

Usporedba performansi Galileo, GLONASS i GPS sustava

Colić, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:687783>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-06**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Tomislav Colić

**USPOREDBA PERFORMANSI GALILEO, GLONASS I
GPS SUSTAVA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2019

Zagreb, 9. travnja 2019.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Zrakoplovna navigacija II**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5403

Pristupnik: **Tomislav Colić (0135249315)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Pilot**
Usmjerenje: **Vojni pilot**

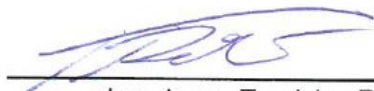
Zadatak: **Usporedba performansi Galileo, GLONASS i GPS sustava**

Opis zadatka:

U ovome je radu potrebno izvršiti analizu točnosti i dostupnosti signala za tri globalna satelitska navigacijska sustava: GPS, Galileo i GLONASS. U uvodnom dijelu student će opisati svaki od sustava te opisati rad programa za obradu mjerenja (RTKLib). U drugom dijelu će biti opisana metodologija prikupljanja podataka pomoću prijmnika koji može sve zapise pohranjivati u RINEX formatu. Točnost i dostupnost će se testirati u različitim uvjetima poput otvorenog prostora i urbanih kanjona te u mirovanju i kretanju. Analizom će student usporediti performanse ovih sustava.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



doc. dr. sc. Tomislav Radišić

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**USPOREDBA PERFORMANSI GALILEO, GLONASS I GPS
SUSTAVA
PERFORMANCE COMPARISON OF GALILEO, GLONASS
AND GPS SYSTEMS**

Mentor: dr.sc Tomislav Radišić

Student: Tomislav Colić
JMBAG: 0135249315

Zagreb, travanj 2019

Sažetak

GPS, GLONASS i Galileo su jedni od najvećih i najviše korištenih GNSS na svijetu. U ovome radu će se sustavi testirati kroz tri situacije kako bi se utvrdila njihova preciznost te dostupnost u pojedinim uvjetima rada. Mjerenja će se vršiti pametnim telefonom korištenjem aplikacije Geo++ RINEX Logger te će se naknadna obrada podataka mjerenja raditi u programu RTKlib.

Ključne riječi: GPS, GLONASS, Galileo, RTKlib, mjerenja

Summary

GPS, GLONASS and Galileo are one of the largest and most used GNSS in the world. In this paper the systems are tested in three situations to evaluate their precision and availability in certain operating conditions. The measurements will be made using a smartphone with the Geo++ RINEX Logger application and subsequent processing of measurement data will be performed in RTKlib.

Keywords: GPS, GLONASS, Galileo, RTKlib, mjerenja

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Zrakoplovna navigacija.....	2
3. Satelitska navigacija.....	3
3.1. Global Positioning System – GPS.....	3
3.1.1. Svemirski segment.....	4
3.1.2. Zemaljski segment.....	5
3.1.3. Korisnički segment.....	6
3.2. GLONASS.....	6
3.2.1. GLONASS svemirski segment.....	6
3.2.2. GLONASS Zemaljski segment.....	7
3.3. Galileo.....	9
3.3.1. Svemirski segment.....	9
3.3.2. Korisnički segment.....	9
3.3.3. Zemaljski segment.....	10
4. RINEX.....	11
5. RTKlib.....	14
5.1. Opis funkcija programa.....	14
5.1.1. RTKnavi.....	15
5.1.2. RTKpost.....	16
5.1.3. RTKconv.....	17
5.1.4. RTKplot.....	17
5.1.5. RTKget.....	18
5.1.6. NTRIP Browser.....	18
6. Geo++ Rinex logger, Rinex ON i bazna stanica.....	19
7. Metodologija mjerenja.....	24
7.1. Mjerenje u između dvije zgrade.....	24
7.2. Mjerenje na otvorenom području.....	25
7.3. Mjerenje u pokretu.....	26
8. Obrada podataka.....	27
9. Analiza podataka.....	28
9.1. Mjerenje na otvorenom području.....	29
9.2. Mjerenje u „kanjonu“ između zgrada.....	33
9.3. Mjerenje u pokretu.....	36
10. Zaključak.....	50

Literatura	51
Popis kratica	53
Popis slika	54
Popis tablica	56

1. Uvod

Globalni navigacijski satelitski sustavi danas su glavna metoda navigacije od samih ljudi na ulici pa sve do zrakoplova u letu. Danas zamjenjuju pripremanje, crtanje i korištenje karte u letu jer omogućuju da svi podatci sa karte pa čak i više od toga budu dostupni na jednome ekranu koji je često i lakše koristiti i kompaktniji je od same karte. No sve to pada u vodu ako ti navigacijski sustavi nisu dovoljno precizni i pouzdani u radu. Svrha ovog rada je testirati tri najrasprostranjenija sustava na ovome području te analizirati njihovu preciznost i pouzdanost.

Rad je podijeljen na deset cjelina:

- Uvod
- Zrakoplona navigacija
- Satelitska navigacija
- RINEX
- RTKlib
- Geo++ RINEX Logger, Rinex ON i bazna stanica
- Metodologija mjerenja
- Obrada podataka
- Analiza podataka
- Zaključak

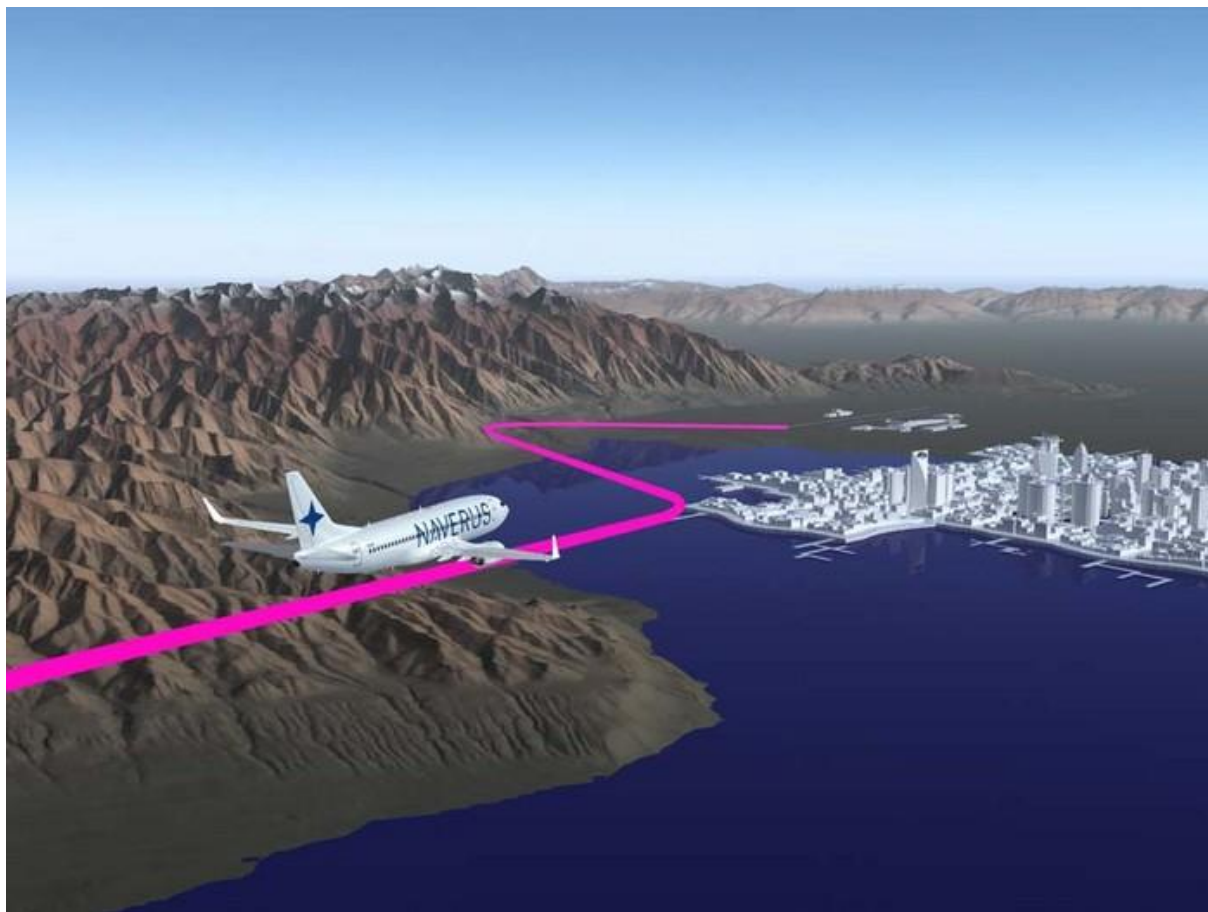
U drugome poglavlju je opisan sam pojam navigacije, u trećem poglavlju je opisana satelitska navigacija i tri najrazvijenija satelitska sustava GPS, GLONASS te Galileo. U četvrtom poglavlju je opisan RINEX zapis GNSS podataka, njegova struktura, podjela i sadržaj. Nakon toga u četvrtome poglavlju opisan program koji se koristio za naknadnu obradu RINEX podataka RTKlib sa svim svojim funkcijama i mogućnostima. Zatim su opisane aplikacije koje su korištene za prikupljanje podataka Geo++ RINEX Logger te Rinex ON te je opisana potreba bazne stanice u obradi podataka. U sedmome poglavlju opisani su metodologija mjerenja, sva tri mjerenja, položaj prijavnika i način prikupljanja podataka. Zatim je opisan postupak obrade prikupljenih podataka te na samom kraju analiza prikupljenih podataka.

2. Zrakoplovna navigacija

Navigacija u zrakoplovstvu je jedan od najvažnijih čimbenika koji utječu na siguran let zrakoplova od jedne točke do druge. Ona ne predstavlja samo put od početne točke rute do krajnje točke rute nego cijeli niz postupaka vezanih uz sigurno vođenje zrakoplova od početka do kraja leta. U te postupke spadaju odabir najpovoljnije rute za dolazak do cilja, proračun parametara leta kao što su visina, brzina i sl; određivanje pozicije zrakoplova u prostoru na bilo kojem dijelu rute, na što se direktno veže i tema ovoga rada, i još mnoge druge stvari.

Dakle, možemo reći da je „*zrakoplovna navigacija znanstvena disciplina koja proučava i primjenjuje metode pripreme leta, određivanja pozicija te vođenja zrakoplova tijekom leta od početne do krajnje točke rute*“ [1].

Danas se kako u civilnom tako i u vojnom pogledu sve više i više uvode sustavi automatizacije koji pilotu pomažu u upravljanju pa tako i u navigaciji zrakoplova tj. vođenju zrakoplova od jedne točke do druge. U zrakoplovu se sve više standardni instrumenti zamjenjuju ekranima koji omogućuju prikazivanje velikog broja informacija na maloj površini te je to omogućilo razvijanje i korištenje satelitske navigacije kao novog načina vođenja zrakoplova do svoga odredišta.



Slika 1. Zrakoplovna navigacija

3. Satelitska navigacija

Satelitska navigacija je sustav koji pomoću satelita dobiva sve podatke potrebne za određivanje pozicije u prostoru. Sustav koji omogućuje globalnu pokrivenost satelitima još se naziva Globalni Navigacijski Satelitski Sustav ili skraćeno GNSS. GNSS omogućuje malim elektroničkim prijemnicima određivanje njihove pozicije u prostoru do točnosti od nekoliko metara, danas čak i centimetara, koristeći vremenske signale poslana pomoću satelita.

Performanse GNSS-a ocjenjuju se pomoću četiri kriterija [2]:

- Preciznost – razlika između izmjerene i stvarne pozicije, brzine i vremena
- Integritet – sposobnost sustava da omogući povjerenje u svoj rad te upozorenje u slučaju pogreške u podacima koje pruža
- Kontinuitet – sposobnost sustava da radi bez prekida
- Dostupnost – postotak vremena u kojem sustav zadovoljava gore navedena tri kriterija

Četiri globalna navigacijska sustava su:

- GPS
- GLONASS
- Galileo
- BeiDou

Postoje i dva regionalna navigacijska sustava

- QZSS – Japan
- IRNSS – Indija

U mjerenjima su korištena samo tri navigacijska sustava; GPS, GLONASS i Galileo jer su globalni navigacijski sustavi te su dostupni na području mjerenja. Za BeiDou sustav nije moguće dobiti podatke navigacijske poruke sa baznih stanica pa je on izbačen iz usporedbe.

Globalna pokrivenost svih gore navedenih sustava je postignuta konstelacijom satelita u skupu od 18-30 satelita u srednjoj orbiti Zemlje.

3.1. Global Positioning System – GPS

GPS je satelitski navigacijski sustav koji se koristi za određivanje položaja GPS prijemnika na Zemlji. Svaki satelit kontinuirano šalje signale koji sadrže vrijeme slanja signala, precizne informacije o orbiti satelita te generalno stanje satelita, da li je on u funkciji, i orbite drugih satelita u sustavu. Prijemnici koriste taj signal kako bi odredili vrijeme koje je potrebno signalu da doprije do prijemnika te na osnovu toga određuju udaljenost od satelita. Pomoću udaljenosti određuju poziciju prijemnika u prostoru.

GPS se sastoji od tri segmenta:

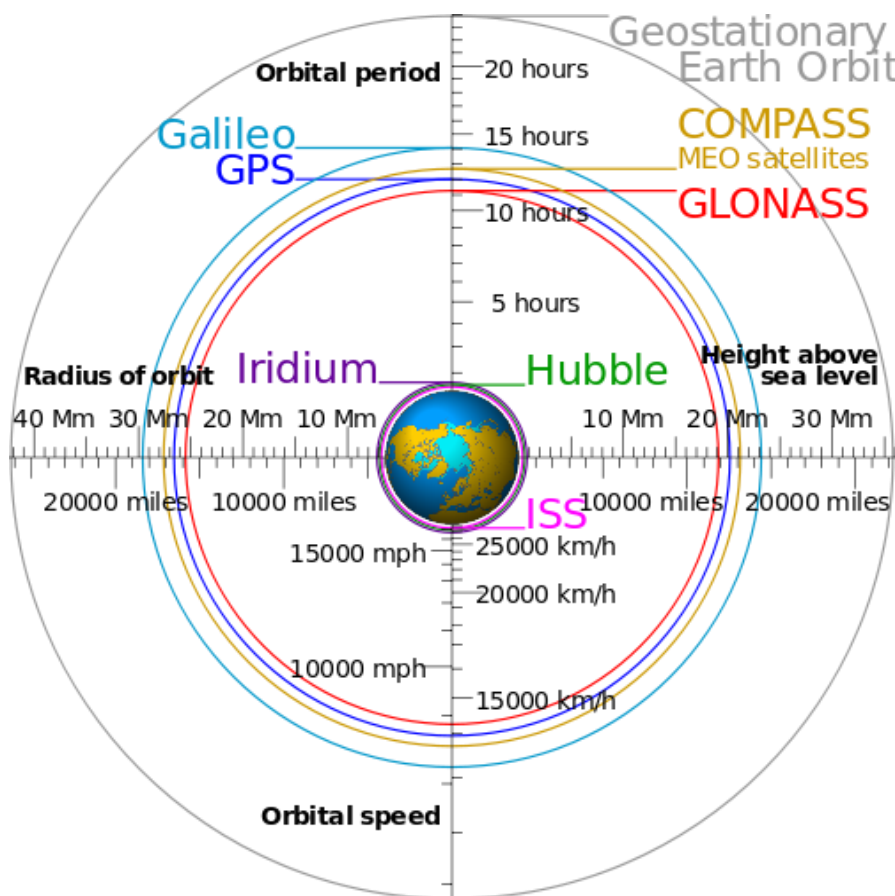
- Svemirski segment kojeg čine sateliti
- Zemaljski segment koji se sastoji od kontrolnih i „uplink“ postaja
- Korisnički segment u kojeg spadaju prijemnici

3.1.1. Svemirski segment

Svemirski segment sastoji se od 24 satelita te 3 pričuvna satelita raspoređena po šest prostorno orijentiranih orbita koji se nalaze na visini od 20180 km. Ove orbite imaju inklinaciju od približno 55° te su raspoređene tako da je najmanje šest satelita uvijek vidljivo s gotovo svake točke na Zemlji [3].

Svaki satelit emitira pseudo slučajni kod u koji je umodulirana navigacijska poruka koja se sastoji od pet dijelova. Prva tri dijela navigacijske poruke sadrže podatke o korekciji vremena te efemeride satelita. Četvrti i peti dio poruke sadrži almanah te druge podatke kao što su status i zdravlje satelita.

Na x osi slike 2. je vidljiva visina (desno) te radijus orbite (lijevo) svakog GNSS sustava. Također je na y osi vidljiva brzina satelita u orbiti (dolje) te trajanje orbite (gore).



Slika 2. Pozicija satelita

GPS sateliti rade na nekoliko različitih frekvencija i svaka od njih ima svoju svrhu. Međutim pošto je GPS dio vojnog sustava Američke vojske neke frekvencije nisu u uporabi u civilstvu i to dosta priječi mogućnosti ovog sustava. Civilni dio GPS-a koristi frekvenciju C/A koda od 1,023 MHz koji se odašilje preko L1 frekvencije od 1575,42 MHz, a vojni dio koristi frekvenciju P(Y) koda od 10,23 MHz koji se odašilje i preko L1 frekvencije i preko L2 frekvencije koja iznosi 1227,60 MHz što mu omogućava manje pogreške u prijenosu signala i samim time i veću preciznost [4].

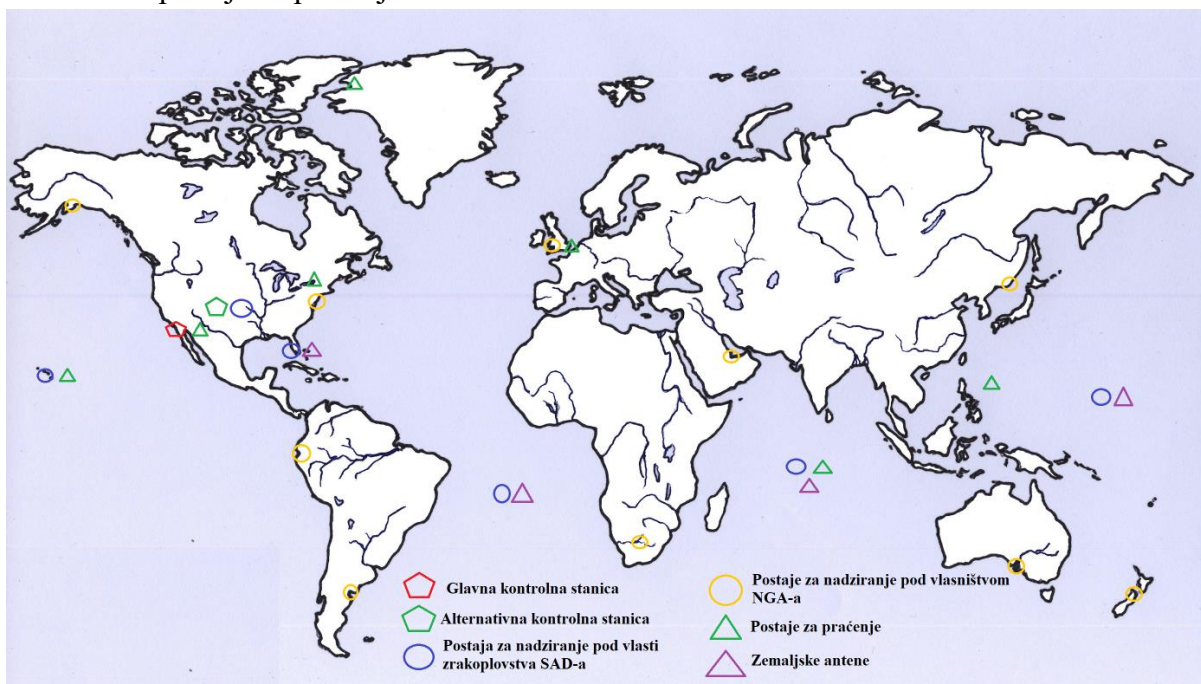
Tablica 1. GPS sateliti [3]

Naziv	Stari sateliti		Modernizirani		
	Block IIA	Block IIR	Block IIR-M	Block IIF	GPS III/IIIIF
U funkciji	1	11	7	12	1 u pripremi
Signali	1 vojni i jedan civilni signal	1 civilni i dva vojna signala	2 civilna signala te novi vojni signali otporni na ometanje	3 civilna signala te poboljšana preciznost, jačina i kvaliteta signala	4 civilna signala Dodatno poboljšana svojstva signala
Životni vijek	7.5 god	7.5 god	12 god	12 god	15god
Lansiranja	1990-1997	1997-2004	2005-2009	2010-2016	2018 prvo lansiranje
Masa	1816 kg	2217 kg	2217 kg	1630 kg	2269 kg
Snaga	800 W	800 W	800 W	2450 W	4480 W

3.1.2. Zemaljski segment

Zemaljski segment GPS-a sastoji se od [5]:

- Glavne kontrolne stanice (MSC)
- Alternativne glavne pomoćne stanice
- Četiri zemaljske antene
- Šest postaja za nadziranje pod vlasništvom zrakoplovstva SAD-a
- Deset postaja za nadziranje pod vlasništvom NGA-a (Nacionalna Geoprostorno-obavještajna Agencija)
- Šest postaja za praćenje



Slika 3. Lokacija GPS zemaljskog segmenta

Pomoću ovih postaja, antena i stanica GPS sateliti redovito dobivaju nove podatke pomoću kojih sinkroniziraju atomske satove, prilagođavaju efemeride te se prati stanje i status svakog pojedinog satelita.

Kako bi se promijenila orbita satelita tj. kako bi satelit napravio manevar za povratak na zadanu orbitu on se prvo mora označiti kao „*unhealthy*“ kako ga sustav ne bi koristio za pozicioniranje te nakon što izvrši manevar tj. nakon što se vrati na zadanu orbitu ponovno se vraća u aktivno stanje.

3.1.3. Korisnički segment

Korisnički segment predstavljaju svi GPS prijamnici koji se nalaze u današnjim pametnim telefonima, sustavima navigacije u zrakoplovu, automobilima, brodovima i mnogim drugim stvarima.

Postoje 3 moguće izvedbe prijamnika:

- Sekvencijalni – skenira satelite slijedno kako bi odredio pseudo-udaljenost, zastarjeli način, više se ne koristi
- Multipleksni – koristi jedan ili dva kanala kako bi brzo odredio pseudo udaljenost, danas se isto više ne koristi
- Višekanalni – nadzire sve satelite u dometu te odabire četiri najbolja za određivanje pseudo udaljenosti.



Slika 4. Izgled navigacijskog uređaja u zrakoplovu

3.2. GLONASS

GLONASS predstavlja satelitski navigacijski sustav kojeg je razvio bivši Sovjetski Savez kao odgovor na razvijanje Američkog GPS sustava. Za razliku od GPS-a koji trenutno ima oko 30 satelita u funkciji GLONASS trenutno ima 24 satelita u orbiti oko Zemlje.

3.2.1. GLONASS svemirski segment

Sateliti se nalaze nešto niže od GPS satelita na visini od 19 130 km te isto kao i GPS omogućavaju globalnu pokrivenost. GLONASS sateliti raspoređeni su na tri prostorno orijentirane orbite sa inklinacijom od 64,8°. Na svakoj orbiti se nalazi 8 jednako udaljenih

satelita. [6] Zbog samog položaja tadašnjeg Sovjetskog Saveza, današnje Rusije, orbite su raspoređene tako da daju bolju pokrivenost na velikim geografskim širinama gdje GPS signal može biti slab.

Tablica 2. GLONASS sateliti [6]

	GLONASS	GLONASS-M	GLONASS-K
Status	Nije u uporabi	U uporabi	U uporabi
Prvo lansiranje	1982	2003	2011
Životni vijek	3 god	7 god	10 god
Masa	1250 kg	1480 kg	750kg
Snaga	1000 W	1600W	1600W
Broj civilnih signala	1	2	2



Slika 5. Orbite GLONASS satelita

3.2.2. GLONASS Zemaljski segment

GLONASS-ov zemaljski segment je kao i kod GPS sustava odgovoran za pravilan rad i nadzor cijelog sustava.

Zemaljski segment se sastoji od [7]:

- Centra za kontrolu sustava (SCC)
- Pet centara za telemetriju, praćenje i upravljanje koji su povezani u mrežu i raspoređeni su po čitavom teritoriju države (TT&C)
- Centralnog sata
- Tri stanice za slanje podataka prema satelitu

- Dvije stanice za lasersko mjerenje udaljenosti (SLR)
- Mrežu od četiri stanice za nadzor i mjerenje
- Šest dodatnih stanica za nadzor i mjerenje koje još nisu u uporabi



Slika 6. GLONASS Zemaljski segment

Kao što je vidljivo iz slike 6 cijeli zemaljski segment je raspoređen po današnjem teritoriju Rusije i okolnih zemalja tj. po bivšem teritoriju SSSR-a.

Centar za kontrolu sustava je odgovoran za upravljanje cijelim sustavom. Centar procesira informacije od centara za upravljanje i praćenje kako bi odredio stanje sata i orbita satelita te ažurira navigacijsku poruku svakog satelita.

Centar za upravljanje i praćenje se sastoji od mreže stanica za telemetriju, praćenje i upravljanje raspoređenih po cijelom teritoriju države. Ove stanice prate vidljive satelite i skupljaju podatke o dometu i telemetriji te te podatke šalju u centar za kontrolu.

Stanice za lasersko mjerenje udaljenosti koriste visoko precizne lasere kako bi kalibrirali podatke o efemeridama satelita.



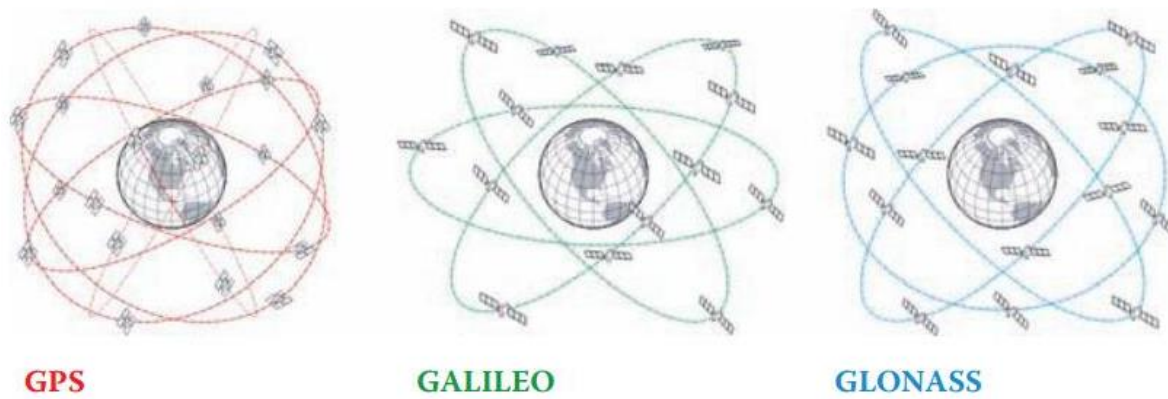
Slika 7. Stanica za lasersko mjerenje udaljenosti

3.3. Galileo

Galileo je satelitski navigacijski sustav kojeg je napravila Europska Unija. Glavni cilj ovog sustava je da omogući precizno određivanje pozicije korisnika, a da je neovisan o drugim sustavima kao što su GPS i GLONASS. Glavna prednost ovog sustava je to što je to prvi potpuno civilni sustav za razliku od GPS-a i GLONASS-a gdje jačinu i kvalitetu signala vojska može smanjiti ili potpuno isključiti ovisno o njihovim potrebama. Osnovna usluga Galilea je besplatna i dostupna svima i pruža preciznost do jednog metra što je znatno iznad preciznosti ostalih sustava te još postoji i plaćena verzija koja omogućava preciznost do 1 cm. Očekuje se da će Galileo biti potpuno operativan u 2020 [8].

3.3.1. Svemirski segment

Trenutno sustav ima 30 satelita od kojih su 3 pričuvna satelita. Sateliti rade na visini od 23 222 kilometra te su raspoređeni u tri orbite sa inklinacijom od 56 °. Kada sustav bude potpuno operativan na svakoj orbiti će se nalaziti 10 satelita [9].



Slika 8. Usporedba orbita sva tri GNSS sustava

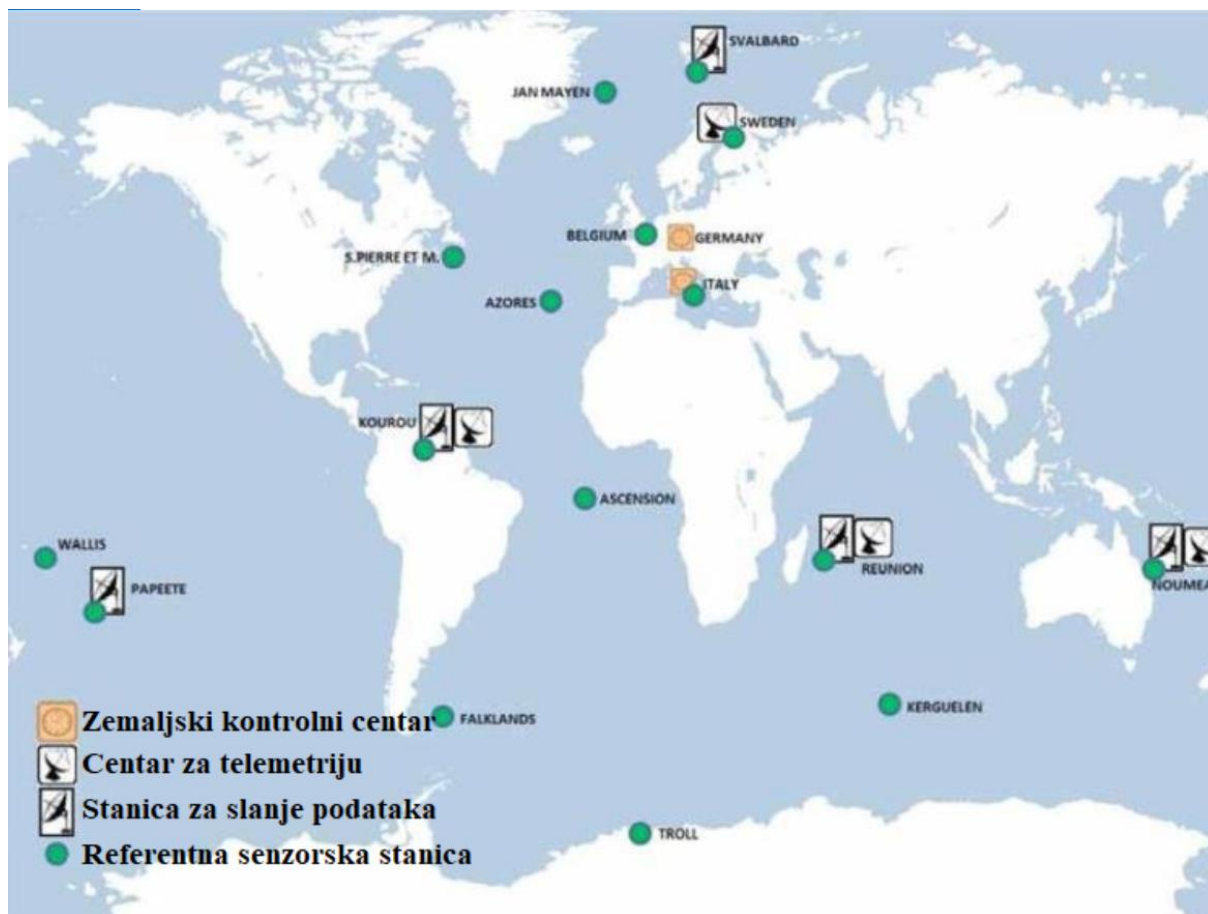
Sateliti imaju životni vijek od 12 godina što je nešto više od zadnje generacije GLONASS satelita koji imaju životni vijek od 10 godina no nešto manje od zadnje generacije GPS satelita koji imaju životni vijek od 15 godina. Masa satelita je 732 kg što je znatno manje od oba gore opisana sustava te solarne instalacije na satelitu imaju snagu od 1900 W [9].

3.3.2. Korisnički segment

Danas velik broj GNSS prijavnika podržava Galileo te od 2017. godine veliki proizvođači pametnih telefona u svoje uređaje ugrađuju prijavnike koji mogu primati signal od Galileovih satelita. U Sjedinjenim Američkim Državama Galileo je odobren za uporabu tek u kasnoj 2018 godini. Predviđa se da će se uz daljnji razvoj sustava i konstantne nadogradnje sve više i više uređaja biti kompatibilno sa Galileom kako u pametnim telefonima, autima tako i u zrakoplovima.

3.3.3. Zemaljski segment

Zemaljski segment ovog sustava dosta je sličan kao i u prijašnja dva sustava. Glavnina kontrolnih i nadzornih stanica locirana je u Europi no sustav ima nadzorne stanice raspoređene po čitavome svijetu.



Slika 9. Zemaljski segment Galileo

Sustav se sastoji od [10]:

- Dva zemaljska kontrolna centra
- Šest centara za telemetriju, praćenje i upravljanje
- Deset stanica za slanje podataka prema satelitu
- Nekoliko referentnih senzornih stanica
- Servisnog centra
- Mreže za širenje podataka između svih geografski raspoređenih lokacija

4. RINEX

RINEX predstavlja format za razmjenu neobrađenih podataka satelitskog navigacijskog sustava. On omogućava korisniku dodatnu obradu primljenih podataka kako bi dobio preciznije rezultate mjerenja. Ovaj zapis omogućava korisniku da koristi podatke koje originalni prijatelj ne koristi kao što je bolji model atmosferskih uvjeta u vrijeme mjerenja.

Krajnji zapis podataka navigacijskog prijatelja je obično njegova pozicija, brzina ili nekakva druga fizička veličina. Ti podatci su zasnovani na nizu mjerenja od jedne satelitske konstelacije ili više njih. Prijatelj prikazuje podatke tj. našu poziciju, brzinu i drugo u stvarnom vremenu no ne spremaju te podatke za daljnju obradu i kasnije korištenje [11]. RINEX je standardni format koji omogućava spremanje podataka sa prijatelja i omogućava njihovu daljnju obradu pomoću raznih aplikacija kao što su RTKlib.

RINEX format zapisivanja podataka napravljen je da se razvija s vremenom, tj. da se prilagođava novim tipovima mjerenja i novim satelitskim navigacijskim sustavima. Prva verzija RINEX zapisa podataka razvijena je 1989 godine, ubrzo nakon toga 1993 godine RINEX 2 se razvija i omogućava spremanje podataka o mjerenju pseudoudaljenosti, podataka o praćenju faze vala nosioca, Doppler podataka i podataka o omjeru signal-šum od GPS, GLONASS, Galileo, Beidou i drugih satelitskih navigacijskih sustava. Zadnja verzija RINEX zapisa podatak je 3.04 iz 2018 godine koja omogućava prijam i zapis podataka sa novih generacija satelita i satelitskih sustava [11].

RINEX verzije 3.00 i na više se sastoje od tri ASCII datoteke:

- Datoteka podataka promatranja
- Datoteka podataka navigacijske poruke
- Datoteka meteoroloških podataka

Datoteka podataka promatranja u sebi sadrži C/A kod, P ili Y kod, L1 i L2 fazu te domet. Datoteka podataka navigacijske poruke sadrži podatke navigacijske poruke koju je poslao satelit te datoteka meteoroloških podataka sadrži podatke o tlaku, temperaturi, relativnoj vlažnosti te mokru komponentu troposferskog kašnjenja.

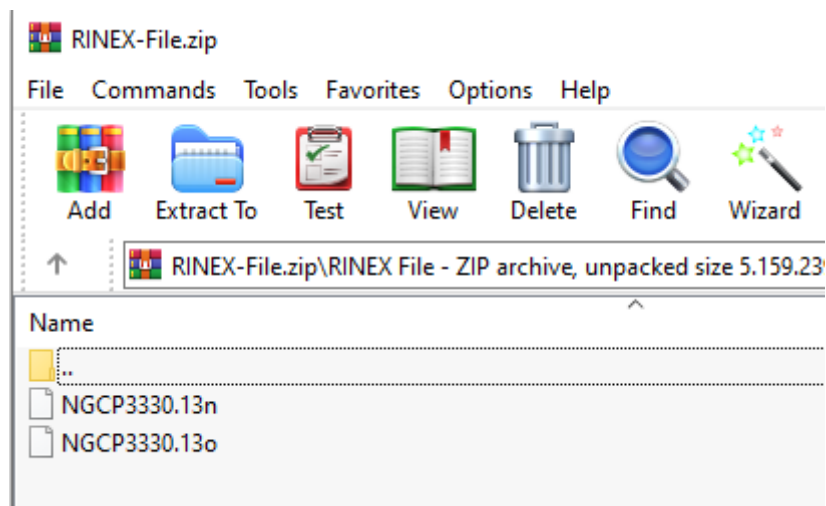
GPS signali koji putuju od satelita do prijatelja prolaze kroz atmosferu. Ti signali imaju zakašnjenje koje ovisi o količini suhih plinova i vodene pare u troposferi. Ta pojava se naziva troposfersko zakašnjenje i ono se može podijeliti na suhu komponentu koju uzrokuju suhi plinovi u atmosferi kao što su dušik i kisik te mokru komponentu koja ovisi o stupnju vlažnosti troposfere tj. o količini vodene pare u atmosferi. [12]

Dakle, kao što je već spomenuto RINEX datoteke se zapisuju u ASCII formatu i njihova struktura se može vidjeti na slici 10.

```
ssssdddf.yyt
| | | |
| | | | +-- t: file type:
| | | | O: Observation file
| | | | N: GPS navigation message file
| | | | M: Meteorological data file
| | | | G: GLONASS navigation message file
| | | | L: Galileo navigation message file
| | | | P: Mixed GNSS navigation message file
| | | | H: SBAS Payload navigation message file
| | | | B: SBAS broadcast data file
| | | | (separate documentation)
| | | | C: Clock file (separate documentation)
| | | | S: Summary file (used e.g., by IGS, not a standard!)
| | | +--- YY: two-digit year
| | +----- f: file sequence number/character within day.
| +----- ddd: day of the year of first record or Julian day
+----- SSSS: 4-character station name designator or station id
```

Slika 10. Struktura RINEX datoteke

Primjer spremanja RINEX datoteke vidljiv je na slici 11.



Slika 11. Primjer spremljene RINEX datoteke

Prve četiri znamenke predstavljaju ime zemaljske postaje na kojoj se radilo mjerenje, u ovome slučaju NGCP, slijedeća tri broja predstavljaju dan u godini u kojem je mjerenje vršeno, 333 dan u godini, slijedeći broj predstavlja sat u tome danu u kojem je mjerenje vršeno, 13 označava godinu u kojoj je mjerenje vršeno, n i o označavaju vrstu datoteke (tablica 3.).

Tablica 3. Najčešće korištena zadnja slova RINEX datoteke [11]

Slovo	Objašnjenje
o	Datoteka podataka promatranja, observation data files
n	Datoteka podatka navigacijske poruke koja sadrži podatke o GPS efemeridama
g	Datoteka podatka navigacijske poruke koja sadrži podatke o GLONASS efemeridama
l	Datoteka podatka navigacijske poruke koja sadrži podatke o Galileo efemeridama
m	Meteorološki podatci

Svaka RINEX datoteka se sastoji od zaglavlja i sekcije podataka. Zaglavlje se sastoji od općenitih podataka o cijeloj datoteci i smješten je na početku datoteke. Svaka meteorološka i datoteka promatranja sadrže podatke sa jednog mjesta i jedne sesije mjerenja. Nije preporučeno spremanje podataka od dva ili više prijamnika u jednu datoteku.

3.03 OBSERVATION DATA M: Mixed RINEX VERSION / TYPE		PGM / RUN BY / DATE	
rinx ON NSL 20190729 131953 UTC		MARKER NAME	
rinx ON User		MARKER TYPE	
4284598.5655 1384824.7757 4502271.2358		OBSERVER / AGENCY	
XXXXXXXXX samsung SM-G965F		APPROX POSITION XYZ	
XXXXXXXXX SM-G965F		REC # / TYPE / VERS	
0.0000 0.0000 0.0000		ANT # / TYPE	
0.0000 0.0000 0.0000		APPROX POSITION XYZ	
G 8 C1C L1C D1C S1C C5X L5X D5X S5X		ANTENNA: DELTA H/E/N	
R 4 C1C L1C D1C S1C		SYS / # / OBS TYPES	
E 8 C1C L1C D1C S1C C5X L5X D5X S5X		SYS / # / OBS TYPES	
C 4 C2I L2I D2I S2I		SYS / # / OBS TYPES	
2019 07 29 11 20 7.0004861 GPS		TIME OF FIRST OBS	
		END OF HEADER	
>	2019 07 29 11 20 7.0004861 0 32		
G07	25263060.447 -17416.211 18.255 41.927		
G08	23746894.867 -1251760.259 3214.904 31.778		
G10	21185379.967 -897992.172 2072.960 38.437		
G15	24095231.518 -98881.140 133.286 47.917		
G16	21061035.049 593899.605 -1552.119 28.391		
G20	20476479.328 -106045.158 148.487 42.406		
G21	22220887.400 768019.962 -1890.810 48.551		
G26	22352562.243 1202045.885 -3004.515 35.876		
G27	20851794.903 -751235.925 1793.277 43.513		
R14	23804145.633 -363916.455 3072.794 30.989		
R06	21157017.502 413833.807 -1212.352 40.343		
R22	19689117.008 -17741.203 -6.613 47.671		
R13	21488847.880 13284.686 -193.033 35.265		
R12	22169094.955 1408654.703 -3572.723 23.186		
R23	22050107.328 -1141660.939 2895.939 36.263		
R21	22210872.233 1059186.850 -2674.220 40.276		
R07	20849179.214 -1124700.436 2708.135 42.671		
R08	23525749.063 -1551528.632 4573.370 30.160		
C02	40654388.752 -12589.499 50.876 40.010		
C05	39170573.476 -15670.309 56.215 33.004		
C06	39675991.483 -441656.612 1119.816 41.666		
C16	39672194.012 -495638.294 1245.281 40.781		
C20	26695885.823 -1378495.627 3566.362 39.633		
C27	22657576.186 607788.511 -1584.932 42.135		
C28	26954124.648 1049436.296 -2679.617 27.381		
C29	25501432.326 -1084115.382 2795.306 33.157		
E03	27425221.214 -1030796.006 3064.294 33.484		
E05	25974670.310 -531991.022 1683.879 40.994		
E15	24045132.901 -417010.572 1395.510 39.632		
E21	27800762.233 -444679.067 2124.824 39.008		
E27	25010988.353 11236.780 -355.759 30.697		
E36	27037051.739 574848.907 -2185.077 43.787		
>	2019 07 29 11 20 8.0004861 0 32		
G07	25263057.749 -17434.347 18.136 41.405		
G08	23746278.882 -1254975.287 3215.037 30.583		

Zaglavlje

Podatci mjerenja

Slika 12. Primjer RINEX zapisa

5. RTKlib

RTKlib je softver otvorenog koda koji se koristi za standardno i precizno pozicioniranje koristeći globalne navigacijske sustave. Softver podržava standardne i precizne algoritme za pozicioniranje od svih poznatih globalnih navigacijskih sustava kao što su:

- GPS
- GLONASS
- Galileo
- QZSS
- BeiDou
- SBAS

Program nadalje podržava različite modove pozicioniranja pomoću GNSS-a kako u stvarnom vremenu tako i u naknadnoj obradi, neki od tih modova su:

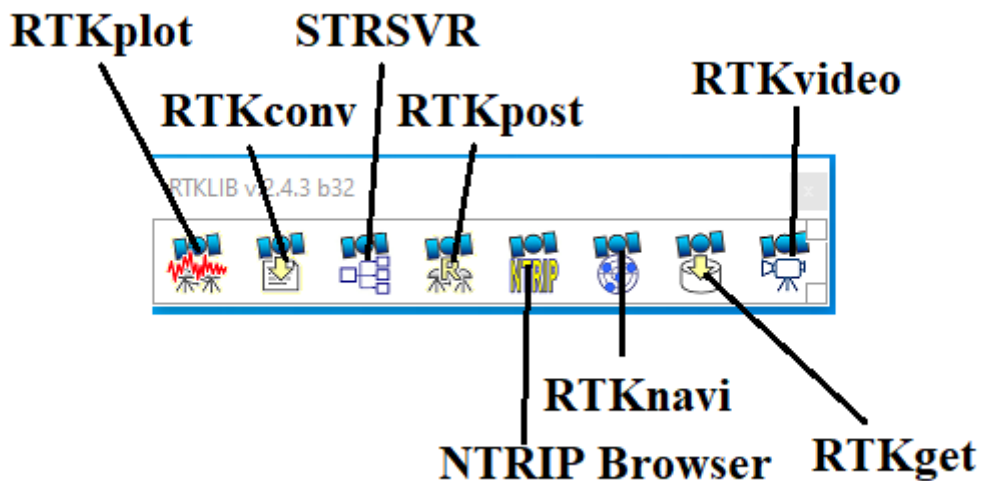
- Kinematično
- Statično
- Jednostruko
- Fiksno i još mnoge druge

Program koristi različite standarde, formate i protokole zapisa GNSS podataka no za potrebe ovog rada će se koristiti samo RINEX i njegove različite verzije.

5.1. Opis funkcija programa

Program je kao što je gore rečeno otvorenog tipa što znači da se on može besplatno preuzeti sa interneta. Trenutna najnovija inačica programa je RTKlib 2.4.3 izdana 13.05.2019. Nakon preuzimanja programa potrebo ga je raspakirati te nije potrebna instalacija. Nakon raspakiranja dobivamo mapu sa različitim aplikacijama i datotekama, a program pokrećemo s dvostrukim klikom na aplikaciju „rtklaunch“. Otvara nam se sučelje programa sa njegovim različitim funkcijama [13]:

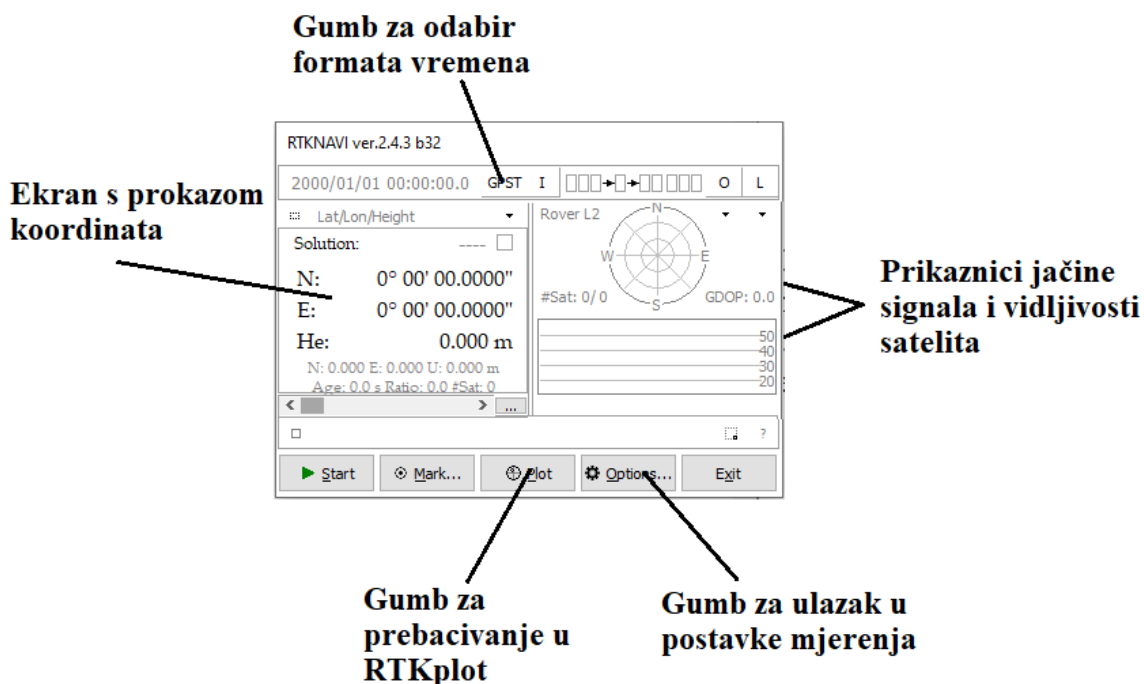
- RTKplot
- RTKconv
- STRSVR
- RTKpost
- NTRIP Browser
- RTKnavi
- RTKget
- RTKvideo



Slika 13. Sučelje programa RTKlib sa svim njegovim funkcijama

5.1.1. RTKnavi

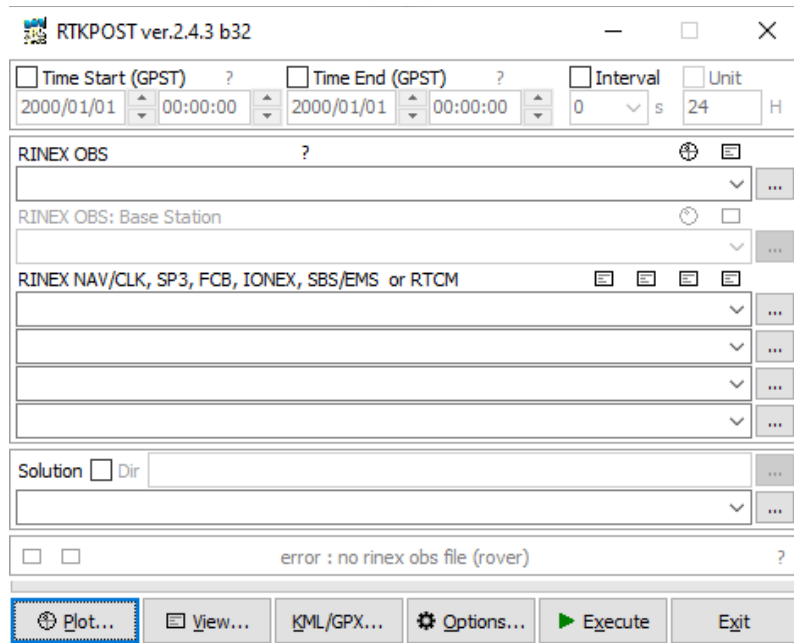
Ova funkcija programa omogućava pozicioniranje u stvarnom vremenu koristeći neobrađene podatke promatranja GPS/GNSS prijamnika. [13] Kako bi ova funkcija mogla prikazivati poziciju u stvarnome vremenu osim neobrađenih podataka promatranja još je potrebno unijeti i podatke efemerida svih satelita koji se koriste za pozicioniranje.



Slika 14. RTKnavi i njegove funkcije

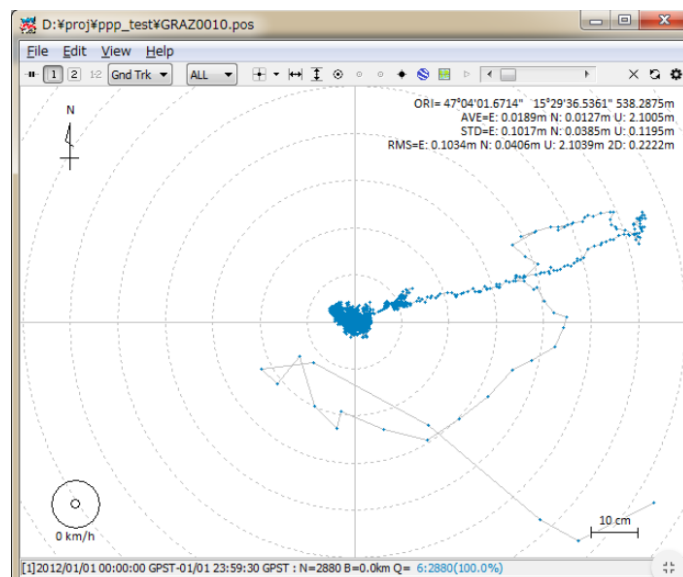
5.1.2. RTKpost

RTKpost služi za naknadnu analizu podataka dobivenih različitim metodama mjerenja. Program koristi standardne RINEX podatke dobivene preko GNSS prijavnika te pomoću njih procesira različite pozicijske solucije preko različitih modova pozicioniranja kao što su „kinematic“ i „static“ [13].



Slika 15. RTKpost

Program koristi RINEX podatke promatranja i podatke navigacijske poruke kako bi precizno odredio poziciju prijavnika te pritiskom na tipku „Plot“ omogućuje prikaz mjerenja pozicije i odstupanja od nje.

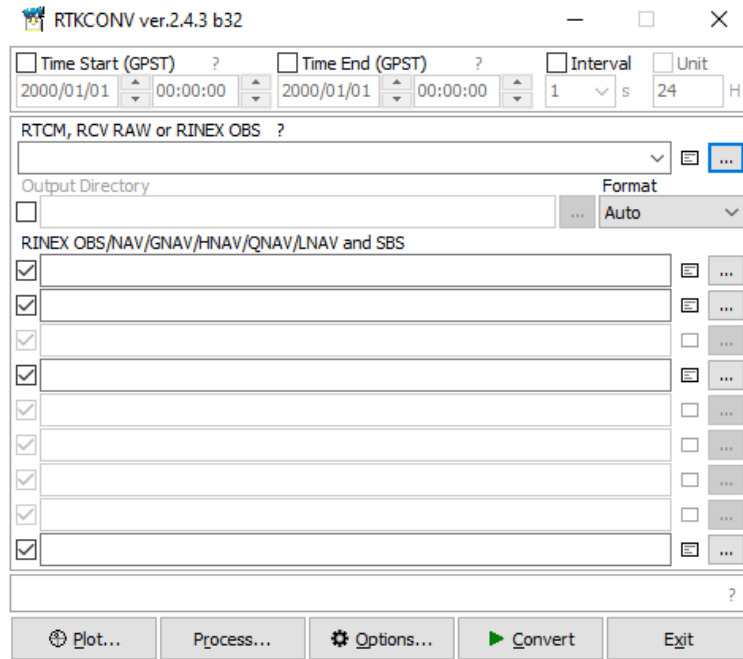


Slika 16. Prikaz podataka iz RTKpost-a u RTKplot-u

Moguće je pretvoriti obrađene podatke u RTKpost-u u format koji omogućuje otvaranje i prikaz tih podataka u Google Earth-u koristeći tipku „KML/GPX...“

5.1.3. RTKconv

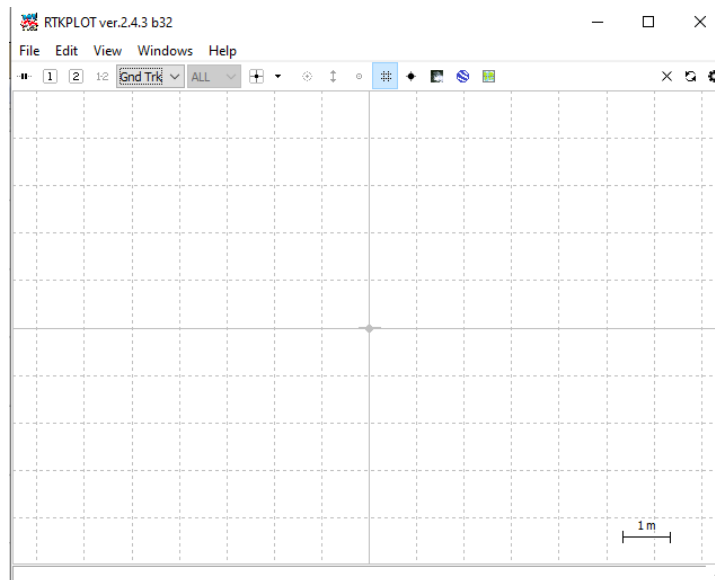
RTKlib kao i drugi programi za naknadnu obradu GNSS podataka koriste RINEX kao standardan format čitanja podataka no neki prijammnici zapisuju podatke u RTCM i BINEX formatu. RTKlib u sebi sadrži RTKconv koji omogućuje pretvaranje RTCM i BINEX navigacijske poruke u RINEX podatke. Nadalje RTKconv može izvući SBAS poruku iz neobrađenih podataka dobivenih od GNSS prijammnika i spremiti ih u zasebnu datoteku. [13]



Slika 17. RTKconv

5.1.4. RTKplot

RTKplot omogućuje prikaz podataka iz RTKpost-a i RTKnavi grafičkim sučeljem. Svaka od funkcija programa RTKlib u sebi sadrži tipku „Plot“ koja pritiskom na nju automatski otvara RTKplot i prikazuje obrađene podatke u njemu.



Slika 18. RTKplot

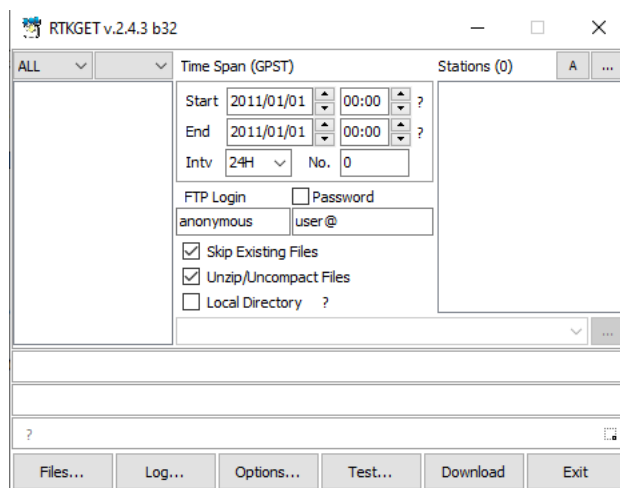
RTKplot također omogućuje prikaz podataka na Google Maps ili Google Earth pritiskom na za to predviđene tipke te osim toga omogućuje postavljanje karte na bijelu pozadinu no karta mora biti unaprijed spremljena kao „JPEG“ slika kako bi se mogla ubaciti u program.



Slika 19. Google Earth i Google Maps tipke

5.1.5. RTKget

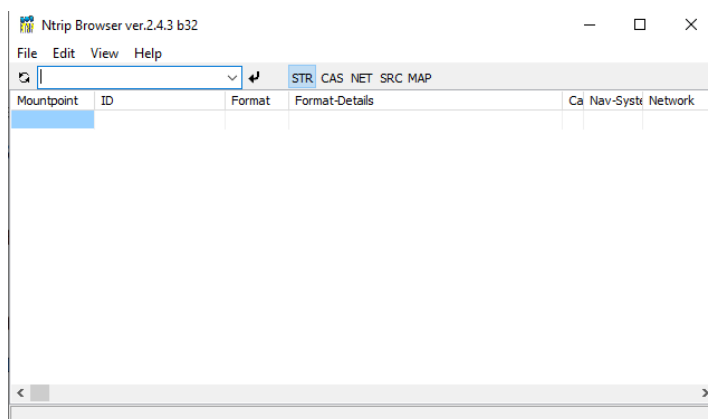
Za precizno pozicioniranje točke (PPP) često je potrebno preuzeti precizne IGS („*International GNSS service*“) podatke kao što su orbite satelita i informacije sata. U drugim slučajevima je potrebno preuzeti različite podatke sa mreže referentnih stanica koje kontinuirano rade. Kako bi direktno preuzeli sve te podatke RTKlib u sebi sadrži RTKget koji to omogućuje.



Slika 20. RTKget

5.1.6. NTRIP Browser

NTPR je komunikacijski protokol koji služi za razmjenu GPS/GNSS podataka kao što su neobrađeni podatci sa prijammnika, efemeride i korekcije različitih satelita i sl. [13] NTRIP Browser omogućuje pretraživanje gore navedenih podataka koristeći taj protokol.



Slika 21. NTRIP Browser

6. Geo++ Rinex logger, Rinex ON i bazna stanica

Program korišten za dobivanje neobrađenih GNSS podataka u RINEX formatu je GEO++ RINEX Logger. Program prima i zapisuje podatke promatranja od slijedećih GNSS sustava:

- GPS
- GLONASS
- Galileo
- BEIDOU

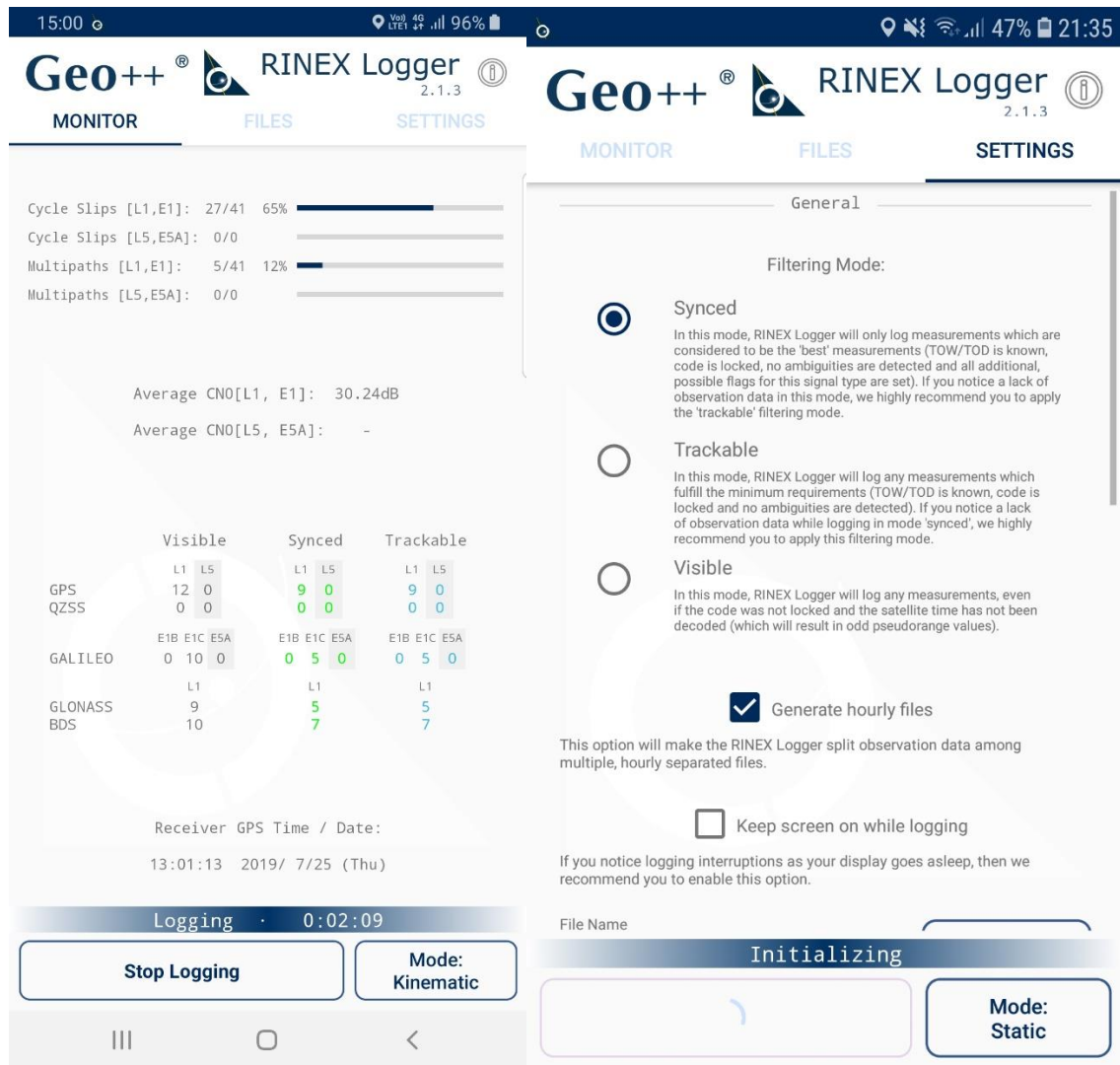
Važno je za napomenuti da program može spremati samo podatke promatranja, a ne može spremati podatke navigacijske poruke koji su potrebni za određivanje lokacije uređaja. Program koji omogućava spremanje podataka navigacijske poruke je rinex ON no trenutno je na pametnim telefonima moguće spremanje samo podataka sa GPS i GLONASS satelita pa će se u završnoj obradi koristiti podatci navigacijske poruke sa bazne stanice u Bolzanu, Italija. Stanica generira ove podatke za tri gore navedena sustava GPS, GLONASS i Galileo te je ona najbliža stanica koja to omogućava. Preporučuje se da bazna stanica ne bude udaljenija od 250 km no u usporedbi s navigacijskim podacima za GPS dobivenih na pametnom telefonu preko aplikacije rinex ON daje identične rezultate. Za GNSS sustav Beidou nema bazne stanice dovoljno blizu kako bi se mogla odrediti pozicija mobilnog telefona korištenog za mjerenje. Te je iz podataka promatranja za Beidou sustav moguće doći do podataka o broju satelita, jačini signala te vremenu vidljivosti satelita no bez podataka navigacijske poruke nije moguće prikazati lokaciju pametnog telefona.



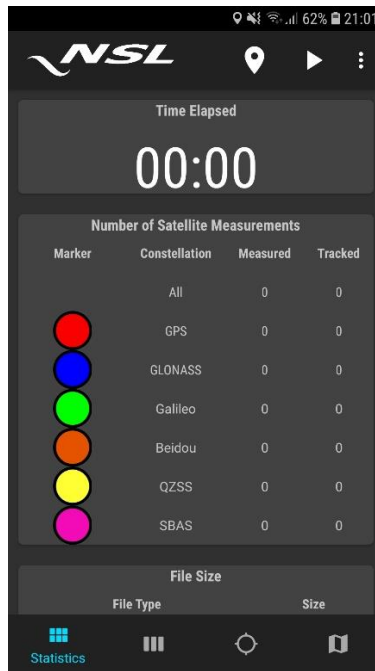
Slika 22. Bazna stanica u Bolzanu

Geo++ RINEX Logger aplikacija sadrži dva moda snimanja podataka Static koji se koristi za snimanje podataka kada pametni telefon miruje te Kinematic koji se koristi za snimanje u pokretu. Aplikacija nadalje ima tri moda filtriranja:

- Synced – u ovome modu aplikacija bilježi samo one podatke koji se smatraju najboljima
- Trackable – u ovome modu aplikacija bilježi samo one podatke koji zadovoljavaju minimalne uvjete točnosti.
- Visible – aplikacija snima sve podatke čak i ako vrijeme na satelitu nije detektirano i kod nije zaključan.

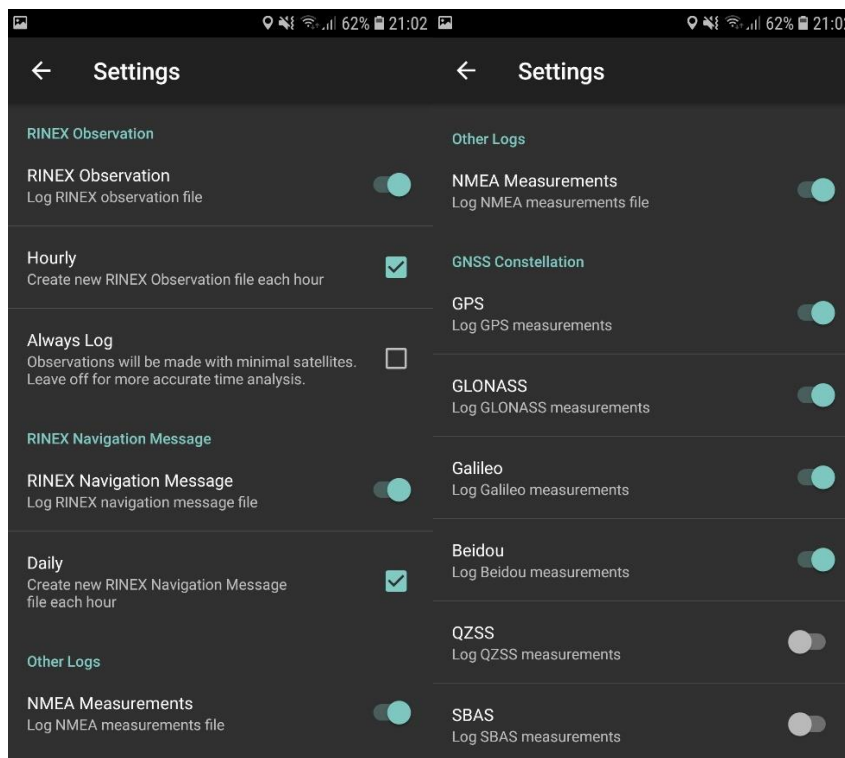


Slika 23. Sučelje aplikacije GEO++ RINEX Logger



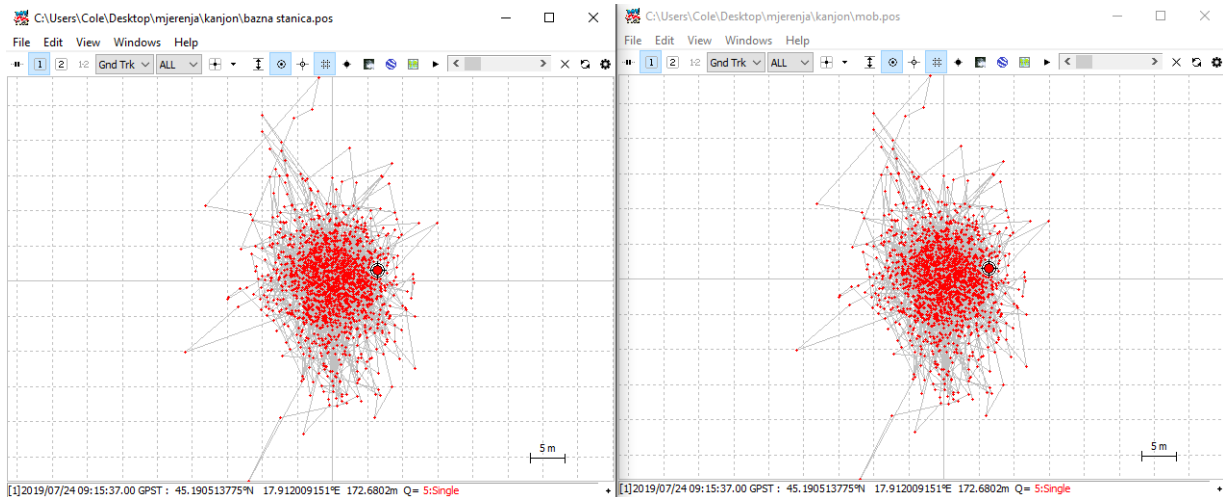
Slika 24. Početna stranica rinex ON programa

Prilikom izvođenja mjerenja korištenjem aplikacije rinex ON potrebno je pametni telefon imati cijelo vrijeme otključan tj. ekran mora biti upaljen te je potrebno imati aplikaciju otvorenu, ne može raditi u pozadini. Ako se pametni telefon automatski zaključa spremaju se podaci do trenutka zaključavanja te se nakon otključavanja ponovno uspostavlja veza sa satelitima i nastavlja se prikupljanje podataka.



Slika 25. Postavke mjerenja

Slika 26. prikazuje mjerenja GPS sustava, na lijevom prozoru su korišteni navigacijski podaci sa bazne stanice, a na desnom prozoru sa pametnog telefona te je vidljivo da su rezultati identični i da veća udaljenost od preporučene neće utjecati na preciznost mjerenja.



Slika 26. Usporedba korištenja navigacijski podataka s mobitela i bazne stanice.

Podatke s bazne stanice je moguće preuzeti s interneta. Podatci se nalaze u IGS bazi podataka na URL: <ftp://igs.bkg.bund.de/IGS/>. Kako bi preuzeli podatke s bazne stanice u Bolzanu potrebno je znati njeno kodno ime koje glasi BZRG00ITA. Odlaskom na gore navedeni link otvara se IGS baza podataka nakon toga potrebno je otići u mapu ntr_v3 gdje se nalaze podatci od svih baznih stanica koje spadaju pod IGS spremljeni u RINEX 3.xx verziji, v3 označava verziju RINEX podataka, nakon toga odabiremo dan u tekućoj godini za koji nam trebaju podatci. Zatim odabiremo sat u kojem smo vršili mjerenje, vrijeme je UTC, te nakon toga tražimo kodno ime naše bazne stanice i preuzimamo 3 datoteke koje završavaju sa ekstenzijama 19n, 19g te 19l. N predstavlja podatke navigacijske poruke GPS sustava, g GLONASS sustava te l Galileo sustava.

Index of /IGS/

IGS Station - BZRG00ITA

Not secure | ftp://igs.bkg.bund.de/IGS/

Index of /IGS/

[parent directory]

Name	Size	Date Modified
BRDC/		01/01/2019, 01:00:00
BRDC_v3/		01/01/2013, 01:00:00
highrate/		30/05/2019, 06:35:00
highrate_permanent/		01/01/2019, 01:00:00
nrt/		24/07/2019, 21:41:00
nrt_v3/		24/07/2019, 21:41:00
obs/		15/04/2019, 10:43:00
obs_v3/		02/01/2019, 01:00:00
products/		09/11/2017, 01:00:00
reports/		17/01/2019, 01:00:00
robots.txt	26 B	03/06/2010, 02:00:00
station/		23/07/2019, 07:38:00

Name	Size	Date Modified
175/		25/06/2019, 02:09:00
176/		26/06/2019, 02:09:00
177/		27/06/2019, 02:09:00
178/		28/06/2019, 02:10:00
179/		29/06/2019, 02:12:00
180/		30/06/2019, 02:09:00
181/		01/07/2019, 02:09:00
182/		02/07/2019, 02:06:00
183/		03/07/2019, 02:10:00
184/		04/07/2019, 02:09:00
185/		05/07/2019, 02:09:00
186/		06/07/2019, 02:09:00
187/		07/07/2019, 02:09:00
188/		08/07/2019, 02:07:00
189/		09/07/2019, 02:07:00
190/		10/07/2019, 02:03:00
191/		11/07/2019, 02:07:00
192/		12/07/2019, 02:07:00
193/		13/07/2019, 02:04:00
194/		14/07/2019, 02:07:00
195/		15/07/2019, 02:08:00
196/		16/07/2019, 02:08:00
197/		17/07/2019, 02:07:00
198/		18/07/2019, 02:07:00
199/		19/07/2019, 02:07:00
200/		20/07/2019, 02:07:00
201/		21/07/2019, 02:07:00
202/		22/07/2019, 02:06:00
203/		23/07/2019, 02:08:00
204/		24/07/2019, 02:07:00
205/		24/07/2019, 21:01:00
CHECK_HOURLYBKG	13.8 kB	24/07/2019, 21:41:00

Index of /IGS/nrt_v3/204/

IGS Station - BZRG00ITA

Not secure | ftp://igs.bkg.bund.de/IGS/n

Index of /IGS/nrt_v3/204/

[parent directory]

Name	Size	Date Modified
00/		23/07/2019, 04:01:00
01/		23/07/2019, 04:09:00
02/		23/07/2019, 05:14:00
03/		23/07/2019, 06:09:00
04/		23/07/2019, 07:09:00
05/		23/07/2019, 08:09:00
06/		23/07/2019, 09:14:00
07/		23/07/2019, 10:09:00
08/		23/07/2019, 11:09:00
09/		23/07/2019, 12:09:00
10/		23/07/2019, 13:09:00
11/		23/07/2019, 14:10:00
12/		23/07/2019, 15:09:00
13/		23/07/2019, 16:14:00
14/		23/07/2019, 17:13:00
15/		23/07/2019, 18:09:00
16/		23/07/2019, 19:13:00
17/		23/07/2019, 20:13:00
18/		23/07/2019, 22:10:00
19/		23/07/2019, 22:10:00
20/		23/07/2019, 23:09:00
21/		24/07/2019, 00:14:00
22/		24/07/2019, 01:13:00
23/		24/07/2019, 02:28:00

Index of /IGS/nrt_v3/204/13/

IGS Station - BZRG00ITA

Not secure | ftp://igs.bkg.bund.de/IGS/nrt_v3/204/

Index of /IGS/nrt_v3/204/13/

[parent directory]

Name	Size	Date Modified
bzrg204n.19d.Z	73.7 kB	23/07/2019, 16:04:00
bzrg204n.19g.Z	4.4 kB	23/07/2019, 16:04:00
bzrg204n.19l.Z	17.5 kB	23/07/2019, 16:04:00
bzrg204n.19n.Z	7.4 kB	23/07/2019, 16:04:00
flrs204n.19d.Z	41.3 kB	23/07/2019, 16:14:00
flrs204n.19g.Z	4.9 kB	23/07/2019, 16:02:00
flrs204n.19n.Z	7.3 kB	23/07/2019, 16:03:00
func204n.19d.Z	42.9 kB	23/07/2019, 16:06:00
func204n.19g.Z	4.7 kB	23/07/2019, 16:06:00
func204n.19m.Z	603 B	23/07/2019, 16:06:00
func204n.19n.Z	7.6 kB	23/07/2019, 16:06:00
m0se204n.19d.Z	96.3 kB	23/07/2019, 16:01:00
m0se204n.19f.Z	7.8 kB	23/07/2019, 16:01:00
m0se204n.19g.Z	4.8 kB	23/07/2019, 16:01:00
m0se204n.19l.Z	13.3 kB	23/07/2019, 16:01:00
m0se204n.19n.Z	7.7 kB	23/07/2019, 16:01:00
pdel204n.19d.Z	42.3 kB	23/07/2019, 16:06:00
pdel204n.19g.Z	4.9 kB	23/07/2019, 16:06:00
pdel204n.19m.Z	595 B	23/07/2019, 16:06:00
pdel204n.19n.Z	7.6 kB	23/07/2019, 16:06:00

Slika 27. IGS baza podataka [14]

7. Metodologija mjerenja

U radu će se analizirati tri mjerenja :

- Mjerenju u urbanom kanjonu
- Mjerenje na otvorenom području
- Mjerenje u pokretu

Svako od gore navedenih mjerenja će trajati oko 30 minuta te će se svakih 5-6 minuta provjeravati stanje pametnog telefona, da li je otključan, da li se pregrijava, broj vidljivih satelita i sl. Mjerenja će se vršiti ispod otvorenog neba po dobrim vremenskim uvjetima, a pametni telefon će biti smješten na tlu na mjestu na kojem se može lako odrediti njegova točna lokacija na karti osim tijekom mjerenja u pokretu gdje će se pametni telefon držati u rukama te će se prilikom kretanja kretati po lako prepoznatljivim putanjama, uz rub ceste i sl.

7.1. Mjerenje u urbanom kanjonu

U ovom mjerenju se pokušava simulirati utjecaj odbijanja signala između dvije zgrade i njegov utjecaj na preciznost sva tri GNSS-a. Pametni telefon će biti postavljen na tlu, točno na sredini između dvije zgrade poravnat s sredinom desne kuće na karti, s rubom krova, kako bi se lako odredila njegova pozicija na karti. Mjerenje će trajati pola sata.



Slika 28. Pozicija mjerenja na karti



Slika 29. Pozicija mjerenja

7.2. Mjerenje na otvorenom području

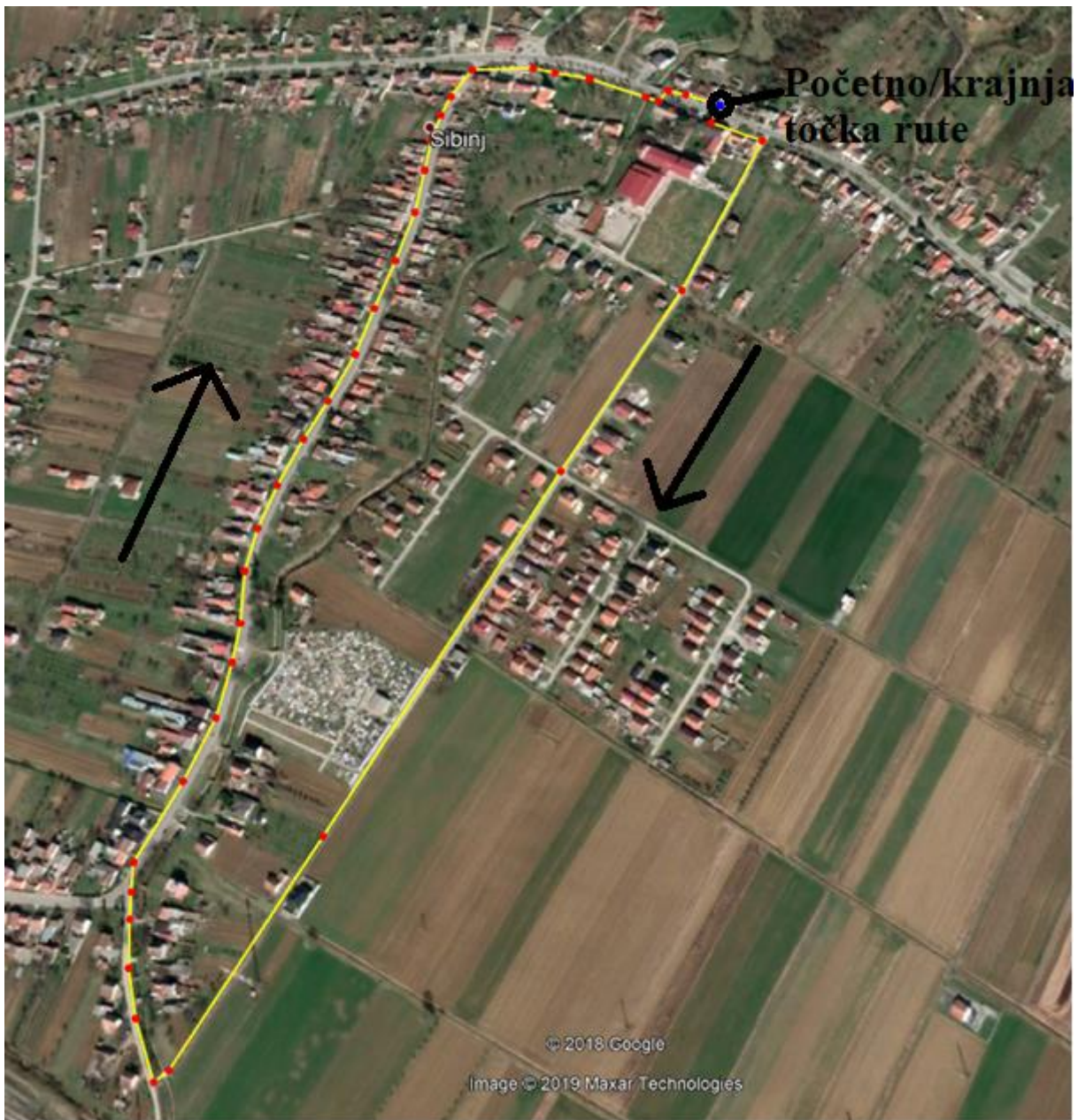
Ovo mjerenje je simulacija idealnih uvjeta za sva tri GNSS sustava te će se koristiti kao referentno mjerenje za uspoređivanje sa ostalim mjerenjima. Pametni telefon je opet postavljen na tlo no ovaj puta na području između teniskog, košarkaškog te nogometnog igrališta kako je prikazano na slici 30.



Slika 30. Pozicija mjerenja na karti

7.3.Mjerenje u pokretu

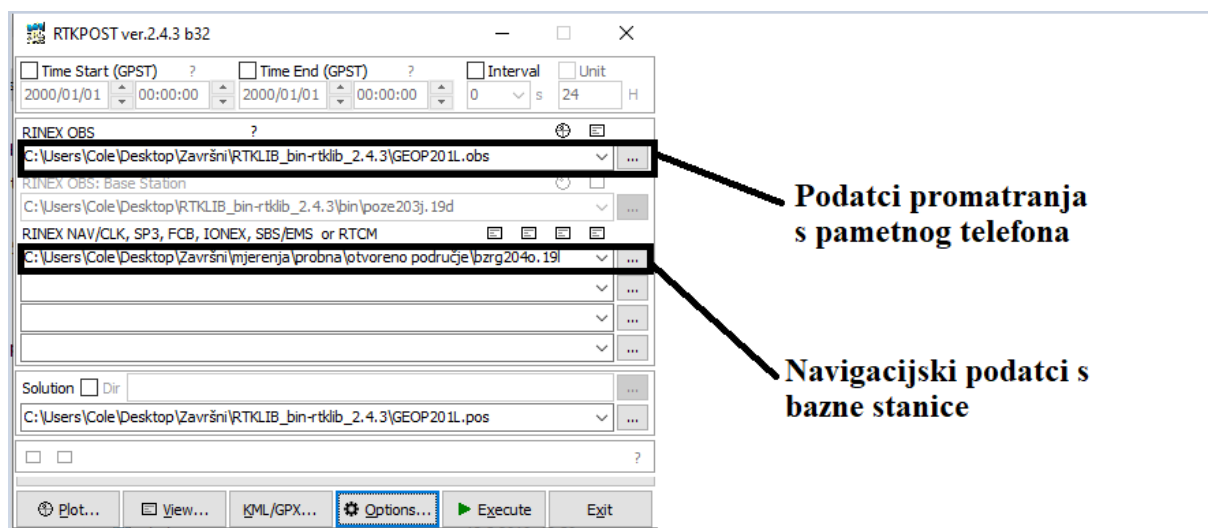
Mjerenje u pokretu služi za utvrđivanje točnosti sva tri GNSS sustava prilikom kretanja prijammnika. Pametni telefon će biti držan u rukama ispred osobe te će ekran uvijek biti okrenut prema nebu. Brzina kretanja je brzina prosječnog hoda čovjeka, a ruta će trajati oko pola sata. Ruta je duga 2.5km te prolazi kroz naseljena područja, otvorena područja te mješovita područja kao bi se mogao vidjeti utjecaj okolnog terena na preciznost. Ruta počinje i završava u istoj točki te je prije kretanja na rutu i nakon dolaska na krajnju točku prijammnik je ostavljen minutu u mirovanju kako bi se bolje utvrdila početna odnosno krajnja pozicija. Na slici 31. je vidljiva početna točka rute te smjer kretanja po rutu.



Slika 31. Ruta

8. Obrada podataka

S pametnog telefona dobivamo podatke promatranja za sva tri mjerenja te njih zajedno sa potrebnim podacima sa bazne stanice ubacujemo u program RTKpost koji služi za naknadnu obradu podataka mjerenja.



Slika 32. Obrada podataka

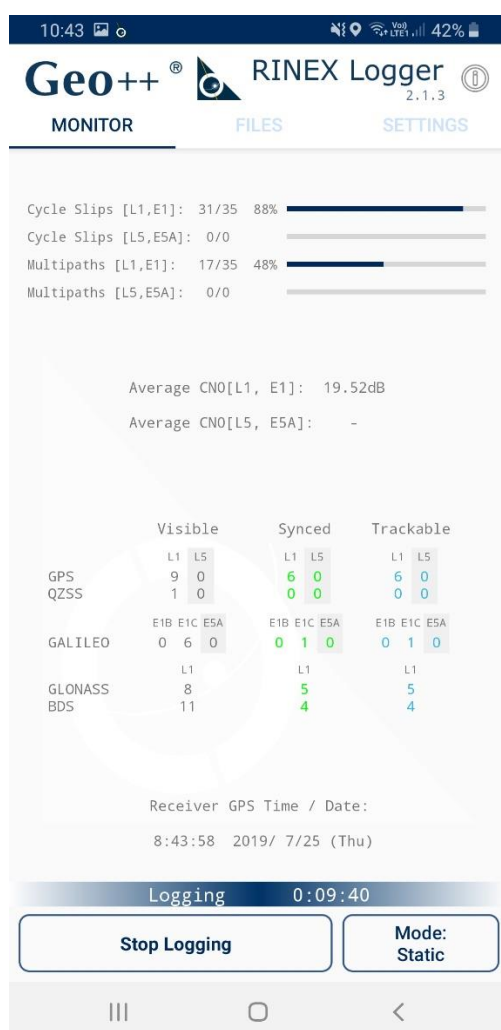
Pod „RINEX OBS“ ubacujemo podatke koje smo mjerili pametnim telefonom te pod „RINEX NAV/CLK....“ ubacujemo podatke sa bazne stanice. Ovisno o GNSS sustavu ekstenzija podatka sa bazne stanice će biti drugačija, na slici 32. imamo ekstenziju 19l te znamo da se radi o Galileo sustavu.

Postavke ostaju nepromijenjene jedino što stavljamo kvačicu na GNSS sustav koji želimo obraditi. Pritisnemo tipku „Execute“ te nakon toga otvaramo obrađene podatke u RTKplot i Google Earthu i vršimo analizu podataka.

9. Analiza podataka

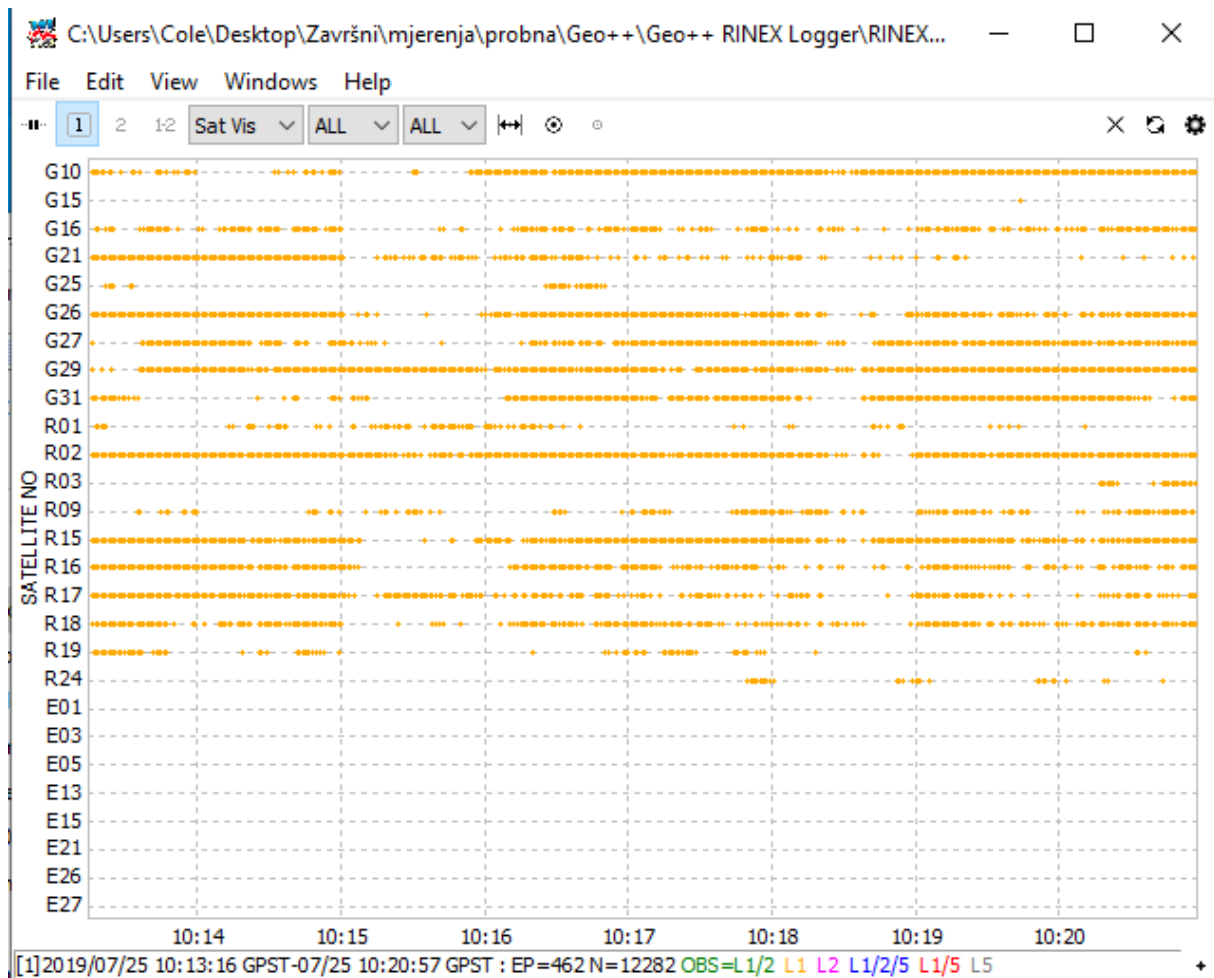
Nakon obrade svih podataka razvrstavamo obrađene podatke u 3 skupine ovisno u koje mjerenje spadaju, kanjon, otvoreno područje, u pokretu te uspoređujemo podatke.

Važno je za napomenuti da od 10 provedenih mjerenja Galileo sustav u čak 7 slučajeva nije uspio dati lokaciju pametnog telefona jer se prijamnik uspije sinkronizirati sa jako malim brojem satelita, 2-3 satelita od 6-10 vidljivih satelita, a potrebna su minimalno 4 kako bi se mogla odrediti pozicija prijamnika. Ostali sustavi su se uspješno sinkronizirali u svim slučajevima sa čak 80 i više posto vidljivih satelita. 12.07.2019 Galileo sustav je doživio tehnički incident koji je poremetio navigacijske i vremenske servise sustava te je 18.07.2019 sustav oporavljen no postoje upozorenja na moguće nestabilnosti u radu sustava. [15] Sva mjerenja su provedena u razdoblju od 23. do 26.07.2019 god. tako da gore navedeni problem može utjecati na provedena mjerenja.



Slika 33. Dostupnost satelita

Sa slike 33. je vidljivo da se nakon 10 minuta mjerenja Galileo sustav uspio sinkronizirati sa samo jednim satelitom od 6 vidljivih. Nadalje sa slike 34. se vidi da se u cijelom razdoblju mjerenja od deset minuta aplikacija nije uspjela povezati niti sa jednim satelitom. Oznaka G predstavlja GPS satelite, oznaka R predstavlja GLONASS satelite te oznaka E predstavlja Galileo satelite.



Slika 34. Dostupnost satelita tijekom mjerenja

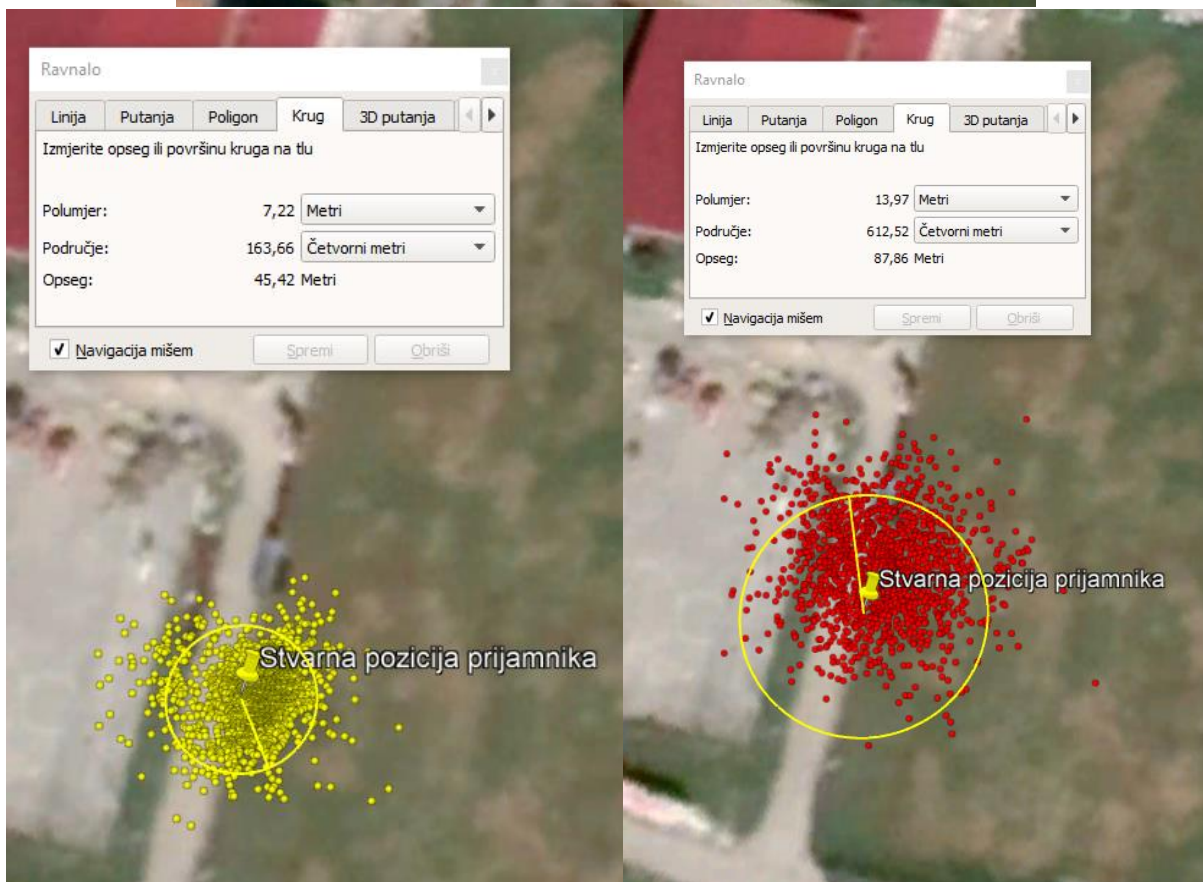
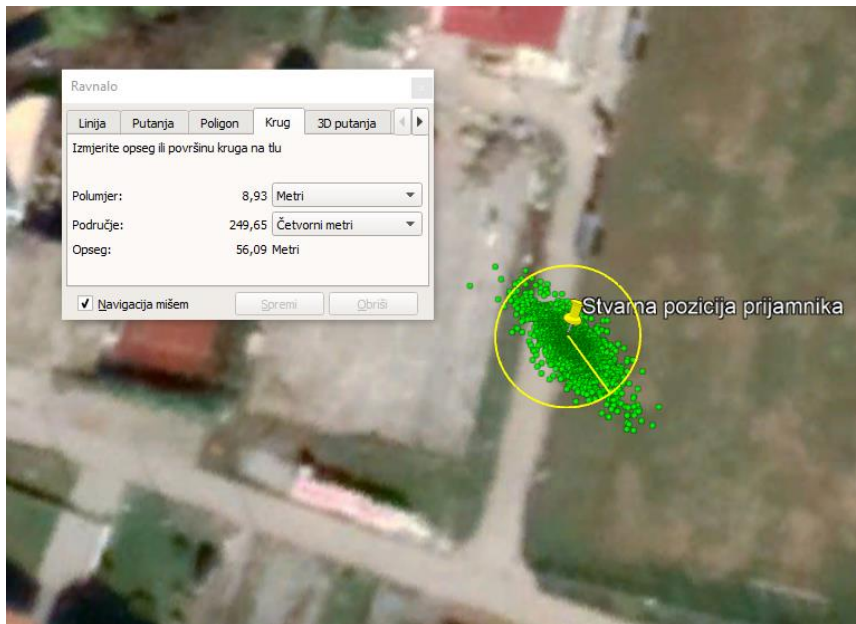
9.1. Mjerenje na otvorenom području

Mjerenje je vršeno četiri puta no prva tri su odbačena zbog nemogućnosti Galileo sustava da odredi poziciju prijammika. Na slici 35. prikazani su rezultati mjerenja sva tri GNSS sustava. GPS je prikazan zelenom bojom, GLONASS crvenom te Galileo žutom bojom. Vidljivo je da su GPS i Galileo dosta slični te je rasipanje lokacija u malome radijusu, najviše izmjerenih lokacija je grupirano oko stvarne lokacija prijammika. Vidljivo je da je u ovome slučaju GPS dao lokacije raspoređene u liniju, a Galileo u obliku kruga. GLONASS sustav dao je najlošije rezultate čije su lokacije najviše rasute oko stvarne pozicije.

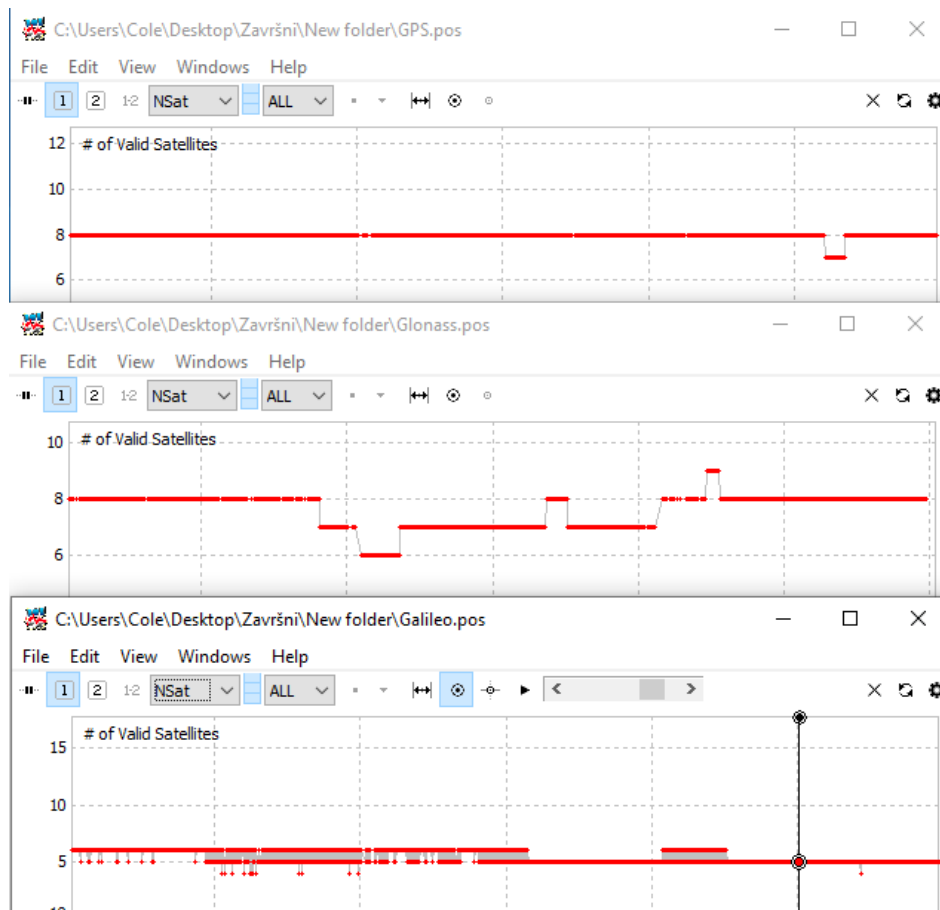


Slika 35. Usporedba sva tri sustava

Na slici 36. prikazani su radijusi kružnica koji obuhvaćaju najviše izmjerenih lokacija te je vidljivo da Galileo sustav ima najgušće grupirane lokacije u radijusu od 7 m zatim slijedi GPS koji ima najviše izmjerenih lokacija u krugu od 9 m. GLONASS sustav dao je najlošije rezultate s najviše izmjerenih lokacija unutar 14 m te je vidljivo da je središte grupacije malo iznad stvarne lokacije za razliku od GPS i Galileo sustava koji središte grupacije lokacija imaju iznad stvarne pozicije lokacija.



Slika 36. Radijus rasipanja mjerenja



Slika 37. Prosječan broj vidljivih satelita

Na slici 37. vidljivo je da je prosječan broj raspoloživih satelita za GPS sustav 8 za GLONASS sustav također 8 no u par navrata pada na 7 u dužem vremenskom razdoblju te se za Galileo sustav prosječan broj satelita kreće između 5 i 6. Nadalje vidljivo je da je za sva 3 sustava dostupnost tijekom cijelog perioda mjerenja bila 100% no ako uzmemo u obzir da je ovo mjerenje vršeno 4 puta te da u prva tri puta Galileo sustav nije bio dostupan, a ostali jesu njegova dostupnost pada na 25%.

Tablica 4. RMS i STD na otvorenom području

		GPS	GLONASS	Galileo
RMS	Sjeverno-južno	2,9083 m	5,7857 m	3,3528 m
	Zapadno-istočno	2,7665 m	5,9170 m	3,5500 m
	Gore-dolje	5,6765 m	11,3932 m	10,9524 m
	2D	8,0278 m	16,5513 m	9,7659 m
STD	Sjeverno-južno	2,9091 m	5,7876 m	3,3537 m
	Zapadno-istočno	2,7665 m	5,9170 m	3, 5510 m
	Gore-dolje	5,5781 m	11,3970 m	10,9555 m

Osim vizualne analize RTKlib omogućuje prikazivanje statistike mjerenja koja nam daje podatke o standardnoj devijaciji (STD) te podatke o srednjoj kvadratičnoj vrijednosti (RMS).

Iz tablice 4. je vidljivo da GPS sustav ima najmanja odstupanja u svim zabilježenim elementima zatim ga slijedi Galileo te kao najneprecizniji dolazi GLONASS.

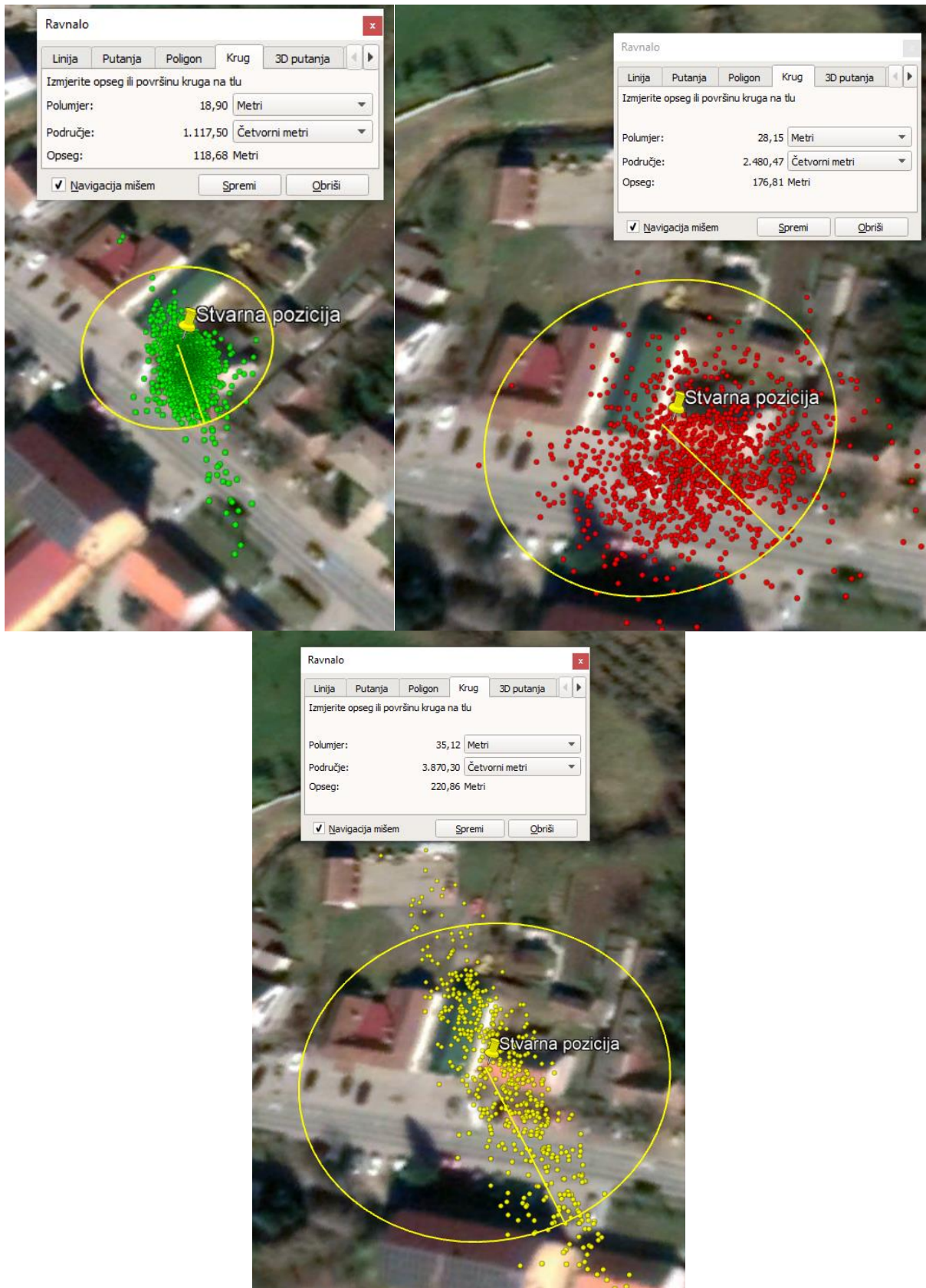
9.2. Mjerenje u „kanjonu“ između zgrada

Mjerenje je vršeno četiri puta no prva tri su odbačena zbog problema s Galileo sustavom no i četvrti puta je Galileo sustav uspio ostati povezan samo 12 minuta pa će biti analizirani podatci prvih 15 minuta mjerenja.

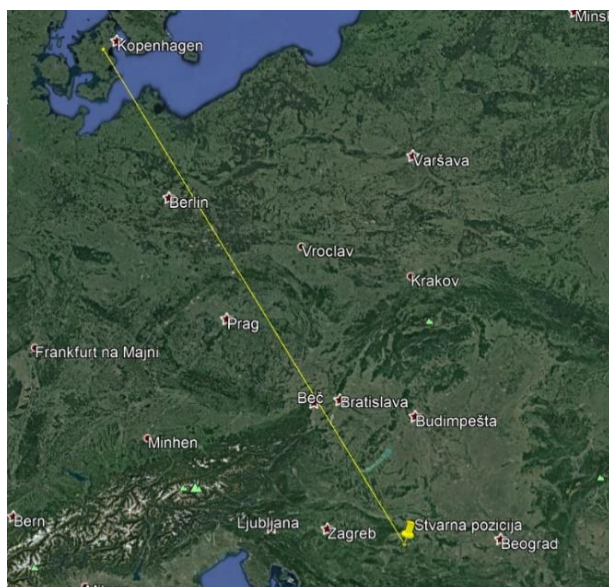


Slika 38. Usporedba GPS, GLONASS i Galileo sustava

Zelena boja predstavlja GPS sustav, crvena GLONASS te žuta boja predstavlja Galileo sustav. Vidljivo je da GPS sustav ima najmanja rasipanja i odstupanja od stvarne pozicije prijamnika, zatim slijedi GLONASS sustav koji ima glavninu svojih mjerenja smještenu u kružnicu oko stvarne pozicije prijamnika. Najveća odstupanja ima Galileo sustav te je zanimljivo kako su njegova odstupanja raspoređena u liniju. Na slici 40. vidljiv je radijus odstupanja svakog sustava te se vidi da je GPS najprecizniji sa glavninom lokacija smještenih u radijusu od 19m zatim slijedi GLONASS sa 28m no njegova odstupanja su više raštrkana na stranu od Galileo sustava koji svoje pozicije ima poredane u liniju. Najveća izmjerena greška pripada Galileo sustavu koji je izmjerio dvije pozicije u blizini Kopenhaga.

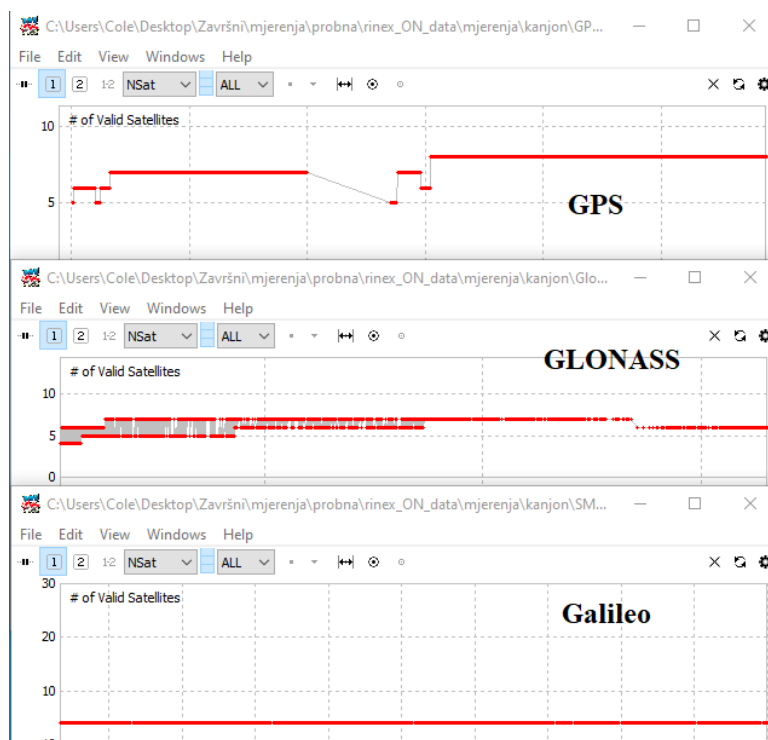


Slika 39. Radijus odstupanja svakog sustava



Slika 39. Najveće odstupanje

Broj raspoloživih satelita GPS te GLONASS sustava je u prosjeku 7 sa manjim varijacijama no Galileo sustav je uspio uspostaviti vezu sa samo 4 satelita tijekom 12 minuta snimanja te nakon toga gubi vezu sa satelitima. Tijekom sva četiri mjerenja GPS i GLONASS sustavi su bili dostupni čitavo vrijeme (100%) no Galileo sustav je tek četvrti puta uspio ostvariti vezu što mu smanjuje dostupnost na 25%. U četvrtome mjerenju tijekom pola sata mjerenja GLONASS sustav je bio dostupan cijelo vrijeme, GPS je izgubio vezu na četiri minute te mu je dostupnost bila 87% no Galileo sustav je bio dostupan samo 40% vremena.



Slika 40. Broj vidljivih satelita u 12 od 30 min mjerenja

U odnosu na otvoreno područje vidljivo je da je radijus odstupanja lokacija znatno veći. Kod GPS sustava vidimo veće rasipanje koje se povećalo sa 9m na 19, kod GLONASS sustava sa 14 na 28m te kod Galileo sa 7 na čak 35m.

Tablica 5. RMS i STD u "urbanom kanjonu"

		GPS	GLONASS	Galileo	Galileo¹
RMS	Sjeverno-južno	4,7101 m	9,8582 m	47004,87 m	21,9099 m
	Zapadno-istočno	4,8388 m	10,2715 m	14889,71 m	10,3925 m
	Gore-dolje	7,6343 m	21,2814 m	11392,37 m	22,0065 m
	2D	13,5054 m	28,4737 m	98613,61 m	48,4993 m
STD	Sjeverno-južno	4,7116 m	9,8623 m	47045,51 m	21,9310 m
	Zapadno-istočno	4,8404 m	10,2758 m	14902,58 m	10,4025 m
	Gore-dolje	7,6343 m	21,4737 m	11402,22 m	22,0278 m

1- Galileo podatci nakon izbacivanja najvećeg odstupanja

Kao i u prethodnom slučaju moguće je dobiti statističke podatke o mjerenjima te je vidljivo da Galileo zbog svoje velike pogreške u mjerenju koja seže čak do Kopenhaga daje prevelika odstupanja te nije moguće izvršiti detaljniju usporedbu bez izbacivanja te dvije lokacije iz mjerenja. Nakon izbacivanja najveće pogreške dobivamo bolju sliku o preciznosti sustava u urbanom kanjonu koja zaostaje za GPS pa čak i GLONASS sustavom. GPS je daleko najprecizniji sustav zatim slijedi GLONASS te na kraju dolazi Galileo. GLONASS i Galileo imaju dosta slične podatke gledajući smjer istok-zapad te smjer gore-dolje no kod Galileo sustava dolazi do većih odstupanja u smjeru sjever-jug što se i vidi i na slici 38.

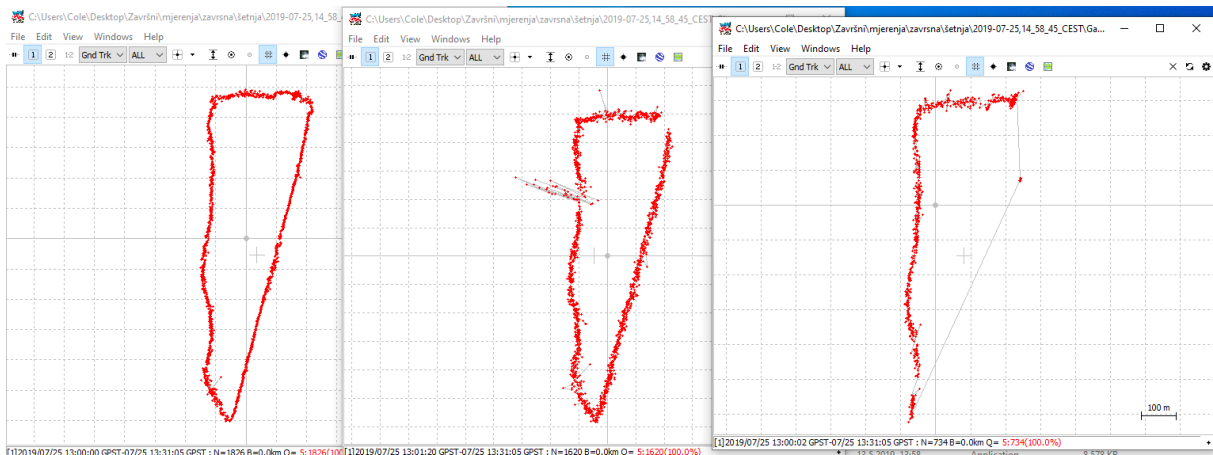
Tablica 6. Postotak povećanja odstupanja točnosti između otvorenog područja i urbanog kanjona

Smjer	GPS	GLONASS	Galileo¹
Sjeverno-južno	62%	70%	553%
Zapadno-istočno	75%	73%	193%
Gore-dolje	35%	86%	101%

Iz tablice 6. je vidljivo da GPS sustav ima najmanje povećanje odstupanja u odnosu na ostala dva sustava te samo 35% veću nepreciznost u mjerenju visine dok Galileo sustav ima najveće povećanje nepreciznosti pogotovo u smjeru sjever-jug.

9.3. Mjerenje u pokretu

Mjerenje je vršeno tri puta no prva dva puta su odbačena zbog navedenog problema sa Galileo sustavom. Na slici 42. prikazan je treći pokušaj u RTKplot-u s lijeva na desno prvu putanju predstavlja GPS, zatim slijedi GLONASS te na kraju Galileo sustav. Odmah je vidljivo da je GPS sustav dao najpotpuniju sliku sa najmanje gubitaka signala sa satelitima, zatim slijedi GLONASS sa malim gubitkom signala na prvome skretanju te većim rasipanjem na zadnjoj četvrtini putanje te Galileo sustav koji prvu polovicu rute nije uspio zabilježiti lokaciju uređaja osim par puta na prvoj četvrtini rute.



Slika 41. Usporedba GPS, GLONASS i Galileo sustava u RTKplot

Detaljnijom analizom GPS sustava vidljivo je da se lako prepozna zadržavanje na početnoj i krajnjoj točki rute jer se vidi grupacija izmjerenih pozicija iznad tog područja iako imamo dosta velika odstupanja do 15 m na toj poziciji te je vidljivo da prije prvog skretanja također imamo velika odstupanja koja dosežu čak i drugu stranu ulice. Zelena linija predstavlja stvarnu putanju prijammnika.



Slika 42. GPS početna točka rute

Nakon prvog skretanja prolazimo kroz relativno otvoreno/mješovito područje, putanja se stabilizirala te je vidljivo da odstupanja ne prelaze širinu ceste osim u par slučajeva gdje dolazi do odbijanja signala od zgrade pa dolazi do većih odstupanja.



Slika 43. Prva trećina puta

Nakon toga ulazimo u gusto naseljeno područje gdje vidljivo dolazi do degradacije signala i pojave većih odstupanja te odbijanja signala s jedne strane ulice na drugu što je vidljivo na slici 45.



Slika 44. Prolazak kroz gušće naseljeno područje

Zatim opet prolazimo kroz otvoreno područje bez zgrada te vidljivo dolazi do poboljšanja preciznosti i kvalitete signala.



Slika 45. Ponovni prolazak kroz otvoreno područje

Ostatak puta do povratka na početnu točku prolazimo kroz gusto naseljeno područje te se stvara efekt kanjona i dolazi do odbijanja signala između zgrada te opet dolazi do degradacije točnosti i kvalitete signala vidljivo na slici 47.



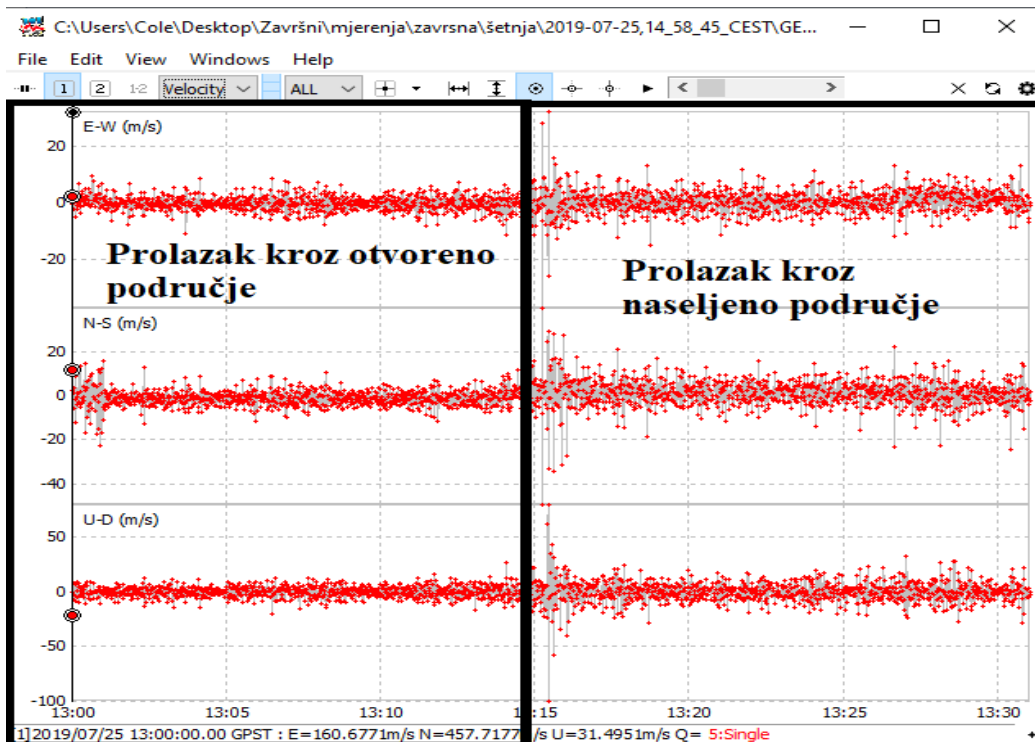
Slika 46. Prolazak kroz gusto naseljeno područje

Na kraju rute je vidljiv prelazak preko ceste te dolazak na početnu točku rute. Slika 48.



Slika 47. Dolazak na krajnju točku rute

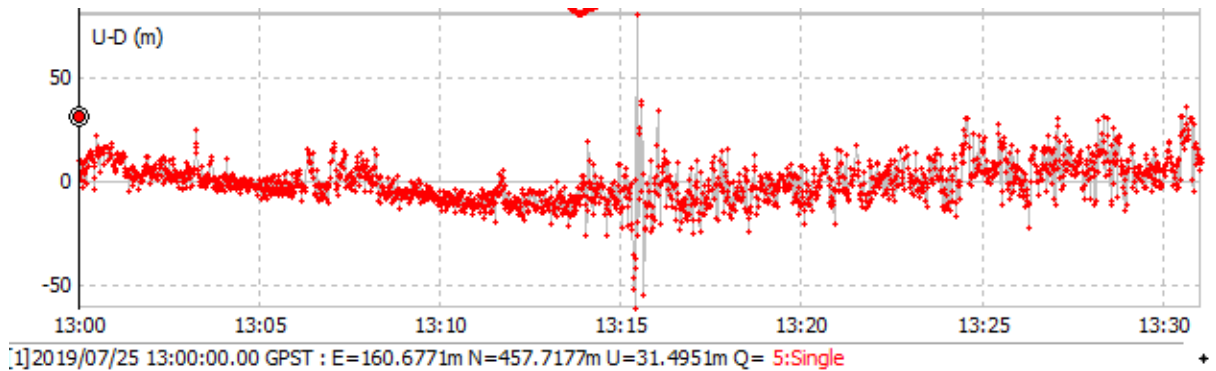
Izmjerena brzina kretanja je relativno konstantna u prolasku kroz otvoreno područje na prvoj polovici rute te nakon ulaska u naseljeno područje dolazi do većih varijacija u brzini kretanja zbog većeg rasipanja izmjerenih lokacija tj. zbog manje točnosti sustava na tome području. Vidljivo sa slike 49.



Slika 48. Brzina kretanja

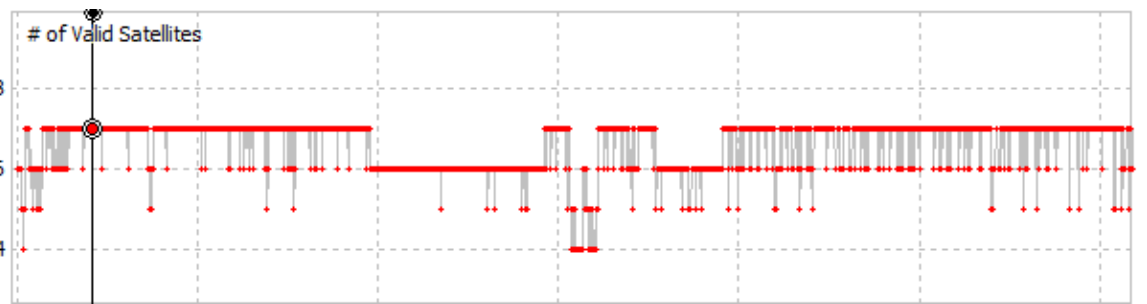
Izmjerene brzine prikazane na slici su trenutačne brzine između dvije točke te su u tome slučaju greške velike. Greške je moguće smanjiti filtriranjem ili uprosječavanjem preko nekoliko točaka.

Varijacije u visini prijamnika za otvoreno područje rute nalaze se u granicama do 20 m nakon ulaska u naseljeno područje varijacije skaču i do 50 m vidljivo iz grafa na slici 50.



Slika 49. Varijacija visine

Prosječan broj vidljivih satelita na ruti je 7 te je vidljivo da na otvorenom području dolazi do manjih varijacija na broj satelita u odnosu na naseljeno područje.



Slika 50. Broj vidljivih satelita

Iz gore navedenih dijagrama je vidljivo da nakon 13:15 h dolazi do najvećih varijacija u brzini kretanja, visini i broju raspoloživih satelita te ta pozicija odgovara poziciji s najvećim odstupanjem u točnosti sustava. Slika 52. Kod velikih odstupanja u poziciji može se koristiti Kalmanov filtar ili integracija s inercijalnim navigacijskim sustavom kako bi se poboljšala preciznost sustava.

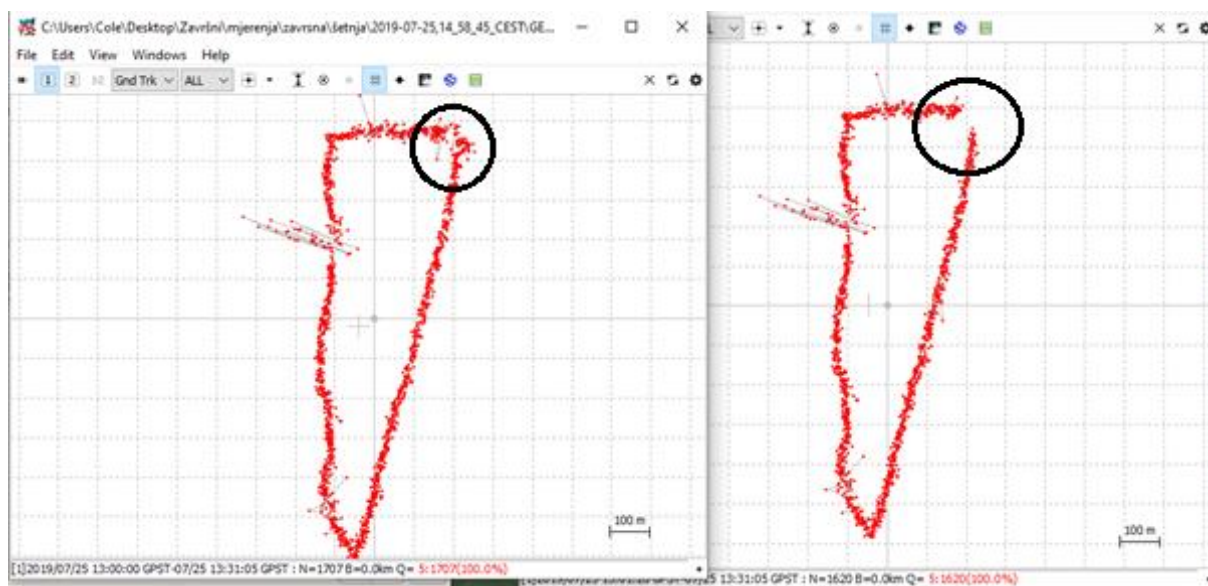
Kalmanovo filtriranje, poznato i kao linearna kvadratna procjena (LQE), algoritam je koji koristi niz mjerenja promatranih tijekom određenog vremenskog razdoblja, koji sadrže statistički šum i druge netočnosti, te daje procjene nepoznatih varijabli koje su obično više točne od onih temeljenih na samo jednom mjerenju. [16]

Inercijalni navigacijski sustavi (INS) su računalni autonomni sustavi koji prikazuju informaciju o poziciji zrakoplova prema zemljopisnim koordinatama, zajedno s brzinom leta, kursom i ostalim relevantnim podacima vezanim uz putanju u odnosu na površinu Zemlje. INS neprekidno mjere sva ubrzanja u horizontalnoj ravnini u odnosu na definirane osi te ravnine, a koja su posljedica vučne sile motora, utjecaja vjetera i rotacije Zemlje. [1]



Slika 51. Područje s najvećim odstupanjima u točnosti

U detaljnijoj analizi GLONASS sustava spustivši elevacijsku masku sa 15° na 10° dobivamo potpuniju sliku. Na slici 53. je vidljivo da prilikom spuštavanja elevacijske maske na 10° ne dolazi do gubitka signala na prvom skretanju pa će se u daljnjoj analizi GLONASS sustava koristiti ti podatci.



Slika 52. Elevacijska maska na 10° i 15°

Na početnoj točki rute GLONASS sustava se vidi grupacija zadržavanja na toj točki iako je teže uočljiva nadalje kao i kod GPS sustava dolazi do velikih odstupanja do prvog skretanja na ruti iako su ovom slučaju još veća. Također je vidljivo da se ne vidi jasno prijelaz prijavnika preko ceste i dolazak na krajnju točku nego su vidljiva samo velika odstupanja s jedne strane ulice na drugu.



Slika 53. Početna točka rute GLONASS sustava



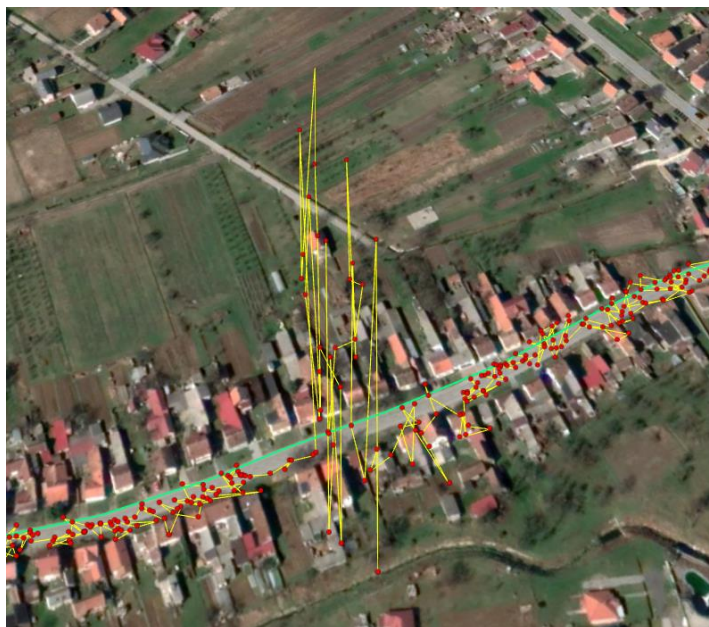
Slika 54. Usporedba GLONASS i GPS sustava

Sa slike 55. odmah je vidljivo da je GPS sustav dosta precizniji od GLONASS sustava. Ima manja odstupanja od crte kretanja te manje maksimalno odstupanje koje kod GPS sustava iznosi 60m, a kod GLONASS sustava iznosi čak 230 m.



Slika 55. Usporedba prolaska kroz naseljeno i otvoreno područje

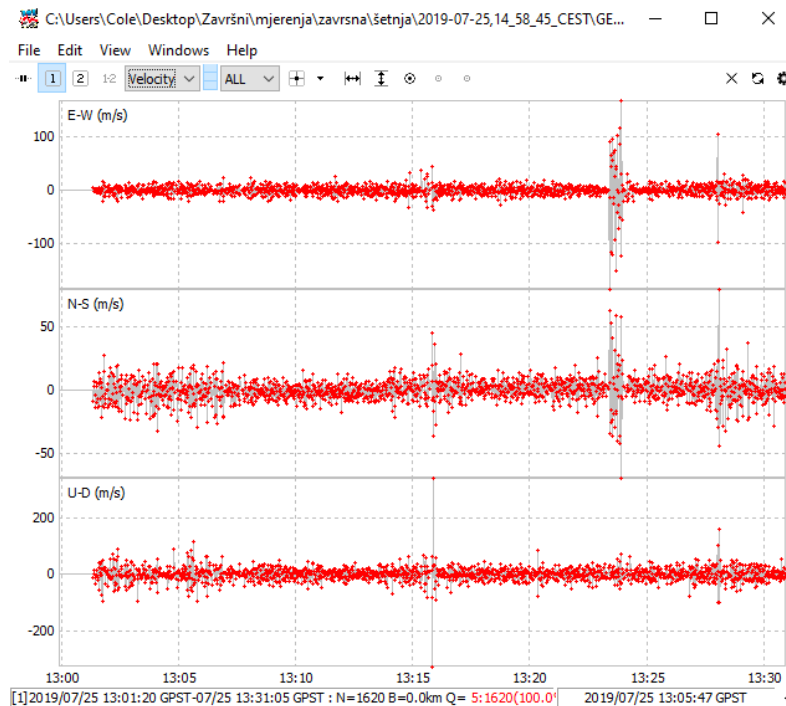
Kao i kod GPS sustava prilikom prolaska kroz naseljeno područje dolazi do većeg rasipanja pozicija tj. do degradacije jačine signala i točnosti no kod GLONASS sustava je manja razlika između naseljenog i otvorenog područja. Na ostalom dijelu rute kao i kod GPS sustava dolazi do većeg odstupanja točnosti zbog efekta kanjona no kod GLONASS sustava najveće odstupanje se pojavljuje na zadnjoj četvrtini rute gdje dolazi do naglog odstupanja točnosti do 230m. Također kao i kod GPS sustava sva veća odstupanja moguće je ispraviti Kalmanovim filtrom ili integracijom s inercijalnim navigacijskim sustavom.



Slika 56. Najveće odstupanje GLONASS sustava

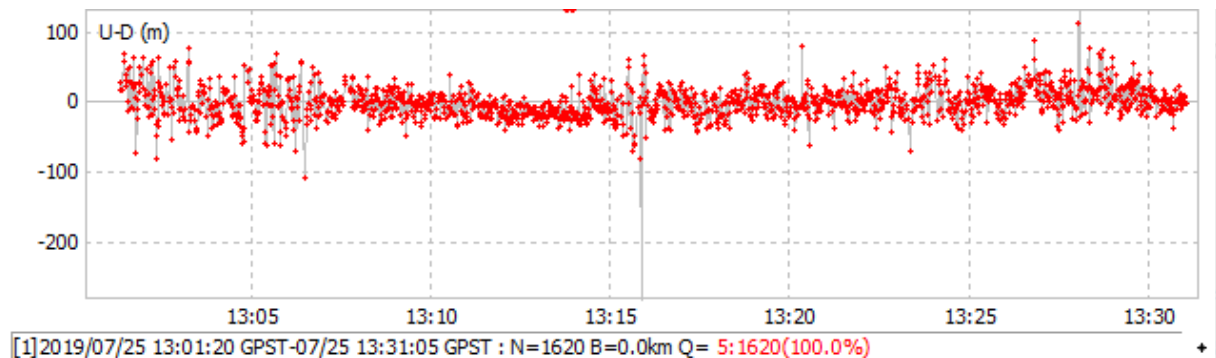
Za razliku od GPS sustava kod ovog sustava nisu toliko očite promjene u brzini kretanja između naseljenog i otvorenog područja jer su i same razlike u izmjerenoj poziciji manje no i dalje je

najveća brzina kretanja izmjerena u trenutku najvećeg odstupanja jer dolazi do najveće promjene puta u jako malome vremenu. Također kao i kod GPS sustava radi se o trenutačnim brzinama između dvije točke te se preciznost mjerenja brzine može na isti način poboljšati.



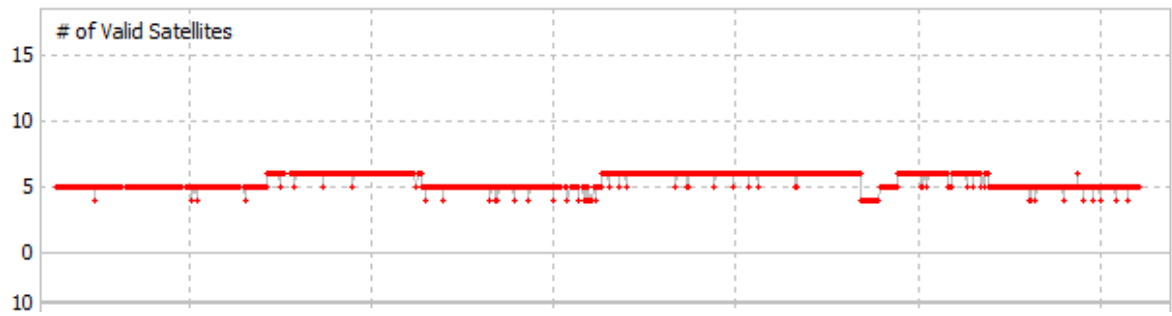
Slika 57. Brzina kretanja izmjerena GLONASS sustavom

Također ovaj sustav ima veće varijacije po visini na cijeloj ruti, a najveće odstupanje se događa u istim trenucima kao i kod GPS sustava no ovdje iznosi znatno više do -350m.



Slika 58. Varijacije visine izmjerene GLONASS sustavom

Prosječan broj vidljivih satelita tijekom cijele rute iznosi između 5-6 te u ovom slučaju nema toliko varijacija između broja satelita kao kod GPS sustava nego je broj satelita uglavnom konstantan.



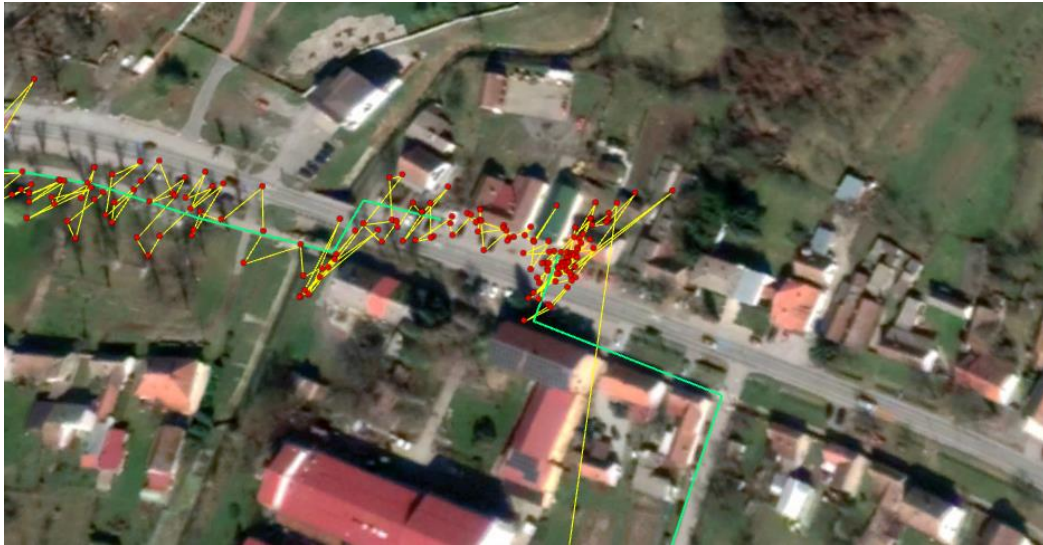
Slika 59. Broj vidljivih GLONASS satelita

Što se tiče sustava Galileo također nakon promjene elevacijske maske sa 15° na 10° dolazi do poboljšanja pokrivenosti sustava no i dalje zaostaje za ostala dva GNSS sustava. Teško je procijeniti da li se radi o tehničkim problemima koje je sustav imao u gore opisanom razdoblju ili sustav samo ima lošu pokrivenost područja. Tijekom cijele šetnje je bilo vidljivih 10-9 satelita no aplikacija se uspjela povezati samo sa 4 u nekim situacijama 5 satelita.



Slika 60. Prikaz mjerenja Galileo sustava

No iz izmjerenih podataka može se zaključiti dosta toga. Na početnoj točki rute se vidi grupacija lokacija koja predstavljaju zadržavanje prije samog početka kretanja te se prije dolaska na kraj vidi prijelaz preko ceste i dolazak na krajnju točku rute no sustav se po preciznosti može smjestiti između GPS i GLONASS sustava.



Slika 61. Početna/krajnja točka rute izmjerena Galileo sustavom

Nadalje opet imamo prisutno veće rasipanje lokacija prilikom prolaza kroz naseljeno područje u odnosu na otvoreno područje te se sustav po preciznosti može smjestiti između dva opisana sustava.



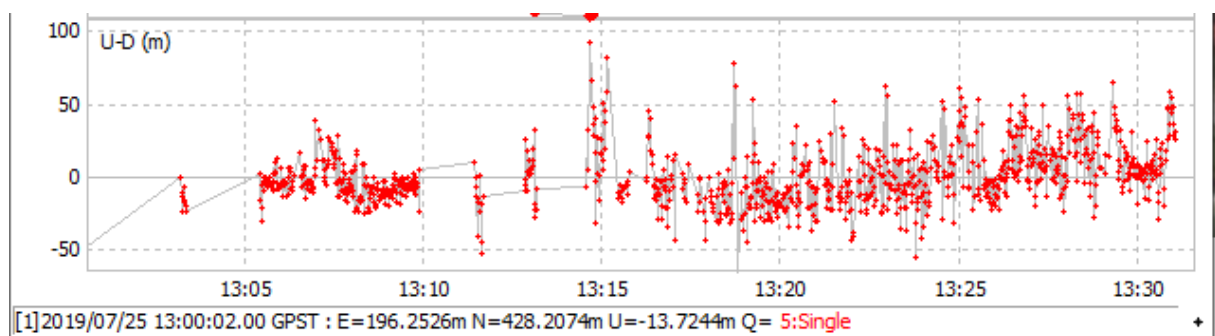
Slika 62. Prolaz kroz naseljeno i otvoreno područje

Najveća odstupanja se događaju kao i kod GPS sustava u trinaestoj minuti prilikom prolaza kroz ulicu koja ima gusto raspoređene kuće s obje strane ulice. Na ostalom dijelu rute tj. na drugoj polovici signal se stabilizirao i imamo stabilan pristup izmjerenim lokacijama točnost ostalog dijela rute koja se kao i u prijašnjim situacijama može smjestiti između GPS i GLONASS sustava.



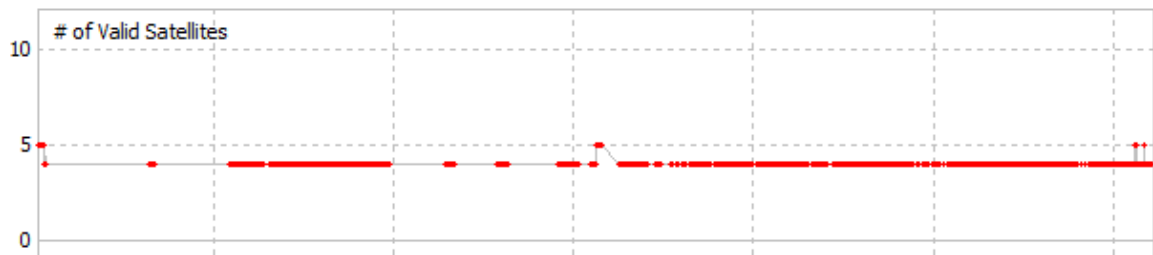
Slika 63. Najveće odstupanje Galileo sustava

Podatke o brzini kretanja nije moguće prikazati zbog prevelikih gubitaka u mjerenju pa prosječna brzina kretanja ispada oko 40 m/s što je nemoguće. Što se tiče visine odstupanja se kreću u prosjeku oko 40m no na otvorenom području su do 25m, a najveća sežu do 100m.



Slika 64. Varijacija visine

Prosječni broj satelita s kojima se aplikacija uspjela spojiti iznosi 4, iako je tijekom provođenja mjerenja bilo vidljivo 10 satelita, a na mjestima gdje nema prikaza lokacije aplikacija se nije uspjela povezati ni sa jednim satelitom. GPS te GLONASS sustav nakon spužtanja elevacijske maske na 10° su imali dostupnost 100% no Galileo sustav je bio dostupan ukupno 20 od 32 minute cijele rute što mu smanjuje dostupnost na 69%.



12:11 21%

Geo++ RINEX Logger 2.1.3

MONITOR FILES SETTINGS

Cycle Slips [L1,E1]: 21/44 47%

Cycle Slips [L5,E5A]: 0/0

Multipaths [L1,E1]: 7/44 15%

Multipaths [L5,E5A]: 0/0

Average CN0[L1, E1]: 29.48dB

Average CN0[L5, E5A]: -

	Visible		Synced			Trackable			
	L1	L5	L1	L5	E5A	L1	L5	E5A	
GPS	10	0	7	0	0	7	0	0	
QZSS	1	0	0	0	0	0	0	0	
GALILEO	E1B	E1C	E5A	E1B	E1C	E5A	E1B	E1C	E5A
	0	10	0	0	1	0	0	1	0
GLONASS	L1		L1			L1			
	10	0	9	0	0	9	0	0	
BDS	13		10			10			

Receiver GPS Time / Date:
10:11:57 2019/ 7/25 (Thu)

Logging 0:00:08

Stop Logging **Mode: Kinematic**

Slika 65. Broj vidljivih satelita

10. Zaključak

RTKlib je program s mnogo korisnih funkcija bilo za naknadnu obradu prije izmjerenih podataka, pozicioniranje u stvarnom vremenu, pretvaranje drugih oblika zapisa GNSS podataka u RINEX podatke i još dosta drugih. Program je jednostavan za korištenje te uz malo vremena provedenog uz njega i korištenja dostupne literature i interneta moguće je lako svladati sve funkcije programa.

Sva tri gore opisana GNSS sustava imaju svoje prednosti i nedostatke. GPS sustav je daleko davao najbolje rezultate u sva tri provedena mjerenja bez ikakvih problema i zastoja. GLONASS sustav je također u sva tri mjerenja radio bez ikakvih problema i zastoja no preciznost mu zaostaje u odnosu na ostala dva sustava. Galileo sustav sa svojim trenutnim problemima te nemogućnošću određivanja pozicije zbog nemogućnosti dobrog povezivanja sa satelitima daje jako loš dojam o sustavu. U više od 50% provedenih mjerenja prijammnik je uspješno vodio komunikaciju sa samo 2 do 3 Galileo satelita iako je u određenim trenucima bilo vidljivo i do 10 satelita. Dok je kod ostalih sustava prijammnik uspješno vodio komunikaciju sa 90% vidljivih satelita. No takvi problemi u mjerenju su bili i očekivani pošto sustav još nije u potpunosti operativan. Međutim, ako gledamo samo preciznost određivanja pozicije, a ne pouzdanost, kada sustav uspije uspostaviti dobru vezu sa satelitima spada u zlatnu sredinu između GPS i GLONASS sustava. Nadalje u urbanom kanjonu gdje je mala udaljenost između zgrada tj. prostor za manevriranje je jako mali preporučljivo je koristiti GNSS sustav koji daje najveću preciznost u ovome slučaju GPS.

Važno je napomenuti da za provedena mjerenja nisu korištene napredne korekcije sata te efemerida sustava te nisu uzimani u obzir meteorološki podatci i još mnogo drugih podataka koji se mogu koristiti kako bi se dodatno povećala preciznost sustava. U ovim mjerenjima su sustavi određivali poziciju samo proračunom pseudoudaljenosti te je na osnovu toga vršena analiza.

GPS te GLONASS sustavi se mogu pouzdano koristiti u navigaciji svaki uz svoje prednosti no Galileo sustav u trenutnom stanju nije pouzdan za korištenje u navigaciji što je i bilo za očekivati s obzirom na to da nije potpuno operativan. No današnji prijammnici koji se ugrađuju u pametne telefone i ostale uređaje omogućuju korištenje i uspoređivanje svih raspoloživih satelita i sustava za određivanje pozicije. Prijammnik vrši različite proračune kako bi odabrao najbolje rješenje koje će mu dati najpreciznija i najpouzdanija mjerenja te na osnovu toga prikazuje poziciju korisniku te ako jedan sustav kao u ovom slučaju Galileo ima problema sa davanjem pozicije prijammnik ga automatski isključuje iz uporabe.

Literatura

- [1] D. Novak, Zrakoplovna računska navigacija, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2012.
- [2] »What is GNSS,« 29 08 2017. [Mrežno]. Available: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>. [Pokušaj pristupa 26 06 2019].
- [3] »GPS space segment,« [Mrežno]. Available: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Space_Segment. [Pokušaj pristupa 26 06 2019].
- [4] Y. Gao, »Military and civil GPS,« [Mrežno]. Available: <https://www.quora.com/Is-there-any-difference-between-the-military-s-GPS-data-and-civilians-in-terms-of-accuracy>. [Pokušaj pristupa 27 06 2019].
- [5] »GPS ground segment,« [Mrežno]. Available: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Ground_Segment. [Pokušaj pristupa 26 06 2019].
- [6] »GLONASS Space Segment,« [Mrežno]. Available: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_Space_Segment. [Pokušaj pristupa 27 06 2019].
- [7] »GLONASS Ground Segment,« [Mrežno]. Available: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_Ground_Segment. [Pokušaj pristupa 27 06 2019].
- [8] »Galileo general info,« [Mrežno]. Available: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_General_Introduction. [Pokušaj pristupa 13 07 2019].
- [9] »Galileo space segment,« [Mrežno]. Available: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Space_Segment. [Pokušaj pristupa 13 07 2019].
- [10] »Galileo,« [Mrežno]. Available: <https://galileognss.eu/>. [Pokušaj pristupa 28 06 2019].
- [11] »RINEX format,« [Mrežno]. Available: <http://www.gisresources.com/rinex-receiver-independent-exchange-format/>. [Pokušaj pristupa 13 07 2019].
- [12] A. S. a. M. T.A, »GPS Zenith Path Delay,« [Mrežno]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/ef88/fc9058f9dd4263d345b92ee864272b587ca2.pdf>. [Pokušaj pristupa 13 07 2019].
- [13] T. Takasu, »RTKlib manual,« 29 04 2013. [Mrežno]. Available: http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf. [Pokušaj pristupa 19 07 2019].

- [14] »IGS database,« [Mrežno]. Available: <ftp://igs.bkg.bund.de/IGS>. [Pokušaj pristupa 29 07 2019].
- [15] »Galileo initial services restored,« Galileo GNSS, 19 07 2019. [Mrežno]. Available: <https://galileognss.eu/temporary-interruption-of-galileo-initial-navigation-and-timing-services/>. [Pokušaj pristupa 29 07 2019].
- [16] »Kalmanov filter,« [Mrežno]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Kalman_filter. [Pokušaj pristupa 07 08 2019].

Popis kratica

GNSS	Globalni navigacijski satelitski sustav
GPS	Global Positioning System
GLONASS	Global Navigation Satellite System
MSC	Master control station
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
BINEX	Binary Exchange Format
PPP	Precise point positioning
IGS	International GNSS service
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol

Popis slika

Slika 1. Zrakoplovna navigacija.....	2
Slika 2. Pozicija satelita	4
Slika 3. Lokacija GPS zemaljskog segmenta	5
Slika 4. Izgled navigacijskog uređaja u zrakoplovu.....	6
Slika 5. Orbite GLONASS satelita.....	7
Slika 6. GLONASS Zemaljski segment.....	8
Slika 7. Stanica za lasersko mjerenje udaljenosti.....	8
Slika 8. Usporedba orbita sva tri GNSS sustava	9
Slika 9. Zemaljski segment Galileo.....	10
Slika 10. Struktura RINEX datoteke	12
Slika 11. Primjer spremljene RINEX datoteke	12
Slika 12. Primjer RINEX zapisa	13
Slika 13. Sučelje programa RTKlib sa svim njegovim funkcijama	15
Slika 14. RTKnavi i njegove funkcije.....	15
Slika 15. RTKpost.....	16
Slika 16. Prikaz podataka iz RTKpost-a u RTKplot-u.....	16
Slika 17. RTKconv.....	17
Slika 18. RTKplot	17
Slika 19. Google Earth i Google Maps tipke	18
Slika 20. RTKget.....	18
Slika 21. NTRIP Browser.....	18
Slika 22. Bazna stanica u Bolzanu	19
Slika 23. Sučelje aplikacije GEO++ RINEX Logger.....	20
Slika 24. Početna stranica rinex ON programa	21
Slika 25. Postavke mjerenja	21
Slika 26. Usporedba korištenja navigacijski podataka s mobitela i bazne stanice.....	22
Slika 27. IGS baza podataka [14]	23
Slika 28. Pozicija mjerenja na karti.....	24
Slika 29. Pozicija mjerenja.....	25
Slika 30. Pozicija mjerenja na karti.....	25
Slika 31. Ruta	26
Slika 32. Obrada podataka.....	27
Slika 33. Dostupnost satelita	28
Slika 34. Dostupnost satelita tijekom mjerenja.....	29
Slika 35. Usporedba sva tri sustava.....	30
Slika 36. Radijus rasipanja mjerenja	31
Slika 37. Prosječan broj vidljivih satelita.....	32
Slika 38. Usporedba GPS, GLONASS i Galileo sustava.....	33
Slika 39. Najveće odstupanje	35
Slika 40. Broj vidljivih satelita u 12 od 30 min mjerenja.....	35
Slika 41. Usporedba GPS, GLONASS i Galileo sustava u RTKplot.....	37
Slika 42. GPS početna točka rute	37
Slika 43. Prva trećina puta.....	38
Slika 44. Prolazak kroz gušće naseljeno područje	38
Slika 45. Ponovni prolazak kroz otvoreno područje	39

Slika 46. Prolazak kroz gusto naseljeno područje	39
Slika 47. Dolazak na krajnju točku rute	40
Slika 48. Brzina kretanja	40
Slika 49. Varijacija visine	41
Slika 50. Broj vidljivih satelita.....	41
Slika 51. Područje s najvećim odstupanjima u točnosti	42
Slika 52. Elevacijska maska na 10° i 15°	42
Slika 53. Početna točka rute GLONASS sustava	43
Slika 54. Usporedba GLONASS i GPS sustava.....	43
Slika 55. Usporedba prolaska kroz naseljeno i otvoreno područje	44
Slika 56. Najveće odstupanje GLONASS sustava	44
Slika 57. Brzina kretanja izmjerena GLONASS sustavom.....	45
Slika 58. Varijacije visine izmjerene GLONASS sustavom	45
Slika 59. Broj vidljivih GLONASS satelita	46
Slika 60. Prikaz mjerenja Galileo sustava	46
Slika 61. Početna/krajnja točka rute izmjerena Galileo sustavom	47
Slika 62. Prolaz kroz naseljeno i otvoreno područje	47
Slika 63. Najveće odstupanje Galileo sustava.....	48
Slika 64. Varijacija visine	48
Slika 65. Broj vidljivih satelita.....	49

Popis tablica

Tablica 1. GPS sateliti [3].....	5
Tablica 2. GLONASS sateliti [6]	7
Tablica 3. Najčešće korištena zadnja slova RINEX datoteke [11].....	13
Tablica 4. RMS i STD na otvorenom području	32
Tablica 5. RMS i STD u "urbanom kanjonu"	36
Tablica 6. Postotak povećanja odstupanja točnosti između otvorenog područja i urbanog kanjona	36



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih
znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.


Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada

pod naslovom **Usporedba performansi Galileo, GLONASS i GPS sustava**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, _____ 31.8.2019 _____

Student/ica:



(potpis)

