [m]	16.068357
Najmanje odstupanje [m]	0.083826
Standardno odstupanje [m]	5.475738



Slika 41 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 4T-5T dobivenih sporom vožnjom

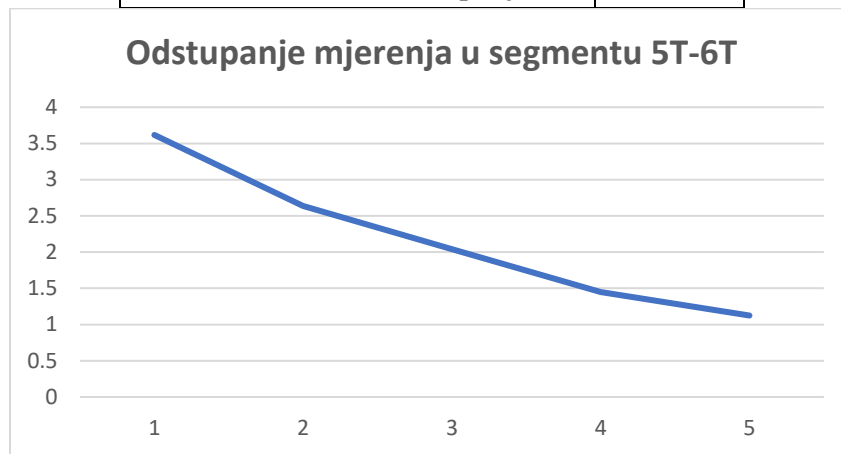


Slika 42 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 4T-5T dobivenih sporom vožnjom

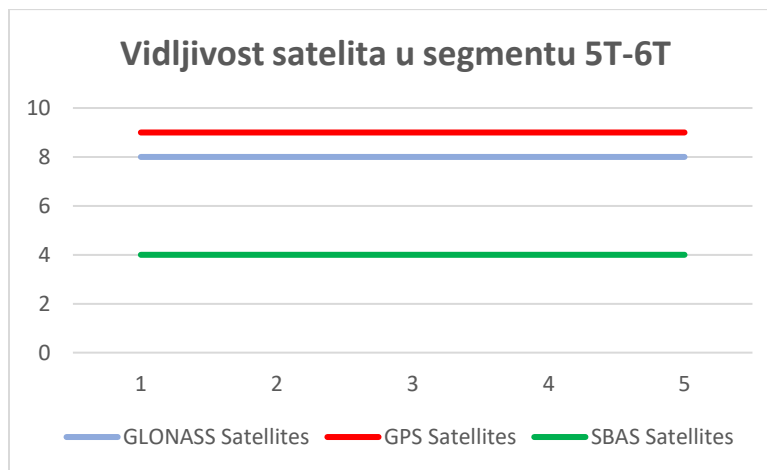
6.3.6. Analiza segmenta 5T-6T

Tablica 18 Statistički prikaz podataka u segmentu 5T-6T dobivenih sporom vožnjom

SEGMENT 5T-6T	
Ukupan broj mjerenja	5
Prosječni broj vidljivih satelita	7.951738
Aps. srednje odstupanje [m]	2.172929
Najveće odstupanje [m]	3.617500
Najmanje odstupanje [m]	1.124411
Standardno odstupanje [m]	0.993098



Slika 43 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 5T-6T dobivenih sporom vožnjom



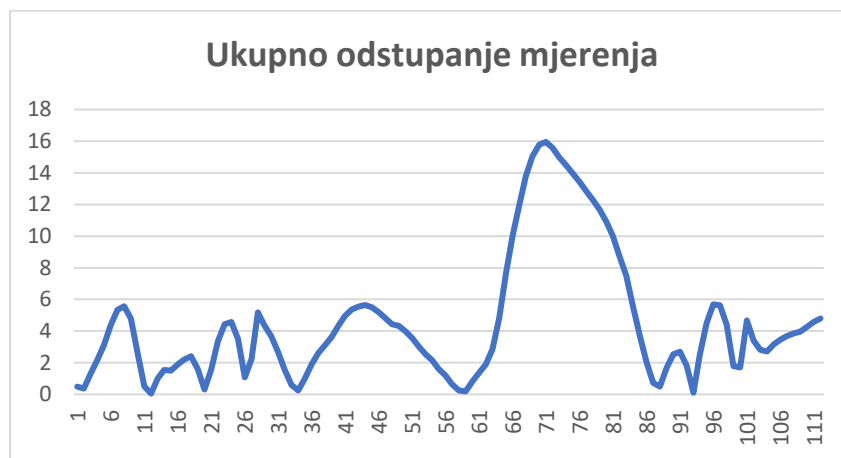
Slika 44 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 5T-6T dobivenih sporom vožnjom

6.4. Analiza podataka mjerenja dobivenih brzom vožnjom

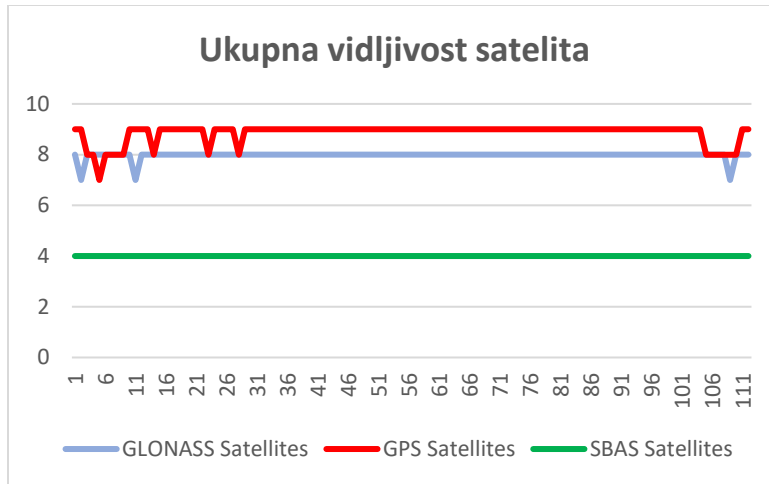
6.4.1. Analiza podataka cjelokupnog mjerenja

Tablica 19 Statistički prikaz podataka cjelokupnog mjerenja brzom vožnjom

CJELOKUPNA TRAJEKTORIJA	
Ukupan broj mjerenja	112
Prosječni broj vidljivih satelita	20.821429
Aps. srednje odstupanje [m]	4.507953
Najveće odstupanje [m]	15.955053
Najmanje odstupanje [m]	0.048579
Standardno odstupanje [m]	4.062542



Slika 45 Ukupno odstupanje mjerenja od idealne trajektorije cijelog mjerenja – brza vožnja

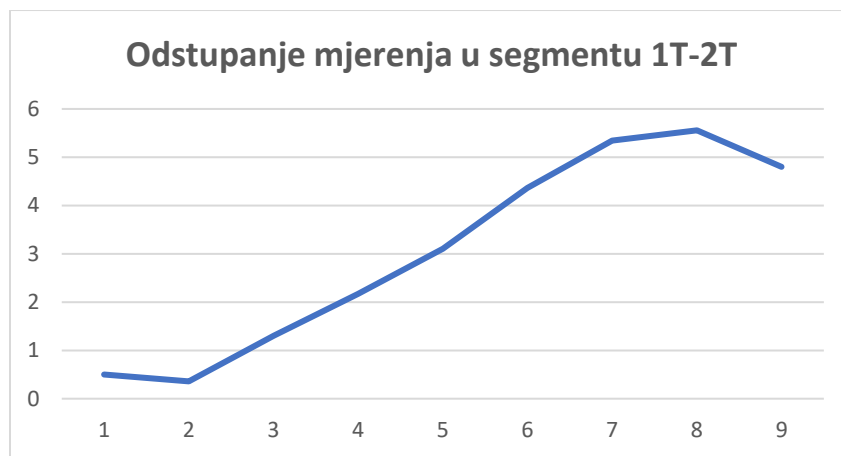


Slika 46 Vidljivost satelita za podatke mjerenja cijelog mjerenja - brza vožnja

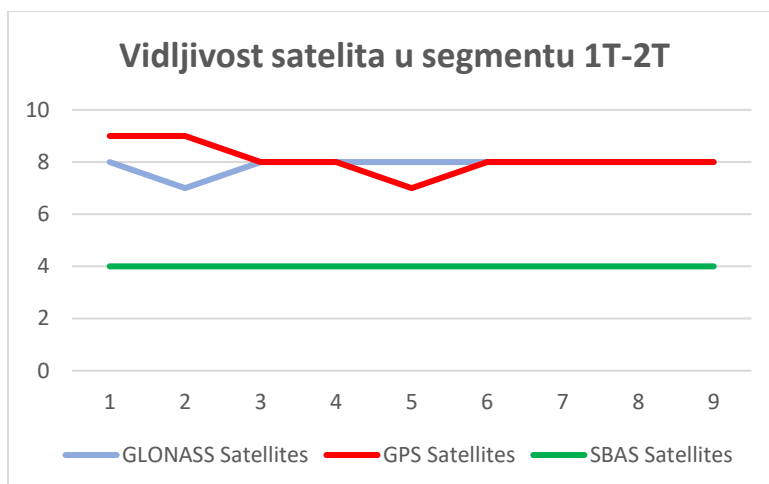
6.4.2. Analiza segmenta 1T-2T

Tablica 20 Statistički prikaz podataka u segmentu 1T-2T dobivenih brzom vožnjom

SEGMENT 1T-2T	
Ukupan broj mjerenja	9
Prosječni broj vidljivih satelita	20.000
Aps. srednje odstupanje [m]	3.055726
Najveće odstupanje [m]	5.557146
Najmanje odstupanje [m]	0.358890
Standardno odstupanje [m]	2.059136



Slika 47 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 1T-2T dobivenih brzom vožnjom

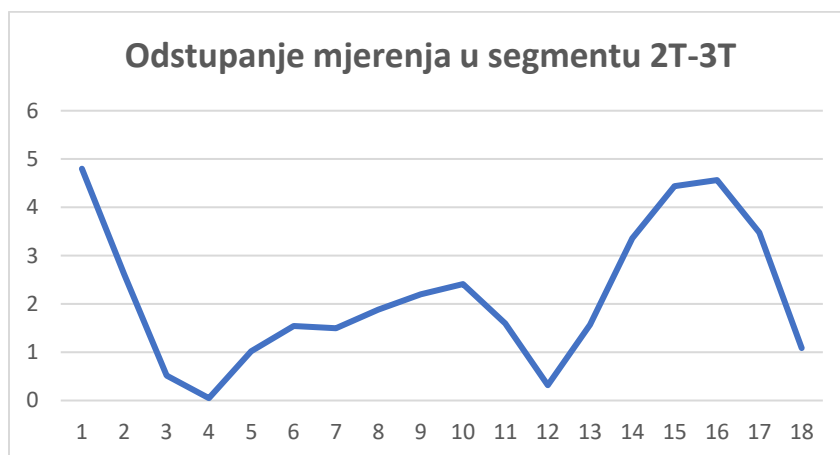


Slika 48 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 1T-2T dobivenih brzom vožnjom

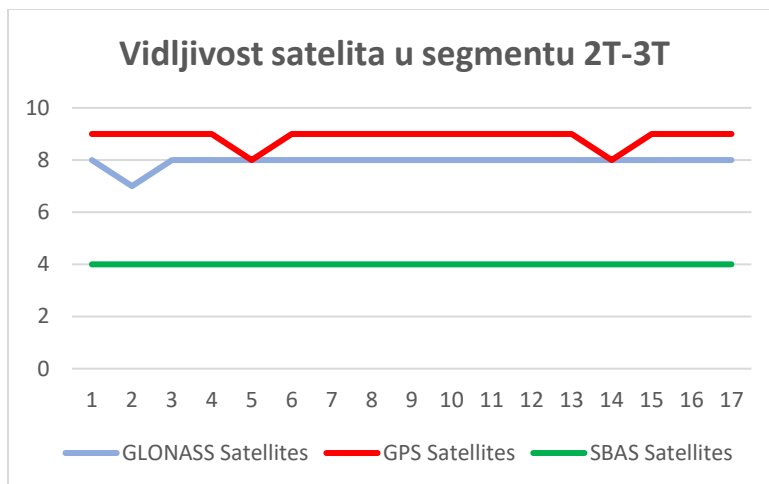
6.4.3. Analiza segmenta 2T-3T

Tablica 21 Statistički prikaz podataka u segmentu 2T-3T dobivenih brzom vožnjom

SEGMENT 2T-3T	
Ukupan broj mjerenja:	17
Prosječni broj vidljivih satelita:	20.824
Aps. srednje odstupanje [m]:	2.007476
Najveće odstupanje [m]:	4.564382
Najmanje odstupanje [m]:	0.048579
Standardno odstupanje [m]:	1.336845



Slika 49 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 2T-3T dobivenih brzom vožnjom

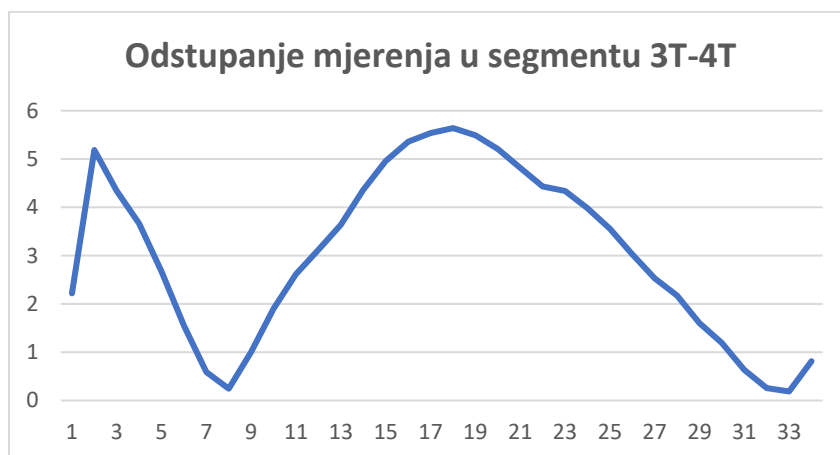


Slika 50 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 2T-3T dobivenih brzom vožnjom

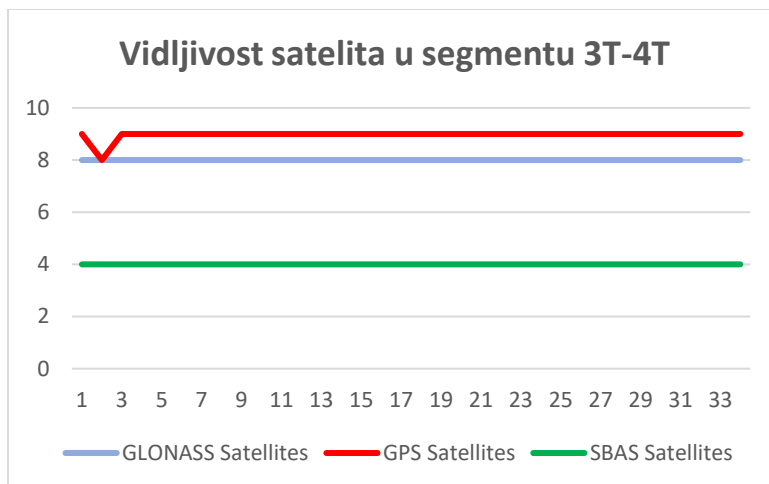
6.4.4. Analiza segmenta 3T-2T

Tablica 22 Statistički prikaz podataka u segmentu 3T-4T dobivenih brzom vožnjom

SEGMENT 3T-4T	
Ukupan broj mjerenja:	34
Prosječni broj vidljivih satelita:	20.971
Aps. srednje odstupanje [m]	3.024221
Najveće odstupanje [m]:	5.640152
Najmanje odstupanje [m]:	0.187088
Standardno odstupanje [m]:	1.784948



Slika 51 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 3T-4T dobivenih brzom vožnjom

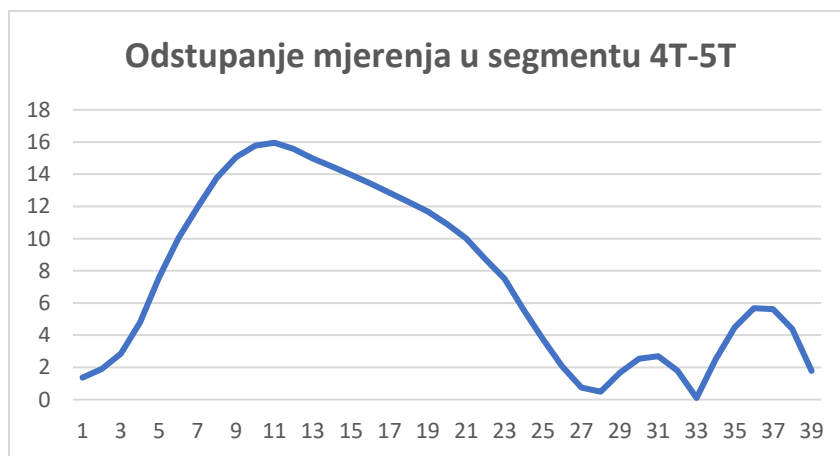


Slika 52 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 3T-4T dobivenih brzom vožnjom

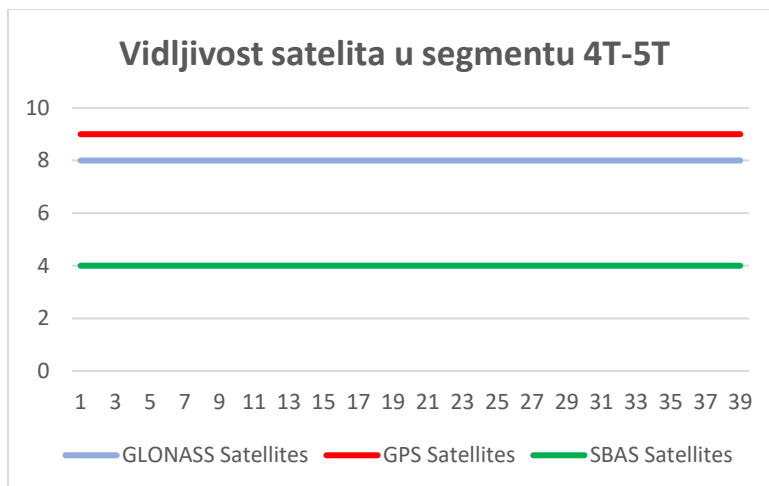
6.4.5. Analiza segmenta 4T-5T

Tablica 23 Statistički prikaz podataka u segmentu 4T-5T dobivenih brzom vožnjom

SEGMENT 4T-5T	
Ukupan broj mjerenja:	39
Prosječni broj vidljivih satelita:	21.000
Aps. srednje odstupanje [m]:	7.522273
Najveće odstupanje [m]:	15.955053
Najmanje odstupanje [m]:	0.104894
Standardno odstupanje [m]:	5.356372



Slika 53 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 4T-5T dobivenih brzom vožnjom

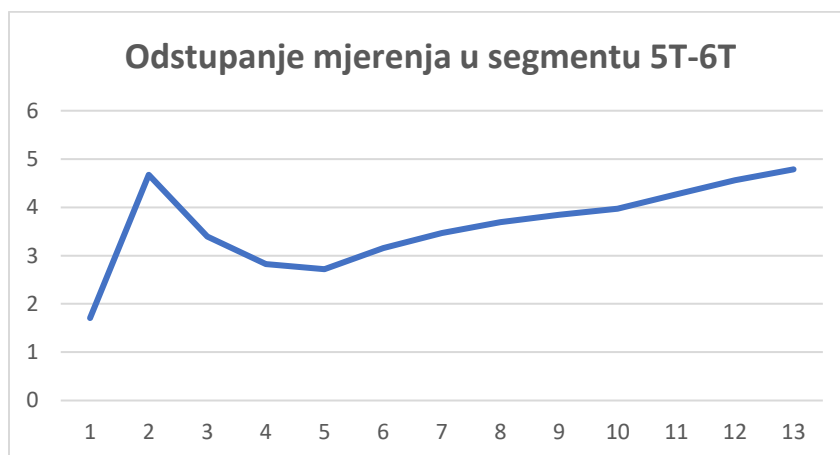


Slika 54 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 4T-5T dobivenih brzom vožnjom

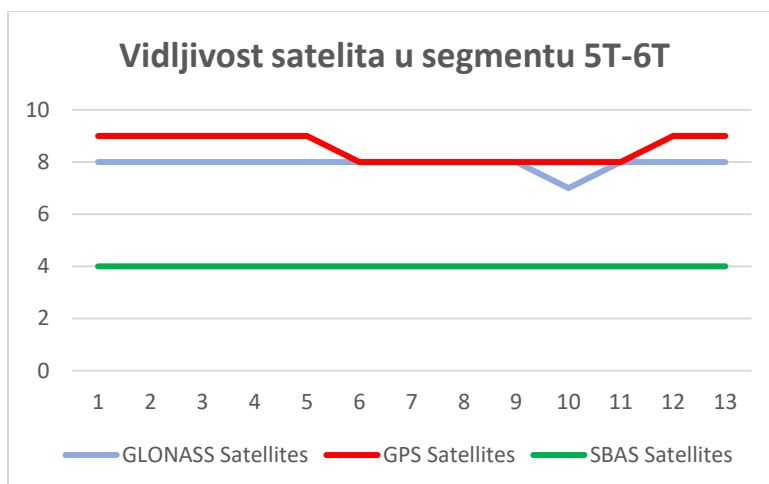
6.4.6. Analiza segmenta 5T-6T

Tablica 24 Statistički prikaz podataka u segmentu 5T-6T dobivenih brzom vožnjom

SEGMENT 5T-6T	
Ukupan broj mjerenja:	13
Prosječni broj vidljivih satelita:	20.462
Aps. srednje odstupanje [m]:	3.620766
Najveće odstupanje [m]:	4.785962
Najmanje odstupanje [m]:	1.707179
Standardno odstupanje [m]:	0.883091



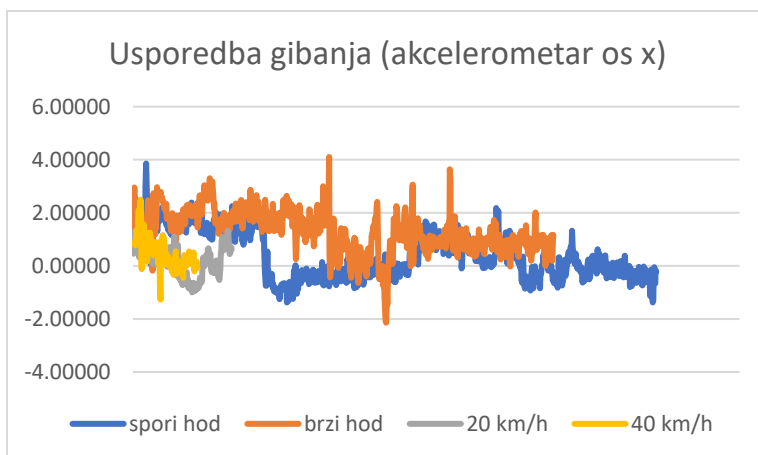
Slika 55 Odstupanje mjerenja od idealne trajektorije mjerenja u segmentu 5T-6T dobivenih brzom vožnjom



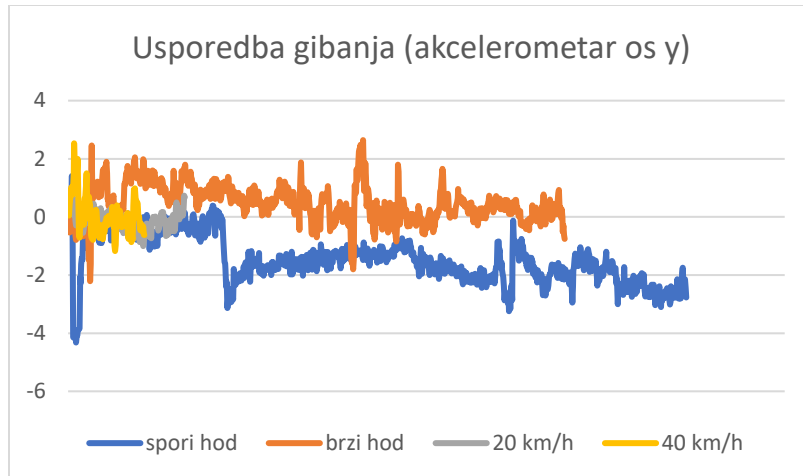
Slika 56 Vidljivost satelita za podatke mjerenja u segmentu 5T-6T dobivenih brzom vožnjom

7. Usporedba gibanja

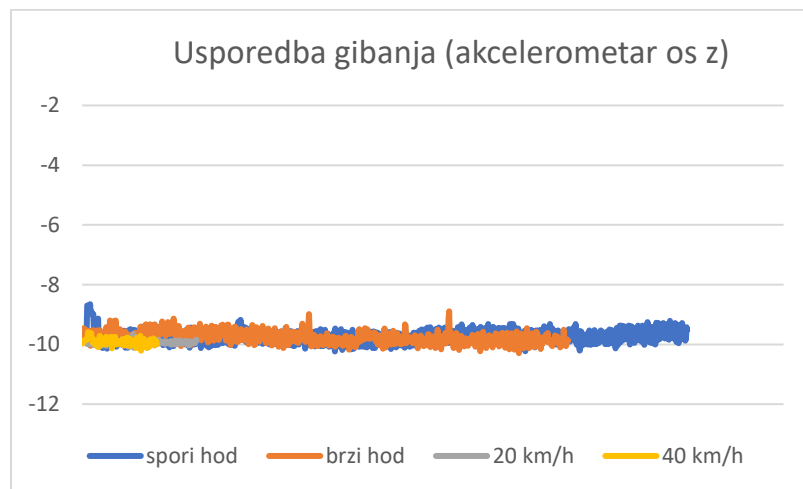
Po završetku analize za sva četiri gibanja te svih 5 segmenata u svakom gibanju, prelazi se na usporedbu tih gibanja između sebe. Sva je analiza vršena u „MS Excel“-u. Zadatak je bio usporediti brzine gibanja u 4 različita gibanja te analizirati kako je promjena brzine utjecala na točnost dobivenih podataka i rezultata. U datoteci „Raw sensors“ se nalaze podaci žiroskop i akcelerometra. Podaci žiroskopa su dati u stupnjevima/s, dok su podaci akcelerometra dani u mjernoj jedinici m/s². Ti podaci nam trebaju za usporedbu brzine na način da na utjecaj linearne brzine analiziramo akcelerometar, a na utjecaj rotacijske brzine žiroskop. Datoteka „Raw sensors“ se nalazi u .csv obliku. Mjerene su koordinate po tri koordinatne osi („x os“, „y os“, „z os“).



Slika 57 odstupanja za os x - akcelerometar

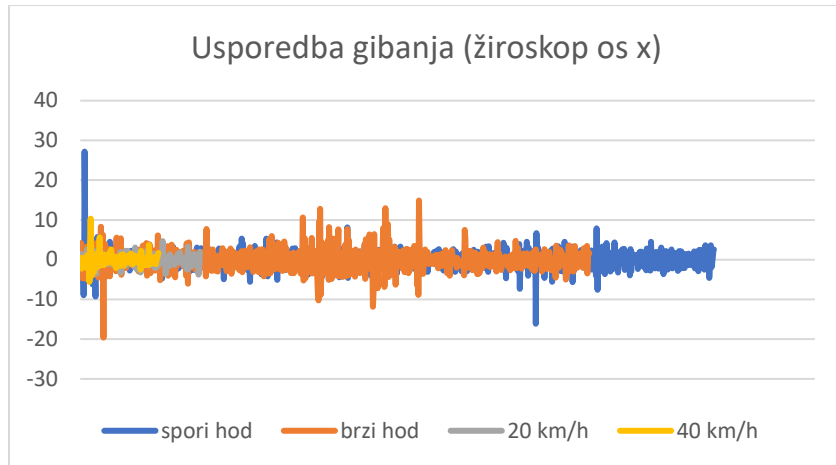


Slika 58 odstupanja za os y - akcelerometar

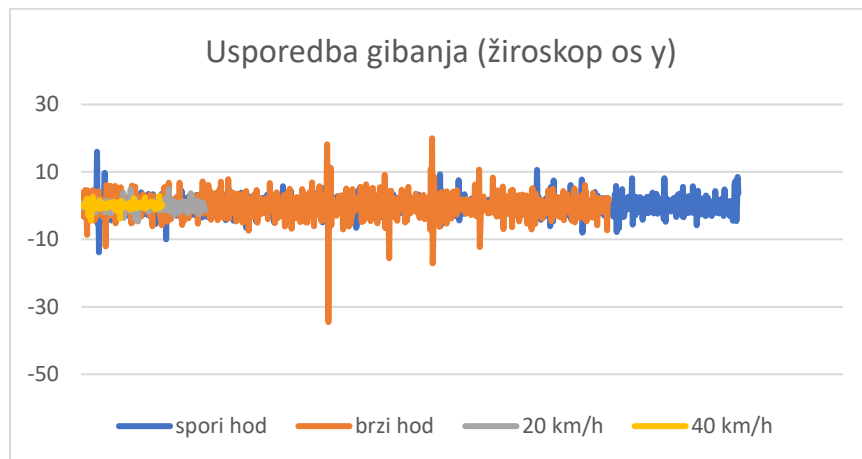


Slika 59 odstupanja za os z – akcelerometar

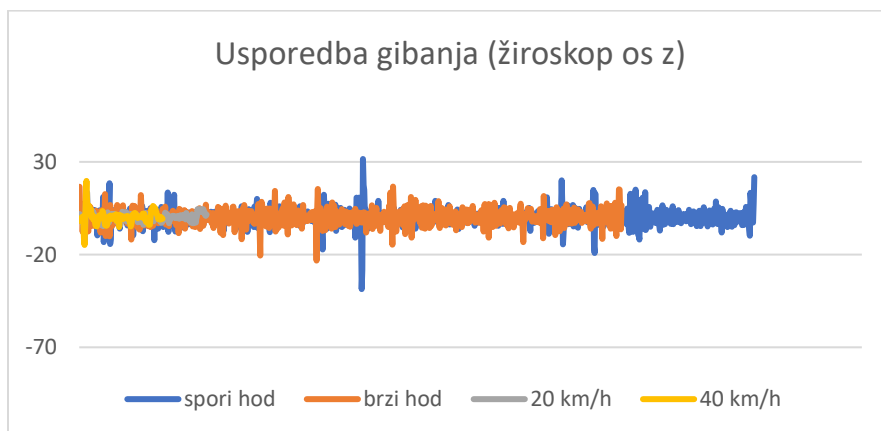
Iz grafova na slikama 57., 58., 59. možemo jasno vidjeti da s povećanjem brzine kretanja rastu i amplitude u mjerenjima. Najveće amplitude se događaju kod brzog hoda/trčanja, dok su najmanje prilikom vožnje oko 40km/h u automobilu. Što se tiče mjerenja po osi z, nema većih odstupanja.



Slika 60 odstupanja za os x – žiroskop



Slika 61 odstupanja za os y – žiroskop



Slika 62 odstupanja za os z – žiroskop

Na slikama 60., 61. i 62. je dana analiza mjerenja za osi x, y i z os žiroskopa. Podaci nam davaju slične zaključke kao i mjerenja akcelerometrom, pri čemu zaključujemo da su podaci zabilježeni za vrijeme brzog hoda najnetočnije.

7.1.1.HDOP i VDOP za mjerenja tokom hodanja

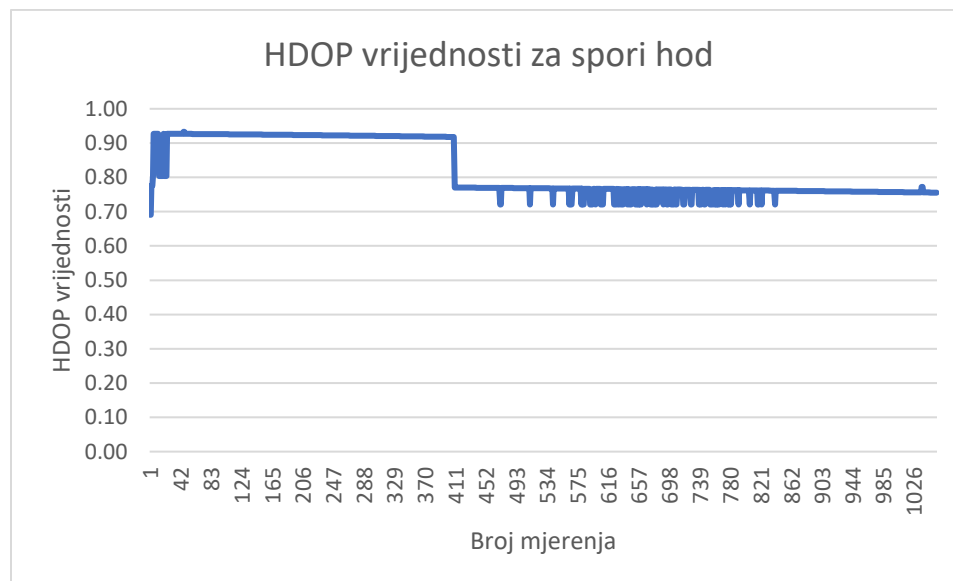
Tablica 25 HDOP i VDOP vrijednosti za mjerenje hodanjem

HDOP vrijednosti spori hod	Broj mjerena
Idealno: < 1	1057
Vrlo dobro: 1 - 2	0
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0
VDOP vrijednosti spori hod	Broj mjerena
Idealno: < 1	14
Vrlo dobro: 1 - 2	1043
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0

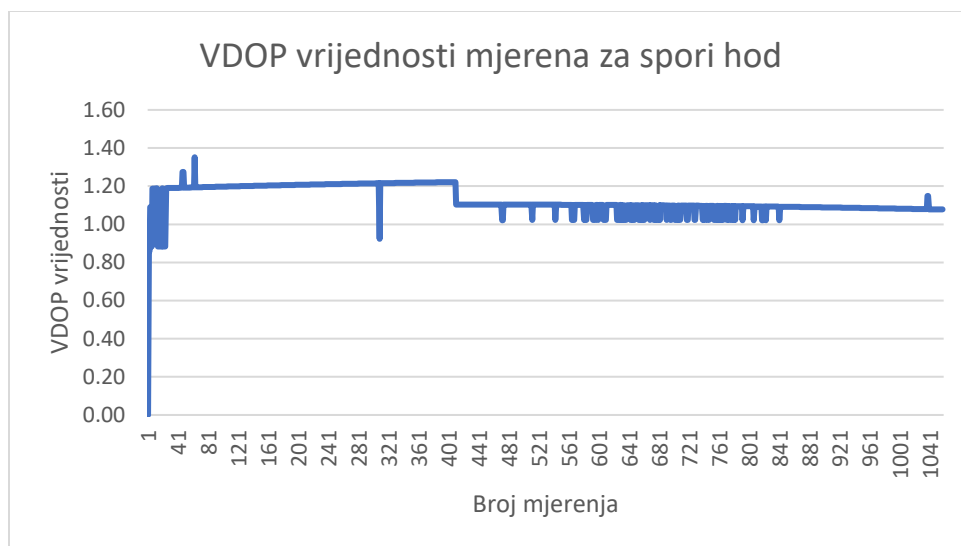
Tablica 26 Prosječna mninimalna i maksimalna vrijednost HDOP-a i VDOP-a

Vrijednost tijekom mjerenja	HDOP vrijednost	VDOP vrijednost
Prosječna vrijednost	0.82	1.13
Minimalna vrijednost	0.69	0.86
Maksimalna vrijednost	0.93	1.35

Iz priloženih tablica 25 i 26 vidljivo je da su mjerenja u sektoru idealnog ili vrlo dobrog.



Slika 63 HDOP vrijednost za mjerenje hodanjem



Slika 64 VDOP vrijednost za mjerenje hodanjem

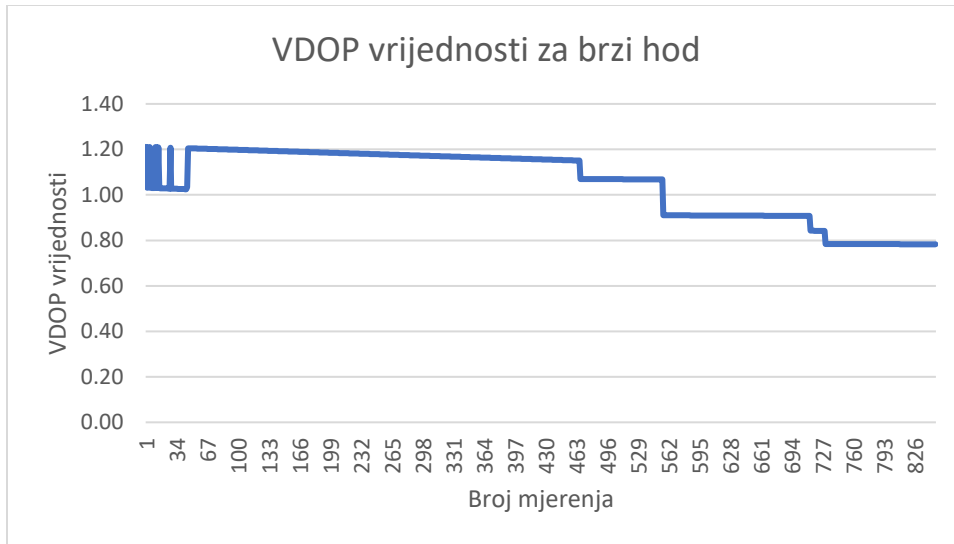
7.1.2.HDOP i VDOP za mjerenja tokom trčanja

Tablica 27 HDOP i VDOP vrijednosti za mjerenje trčanjem

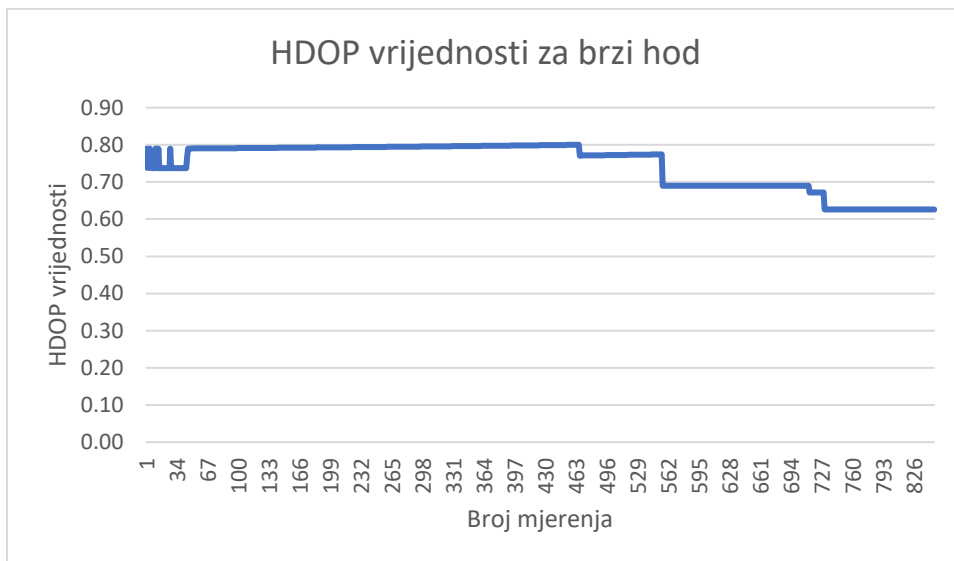
HDOP vrijednosti brzi hod	Broj mjerena
Idealno: < 1	848
Vrlo dobro: 1 - 2	0
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0
VDOP vrijednosti brzi hod	Broj mjerena
Idealno: < 1	293
Vrlo dobro: 1 - 2	555
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0

Tablica 28 Prosječna minimalna i maksimalna vrijednost HDOP-a i VDOP-

Vrijednost tijekom mjerenja	HDOP vrijednost	VDOP vrijednost
Prosječna vrijednost	0.74	1.05
Minimalna vrijednost	0.63	0.78
Maksimalna vrijednost	0.80	1.21



Slika 65 HDOP vrijednost za mjerenje trčanjem



Slika 66 VDOP vrijednost za mjerenje trčanjem

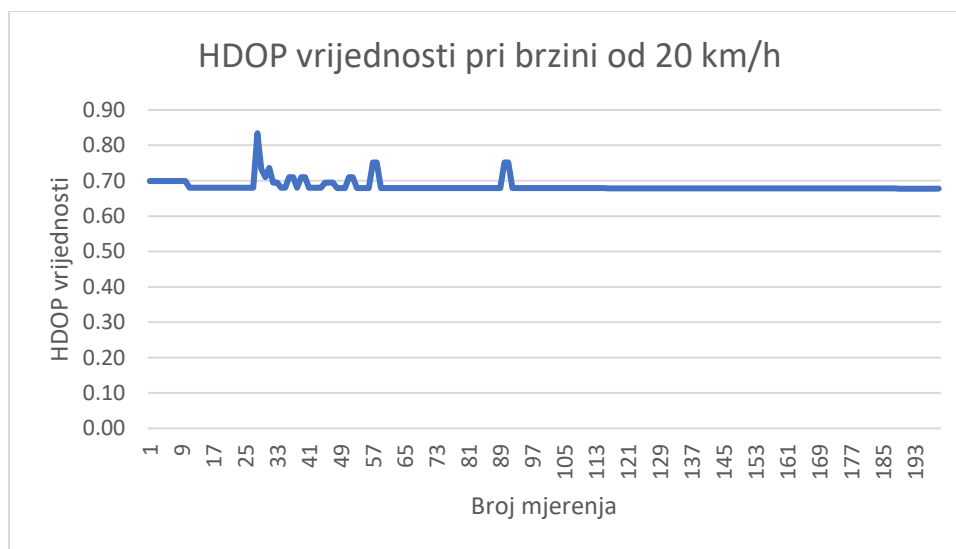
7.1.3.HDOP I VDOP za mjerenja spore vožnje

Tablica 29 HDOP i VDOP vrijednosti za mjerenje spora vožnja

HDOP vrijednosti pri 20 km/h	Broj mjerena
Idealno: < 1	199
Vrlo dobro: 1 - 2	0
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0
VDOP vrijednosti pri 20 km/h	Broj mjerena
Idealno: < 1	198
Vrlo dobro: 1 - 2	1
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0

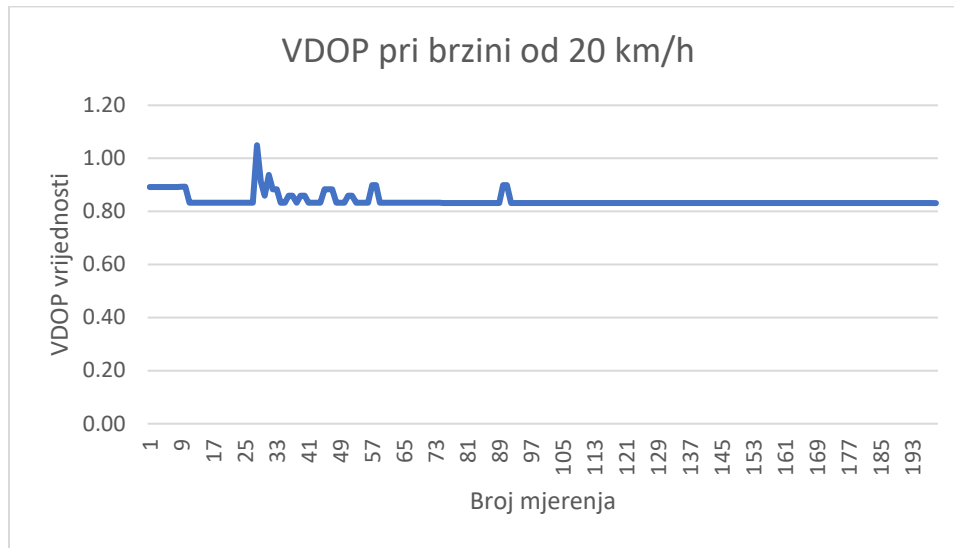
Tablica 30 Prosječna minimalna i maksimalna vrijednost HDOP-a i VDOP-

Vrijednost tijekom mjerenja	HDOP vrijednost	VDOP vrijednost
Prosječna vrijednost	0.68	0.84
Minimalna vrijednost	0.68	0.83
Maksimalna vrijednost	0.83	1.05



Slika 67 HDOP vrijednost za mjerenje spora vožnja

Slika 31 VDOP vrijednost za mjerenje spora vožnja



Slika 68 VDOP vrijednost za mjerenje spora vožnja

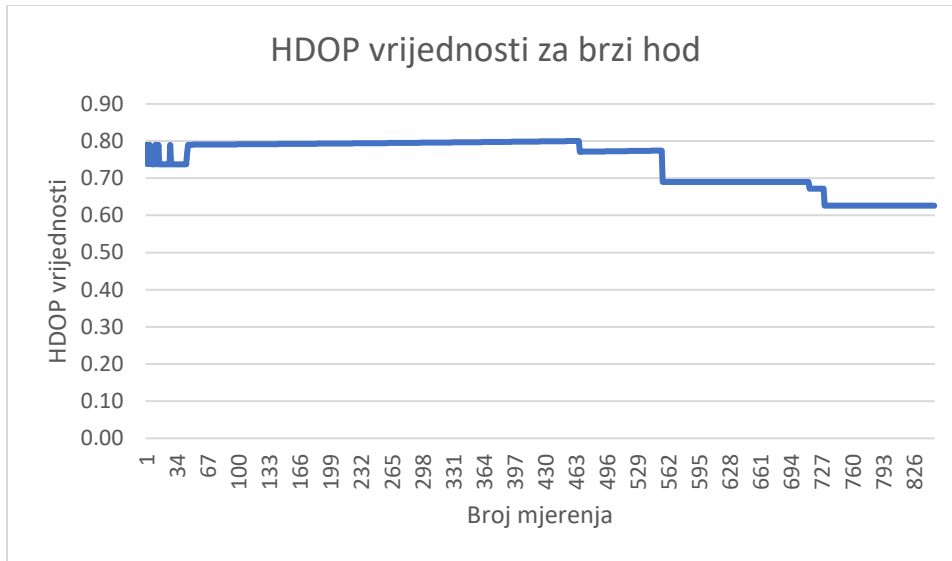
7.1.4.HDOP i VDOP za mjerenje brze vožnje

Tablica 32 HDOP i VDOP vrijednosti za mjerenje brza vožnja

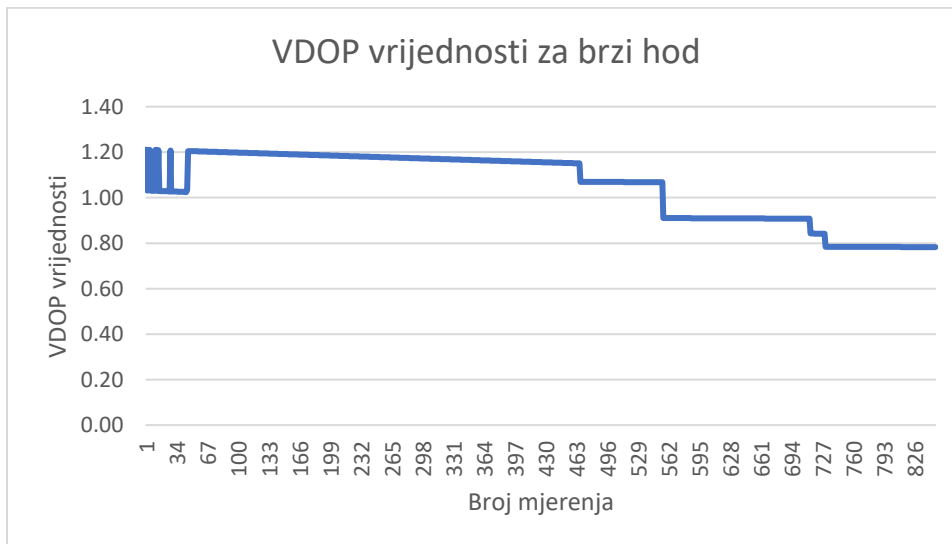
HDOP vrijednosti pri 40 km/h	Broj mjerena
Idealno: < 1	130
Vrlo dobro: 1 - 2	0
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0
Idealno: < 1	128
Vrlo dobro: 1 - 2	2
Dobro: 2 - 5	0
Loše: > 5	0

Tablica 33 Prosječna mninimalna i maksimalna vrijednost HDOP-a i VDOP-

Vrijednost tijekom mjerenja	HDOP vrijednost	VDOP vrijednost
Prosječna vrijednost	0.71	0.86
Minimalna vrijednost	0.70	0.85
Maksimalna vrijednost	0.83	1.00

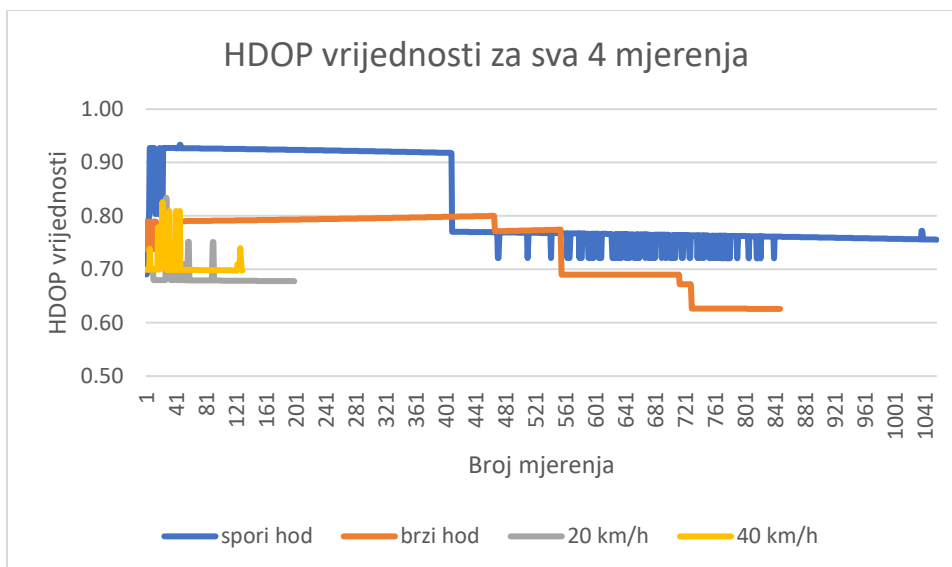


Slika 69 HDOP vrijednost za mjerenje brza vožnja

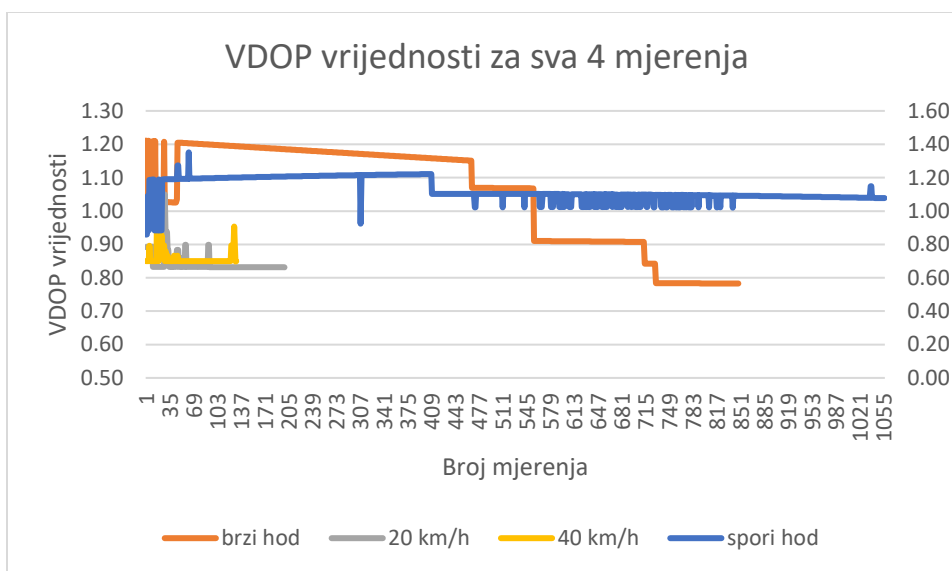


Slika 70 VDOP vrijednost za mjerenj brza vožnja

7.1.5. Usporedba gibanja za sva 4 mjerenja te zaključak



Slika 71 HDOP vrijednosti za sva 4 mjerenja



Slika 72 VDOP vrijednosti za sva 4 mjerenja

HDOP vrijednosti su najviše za spori hod dok su najmanje za brzu i sporu vožnju. Što se tiče VDOP-a, vrijednosti su slične HDOP-u. VDOP mjeri vertikalnu preciznost HPS-a tj. Točnost određivanja nadmorske visine. Niska vrijednost VDOPa znači veću točnost vertikalne vrijednosti. HDOP kao i VDOP, vrijedi da su rezultati dobiveni za manje od 1 izuzetno precizni, a 1.0-2.0 su vrlo precizni.

8. Zaključak

Zadatak ovog kolegija je na temelju provedene analize INS/GNSS mjerenja usporediti utjecaj brzine i nadmorske visine na podatke dobivene mjerenjima. Broj prikupljenih točaka pada s brzinom gibanja, odnosno načinima gibanja. Gibanje vozilom je imalo najmanje oscilacija, dok je brzi hod imao najviše oscilacija od idealne putanje. Problem gibanja u automobilu je bila nemogućnost savršenog držanja antene te ograničenja prostora. Antena je bila na višoj razini od ostalih mjerenja u automobilu. HDOP i VDOP vrijednosti tokom cijelog mjerenja su u idealnoj ili vrlo dobroj kategoriji. Takvi podaci potvrđuju visoku kvalitetu geometrije satelita i pouzdanost GNSS satelita. Pomaci, vibracije te turbulencije mogu biti izazvani na različite načine: ležeći policajci, nepravilno držanje, pomaci u vožnji, rupe na cesti... Takvi pomaci mogu dosta utjecati na završnu preciznost podataka. Zaključujemo završno, automobil je pogodan za brzo prikupljanje podataka, no takvi načini ne osiguravaju pouzdanost prikupljanja zbog zahtijevne izvedbe. Promjena nadmorske visine može utjecati na točnost INS-a zbog varijacije gravitacije i atmosferskih čimbenika. U načelu točnost pada s rastom nadmorske visine. Ovisno o potrebi i svrsi naših istraživanja i prikupljanja podataka je potrebno pažljivo odabrati metodu da se ista slaže s našim resursima i ciljevima.

9. Literatura

1. Nevistić Z. (2022.): Rad sa INS uređajem i pripadajućim softverom, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu
2. Nevistić Z (2022.): Upute za rad s INS-om, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu
3. Horvat G. (2014.): Analiza softverskog paketa za obradu integriranih INS/GNSS navigacijskih podataka i primjena sustava, Diplomski rad, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu