

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEODETSKI FAKULTET

Zavod za geomatiku

Katedra za satelitsku geodeziju

Kolegij: INTEGRIRANI SUSTAVI U GEOMATICI

Ak.god.:2024./2025.

ISPITIVANJE UTJECAJA INTERFERENCIJE GNSS SIGNALA NA OBILAZNICI GRADA ZAGREBA

Seminarski rad



Izradile: Matea Paladin, Leonarda Škibola

Zagreb, siječanj 2025.

SADRŽAJ

1. Uvod i opis zadatka	4
2. Interferencija GNSS signala; Multipath, jamming, spoofing.....	5
3. Područje izmjere i planiranje opažanja	6
4. Mjerna oprema, organizacija terenskog mjerenja i izvođenje opažanja	8
5. Obrada opažanja u RTK LIB (PLOT) i Trimble Business Center (TBC)	10
5.1. RTK LIB (Plot)	10
5.2. Trimble Business Centre (TBC).....	16
6. Rezultati	19
7. Diskusija.....	22
8. Zaključak.....	26
9. Popis korištene literature i izvora.....	27

SAŽETAK

Određivanje položaja na Zemljinom geoidu predstavlja složen zadatak koji se, zahvaljujući napretku tehnologije, svodi na nekoliko jednostavnijih koraka. Više od stotinu satelita koji trenutno orbitiraju oko Zemlje imaju zadatak pružiti precizne informacije o položaju prijammnika na površini. Tehnološki izazovi su brojni, no napretkom tehnologije napredovali su i njezini saboteri. Signal satelita opterećen je raznim interferencijama koje ga slabe. Od visoko reflektivnih površina u urbanim sredinama do namjernog ometanja raznih ometača, pa čak i slanje lažnih signala u svrhu sabotaže, sigurnost i preciznost GNSS signala često su ugroženi.

Tema ovog rada je istraživanje utjecaja interferencije GNSS signala na točnost mjerenja i identifikaciju tih smetnji. Kao dio istraživanja provedeno je mjerenje u blizini zagrebačke zaobilaznice, područja s visokom koncentracijom prometa. Podaci su obrađeni u softverskim programima RTK LIB i *Trimble Business Center*, te su pronađeni intervali u kojima se sumnja na prisustvo ometača. Ti su intervali prikazani i opisani. Cilj seminara je istražiti moguće izvore interferencija i razumjeti njihov utjecaj, kako bi se omogućilo učinkovito upravljanje GNSS tehnologijama te osigurali točni i pouzdani rezultati.

KLJUČNE RIJEČI: GNSS, interferencija, jamming, multipath, spoofing, Signal-to-Noise Ratio, RTK LIB, Trimble Business Center

1. UVOD I OPIS ZADATKA

U sklopu kolegija Integrirani sustavi u geomatici potrebno je odraditi projekt koji se bavi proučavanjem uzroka i posljedica interferencije GNSS signala u urbanim sredinama.

Suvremeni GNSS sustavi predstavljaju ključnu tehnologiju u geodeziji, pružajući precizne informacije o položaju i navigaciji. Međutim, u urbanim sredinama, složeno okruženje prepun visokih zgrada i infrastrukture može izazvati značajne smetnje u prijemu GNSS signala. Jedan od posebno izazovnih aspekata su namjerni ili slučajni izvori interferencije, poput ometača signala (*jammer* uređaja), koji mogu ozbiljno narušiti preciznost i pouzdanost GNSS podataka.

Ovaj projekt bavi se analizom uzroka i posljedica interferencije GNSS signala, s posebnim fokusom na utjecaj ometača signala kamiona. Kako bi se utvrdio opseg i značaj tih interferencija, projektno mjerenje provedeno je u blizini prometne obilaznice, gdje je postojala povećana vjerojatnost za detekciju takvih signala. Nakon prikupljanja podataka, oni su obrađeni u softverskim alatima *Trimble Business Center* (TBC) i RTK LIB, što je omogućilo njihovu detaljnu analizu. Kroz rad s prikupljenim podacima, njihovu analizu i usporedbu rezultata, došli smo do zaključaka o utjecaju interferencije na kvalitetu i preciznost GNSS sustava.

Tijekom istraživanja promatrano je više situacija kako bi se utvrdilo koliko interferencija utječe na rezultate mjerenja. Obradom podataka i analizom rezultata, došli smo do zaključaka koji ukazuju na važnost razumijevanja i upravljanja ovim izazovima u praktičnoj primjeni GNSS tehnologija.

U idućem poglavlju detaljnije ćemo se upoznati s pojmom interferencije GNSS signala, vrstama interferencija te njihovim specifičnim utjecajem na preciznost i kvalitetu podataka.

2. INTERFERENCIJA GNSS SIGNALA; MULTIPATH, JAMMING, SPOOFING

Interferencija GNSS signala može se podijeliti na različite vrste, od kojih su najčešće *multipath*, *jamming* i *spoofing*. Svaka od ovih pojava može značajno utjecati na preciznost mjerenja i kvalitetu podataka GNSS sustava.

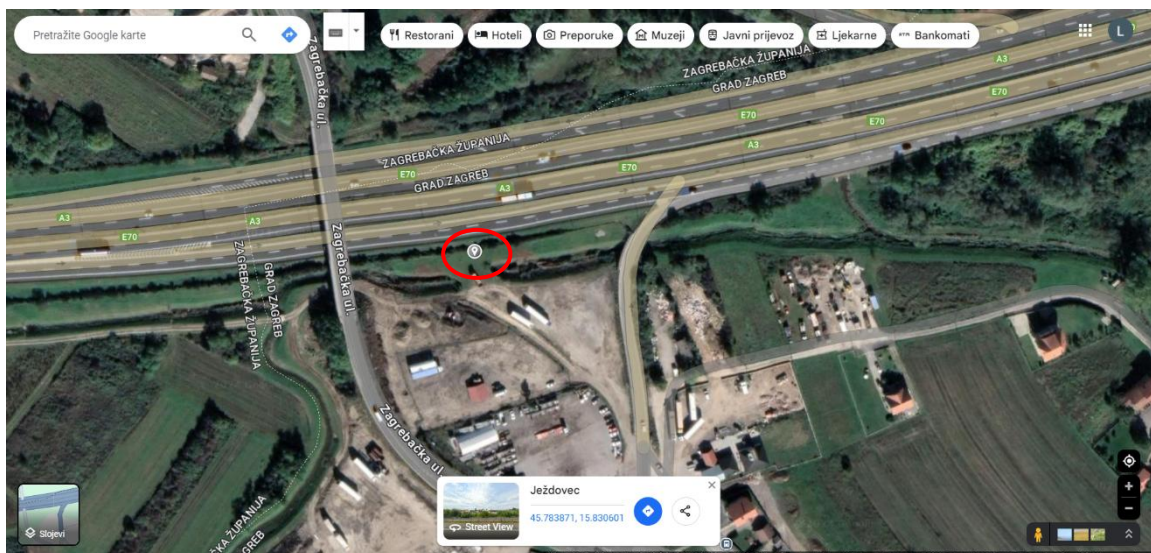
- *Multipath* nastaje kada GNSS signal, prije nego što stigne do prijemnika, biva reflektiran od površina poput zgrada, tla ili vode. To dovodi do prijema izravnog i reflektiranog signala, čime se povećava greška u mjerenju. Ova vrsta interferencije posebno je izražena u urbanim sredinama zbog prisutnosti visoke infrastrukture i složenih refleksijskih površina.
- *Jamming* predstavlja namjerno ili nenamjerno ometanje GNSS signala. *Jammeri*, odnosno ometači signala, su uređaji koji emitiraju radiofrekvencijske signale na frekvencijama GNSS-a s ciljem potpunog onemogućavanja prijema. Ova vrsta interferencije česta je u blizini prometnih pravaca, gdje se koriste za skrivanje položaja vozila, poput kamiona.
- *Spoofing* je složenija vrsta interferencije koja uključuje emitiranje lažnih GNSS signala s ciljem obmane prijemnika. *Spoofing* može rezultirati pogrešnim određivanjem položaja, čime se narušava pouzdanost mjerenja.

Kako bi se detektirale interferencije, koriste se analize *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) i *multipath* vrijednosti. SNR predstavlja omjer između željenog GNSS signala i razine šuma, pri čemu niže SNR vrijednosti ukazuju na povećanu prisutnost interferencija ili *multipath-a*. *Multipath* vrijednosti dodatno ilustriraju odstupanja signala uzrokovana refleksijama, omogućujući preciznu lokalizaciju područja zahvaćenih smetnjama (URL 1).

Ove mjere omogućuju detaljniju analizu i identifikaciju područja gdje je interferencija najizraženija, što je ključno za razumijevanje i ublažavanje njenog utjecaja na GNSS podatke. U daljnjoj analizi rada istražuju se konkretne situacije u kojima su ove vrijednosti korištene za detekciju i kvantifikaciju interferencija.

3. PODRUČJE IZMJERE I PLANIRANJE OPAŽANJA

Za izvedbu terenskog mjerenja potrebno je definirati mjesto obavljanja mjerenja. U projektu je zadano da se opažanje treba izvršavati u blizini prometne obilaznice. U obzir se uzelo Odmorište Zagreb, no proučavanjem lokacije vidjelo se kako se na toj lokaciji izvode radovi te je bilo potrebno odabrati drugu primjereniju lokaciju. Prvi izlazak na teren dogodio se 20.11.2024. kada je profesor Bačić odveo izvoditeljice projekta na uviđaj nove moguće lokacije. Uviđao se nadvožnjak Zagrebačke ulice iznad A3, odnosno E70 ceste. Nakon obavljenog uviđanja, prilikom povrata na A3 autocestu uvidjela se bolja i sigurnija lokacija za izvođenje mjerenja. Opažanje se vršilo na zelenoj površini pored ceste A3, odnosno E70. Točna lokacija vidljiva je na slici 3.1. ispod.



Slika 3.1. - Prikaz područja mjerenja preuzet sa Google maps-a (URL 2)

Nakon odabira lokacije, odabran je i termin izvođenja mjerenja. U 12h dana 26.11.2024. preuzet je instrumentariji iz privremene zgrade fakulteta u Savskoj 144 A te je profesor Bačić ponovno odveo izvoditeljice projekta na lokaciju mjerenja. Preuzet je instrumentariji koji obuhvaća stativ, podnožnu ploču sa adapterom, prsluke i uređaj Topcon Hiper SR s kontrolerom FC 5000.

Vrijeme na dan izvođenja mjerenja je bilo vrlo pogodno, sunce i bez vjetra (slika 3.2.). Za postavljanje instrumenta korištene su upute za rad s GNSS prijamnikom Topcon Hiper-SR i kontrolerom FC-5000 asistenta Nevistić.



Slika 3.2. – Slika postavljenog instrumenta na terenu

Referentna točka je CORS RGNF (CORS = *Continuously Operating Reference Station*), prethodno se nalazila na zgradi Geodetskog fakulteta u ulici Kačićeva 26 pod nazivom ZAGR. Zbog obnavljanja zgrade točka se prebacila na zgradu Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta na adresi Pierottijeva 6.

4. MJERNA OPREMA, ORGANIZACIJA TERENSKOG MJERENJA I IZVOĐENJE OPAŽANJA

U kreiranoj grupi za projektni zadatak nalaze se studentice Matea Paladin i Leonarda Škibola. Za mjerenje je korišten uređaj Topcon Hiper SR sa kontrolerom FC-5000. Na slici 4.1. vidljiv je korišten instrumentarij.



Slika 4.1. – Topcon Hiper SR sa kontrolerom FC-5000

Tablica 2.- Tehničke specifikacije Topcon Hiper-SR (URL 2)

VELIČINA	150 x 150 x 64 mm
TEŽINA	850 g sama antena, sa svime teži 925g
INTERNA MEMORIJA	4 GM
TEMPERATURNI RASPON	Operativna temperature: -20°C do +65°C Temperatura skladištenja: -40°C do +65°C
INTERVAL POHRANJIVANJA	Svakih 10 sekundi
TRAJANJE BATERIJE	interna baterija: trajanje do 20 sati
KOMUNIKACIJA	300 m
ANTENA	Fence antena
PRAĆENJE	226 kanala, omogućuje istovremeno praćenje do 112 satelita
TOČNOST	Horizontalna 10mm + 1ppm Vertikalna 15mm + 1ppm

Nakon dolaska na teren pronašlo se stabilno mjesto za postavljanje uređaja. Nakon postavljanja stativa, podnožne ploče i uređaja, kreće se sa uključivanjem kontrolera te se dalje slijede upute za rad sa uređajem.

Pomoću sučelja instrumenta kreiran je novi posao (*job*) u kojima su se pohranjivali podaci. Odabran je korišten tip uređaja GPS pod načinom rada SATPOZ-FS, nakon toga se kontrolor trebao spojiti putem *bluetooth-a* pomoću S/N broja.

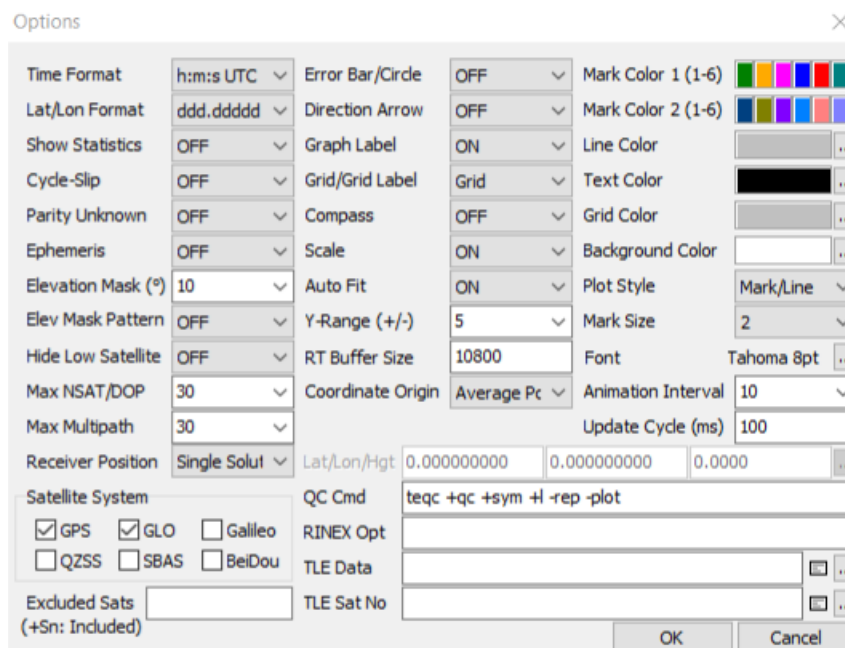
U poslovima upisani su podaci ime datoteke, odnosno prezime opažača i oznaka točke. U načinu rada već su zadane karakteristike posla poput elevacijske maske koja iznosi 10° i interval pohranjivanja od 10 sekundi. Nakon kreiranja poslova, pokrenuto je mjerenje koje je započelo u 13:00h i zaustavljeno je 15:36h. Završetkom mjerenja, završila je i terenska izmjera, nakon čega se instrumenti pravilno vraćaju u svoje kutije.

5. OBRADA OPAŽANJA U RTK LIB (PLOT) I TRIMBLE BUSINESS CENTER (TBC)

Nakon terenskog dijela prikupljeni podaci preneseni su na računalo. Izvršena je obrada podataka, optimiranje te proučavanje mjerenja u odgovarajućim softverima. Za potrebe ovog projekta koristio se softver RTK LIB (Plot) i TBC (*Trimble Business Center 5.00*). Dobiveni podatci iz uređaja Topcon nalaze se u .tps formatu koji nije kompatibilan sa softverima. Konverziju iz Topcon .tps datoteke u RINEX 4.0 format .24O i .24P datoteke obavio je asistent Nevistić. Datoteka .24O označava *observation*, odnosno opažanje, a .24P *position*, odnosno navigacijska datoteka. Detaljan uvid u svaku stavku RINEX formata moguće je pronaći na stranici *Observation RINEX 4.0 Format* (URL 4). Uz mjerene podatke dobiveni su i CROPOS podatci za RGNF referentnu točku u obliku .t02 datoteke. Dobivene su i vrijednosti RGNF točke izmjerene tijekom izvođenja mjerenja.

5.1. RTK LIB (Plot)

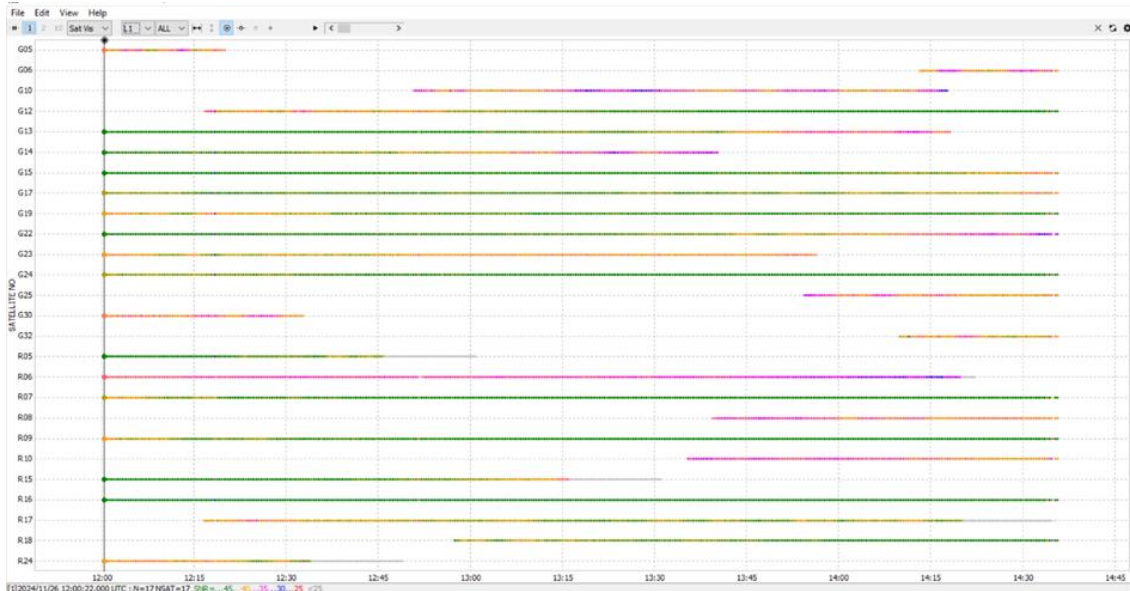
RTK LIB je besplatni softver otvorenog tipa koji služi za prikaz sirovih opažanja. Preuzet je softver RTK LIB (Plot) u koji su se ubacili sirovi konvertirani RINEX podatci opažanja. Pod *Options* postavlja se elevacijska maska od 10° i uključuju se GLONASS i GPS sateliti (slika 5.1.1.). Softver prikazuje podatke u UTC vremenskoj skali.



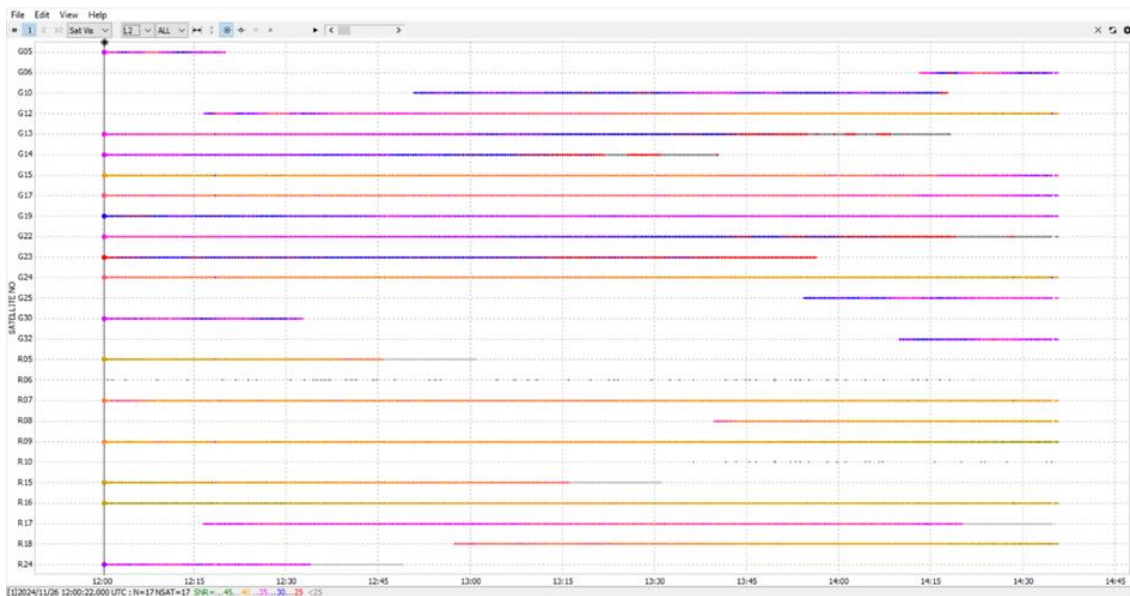
Slika 5.1.1. – Postavljene options u RTK LIB (Plot)

U softveru moguće je dobiti sljedeće prikaze:

1. **Sat Vis** - vidljivosti satelita u razdoblju mjerenja, boje označavaju razinu SNR vrijednosti svakog vidljivog satelita

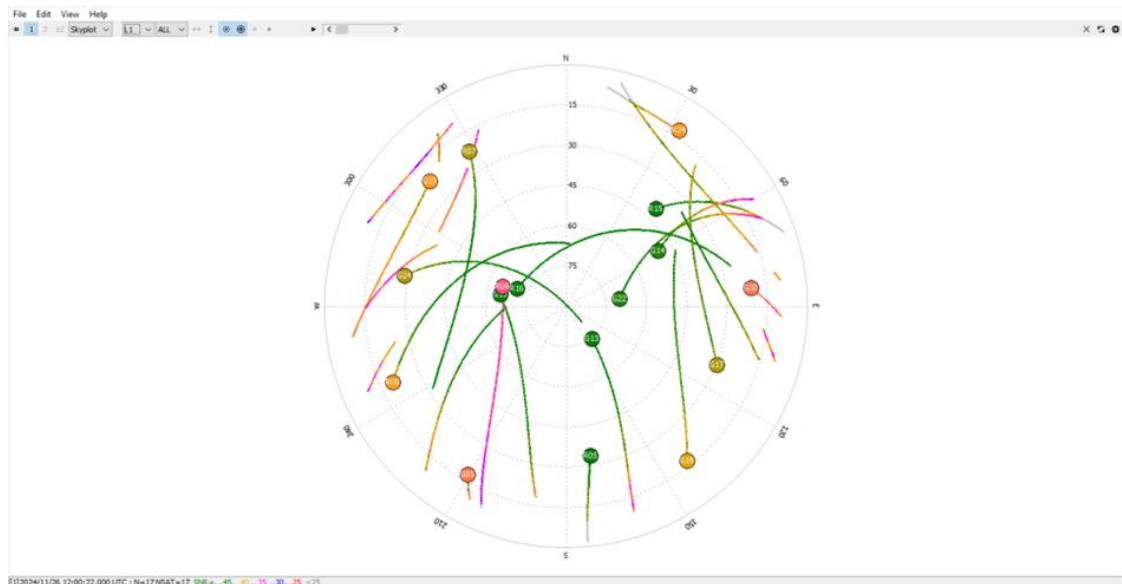


Slika 5.1.2. – Prikaz vidljivosti satelita (frekvencija L1)

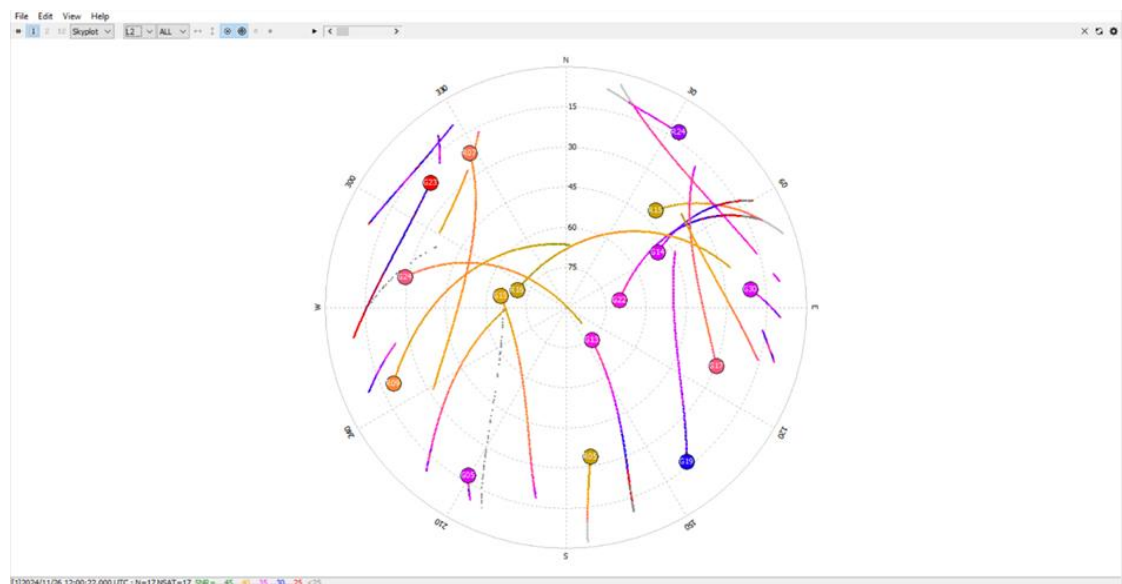


Slika 5.1.3. - Prikaz vidljivosti satelita (frekvencija L2)

2. **Skyplot** - prikaz gibanja satelita po nebeskoj sferi iznad zadanog stajališta, gdje se vrijednosti na kružnici od 0° do 360° odnose na azimut, a vrijednosti od 0° do 90° na polumjeru se odnose na elevaciju satelita. Boje prikazuju SNR vrijednosti.

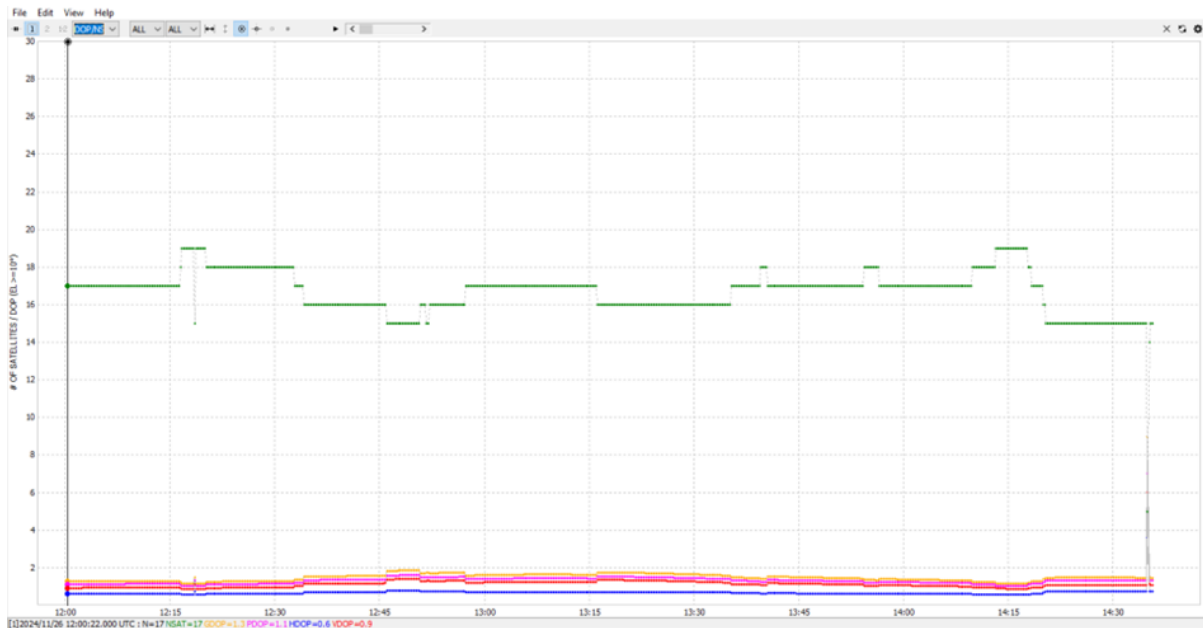


Slika 5.1.4. – Skyplot u RTK LIB Plot (frekvencija L1)



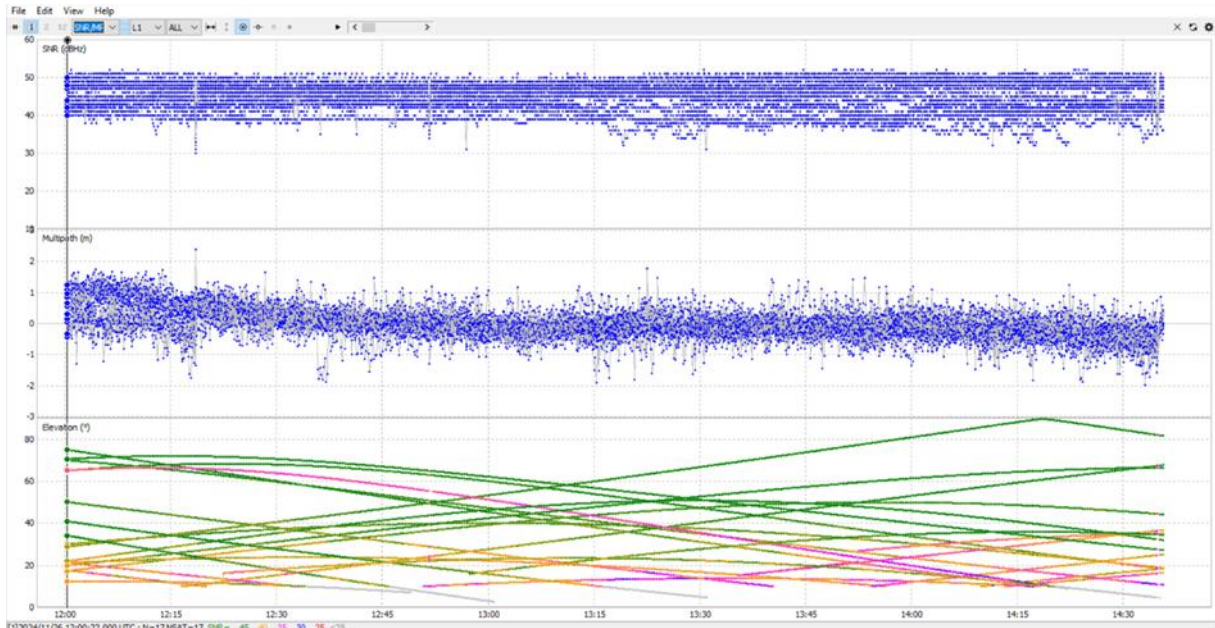
Slika 5.1.5. – Skyplot u RTK LIB Plot (frekvencija L2)

3. **DOP/Nsat** - podaci o DOP-u (DOP = *Dilution of Precision*, faktor vezan za trenutnačnu geometriju satelita) i broju vidljivih satelita kroz mjerenje. Obrnuto je proporcionalan volumenu tijela omeđenog pravcima točka opažanja – satelit. Geometrija satelita je bolja ako je volumen veći, odnosno DOP manji (URL 5). Razlikuje se više vrsta DOP vrijednosti. GDOP prikazuje, PDOP (*Position Dilution of Precision*), HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*) i VDOP (*Vertical Dilution of Precision*). Zelena linija prikazuje broj vidljivih satelita, a ostale linije u boji određene vrste DOP-a.

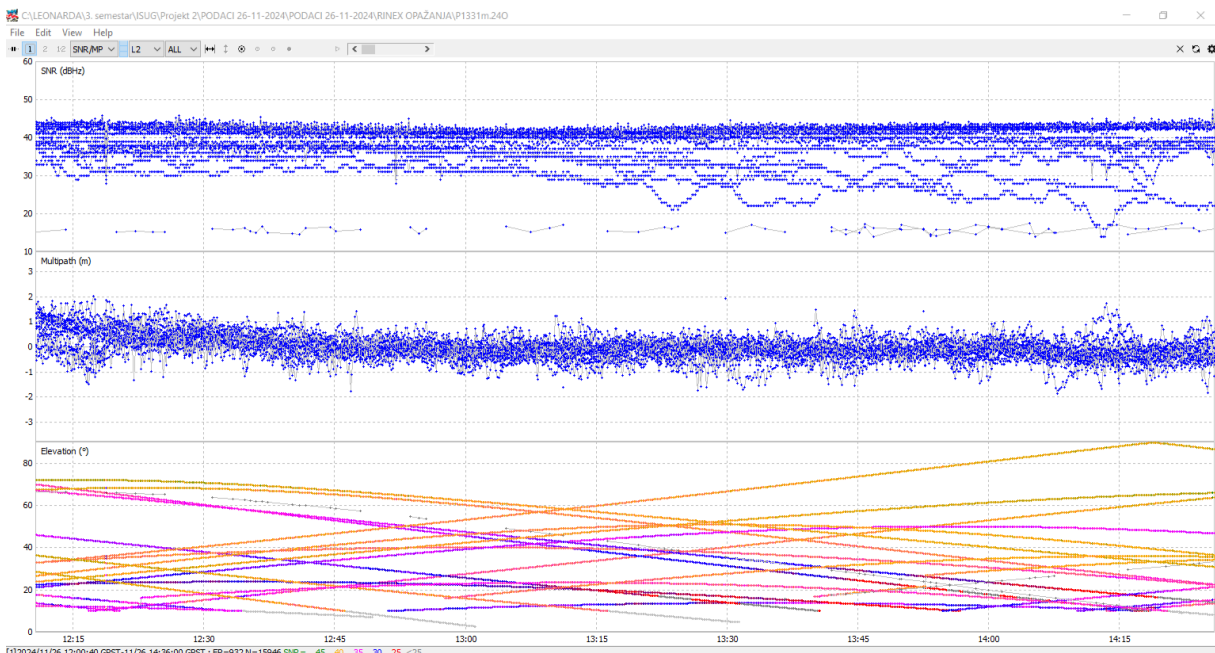


Slika 5.1.6. – DOP/Nsat graf u RTK LIB Plot

4. **SNR/MP/EL** - *Signal to Noise Ratio* (odnos signala i šuma) uspoređuje razinu željenog signala s razinom pozadinskog šuma. Viši omjer znači jasniji signal bez smetnji. Ova mjera ključna je za preciznost i pouzdanost GNSS/GPS sustava. *Multipath* nastaje kada GNSS/GPS signal, prije nego što stigne do antene, biva reflektiran od površina poput zgrada, tla ili vode. To uzrokuje prijem izravnog i reflektiranog signala, što može smanjiti točnost mjerenja i kvalitetu signala (URL 6). Elevacija satelita označava kut između horizonta i linije prema satelitu. Prvi graf prikazuje SNR vrijednosti u mjernoj jedinici dBHz, drugi *Multipath* vrijednosti u metrima i treći elevacije satelita u stupnjevima.

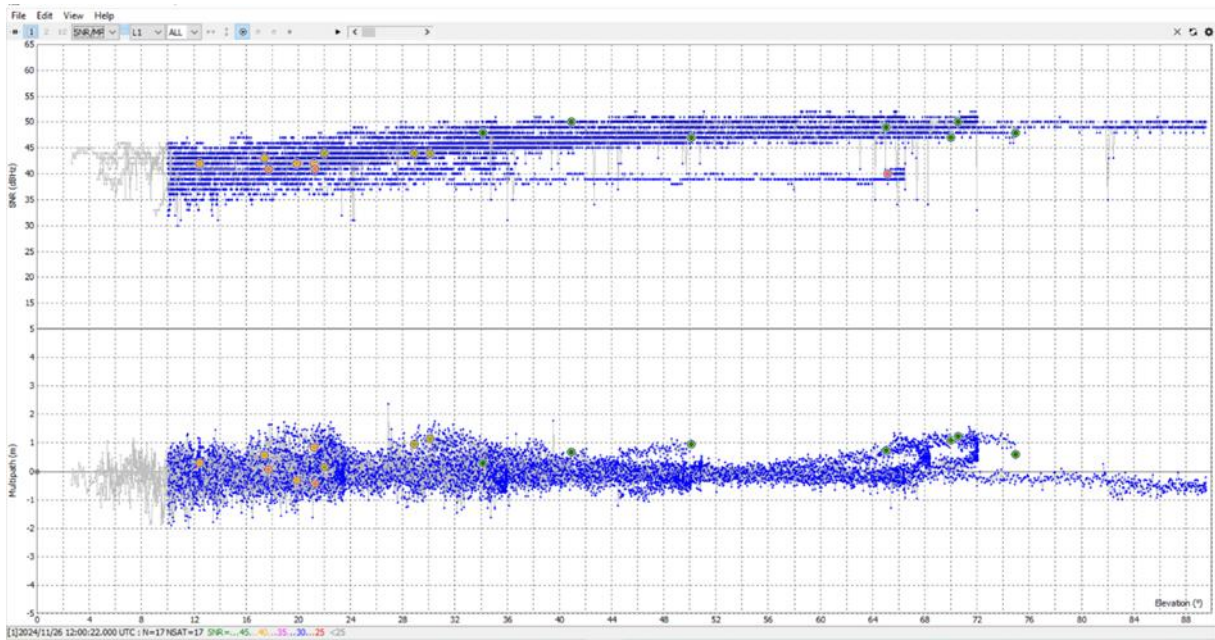


Slika 5.1.7. – SNR/MP/EL graf u RTK LIB Plot

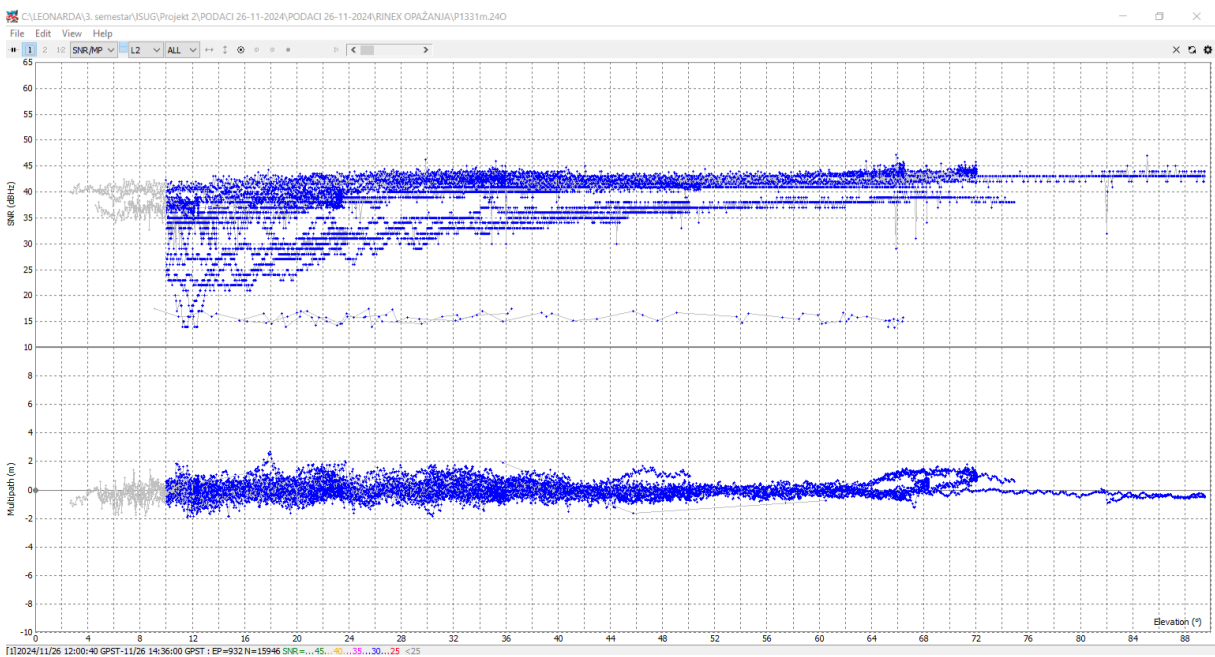


Slika 5.1.8. - SNR/MP/EL graf u RTK LIB Plot (Frekvencija L1)

5. **SNR/MP-EL** – Prikaz istih vrijednosti kao i u SNR/MP/EL, no elevacija je vidljiva u donjem desnom kutu u obliku stupnjeva. SNR vrijednosti prikazane su u dBHz mjernoj jedinici, a *Multipath* u metrima.

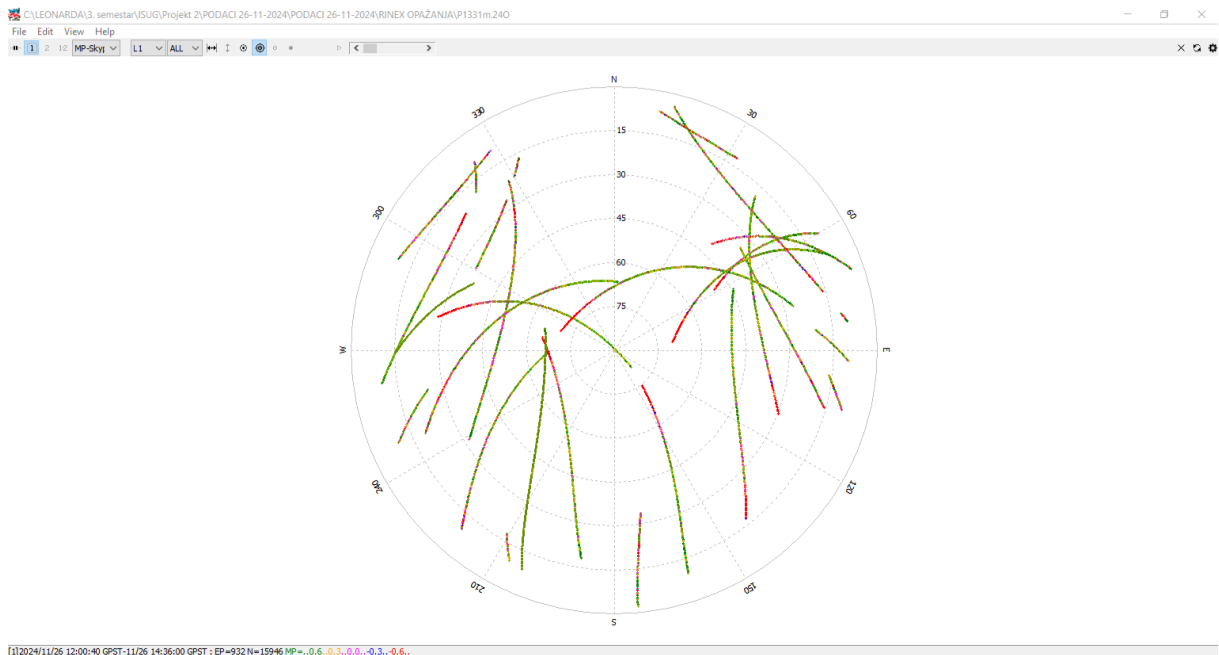


Slika 5.1.8. – SNR/MP-EL graf u RTK LIB Plot (frekvencija L1)



Slika 5.1.10. - SNR/MP-EL graf u RTK LIB Plot (frekvencija L2)

6. **MP-Skyplot** - prikaz vidljivih satelita na nebu iznad mjerene točke. Sličan prikaz kao Skyplot, no ovdje boje prikazuju *Multipath* vrijednosti.



Slika 5.1.9. – MP-Skyplot u RTK LIB Plot

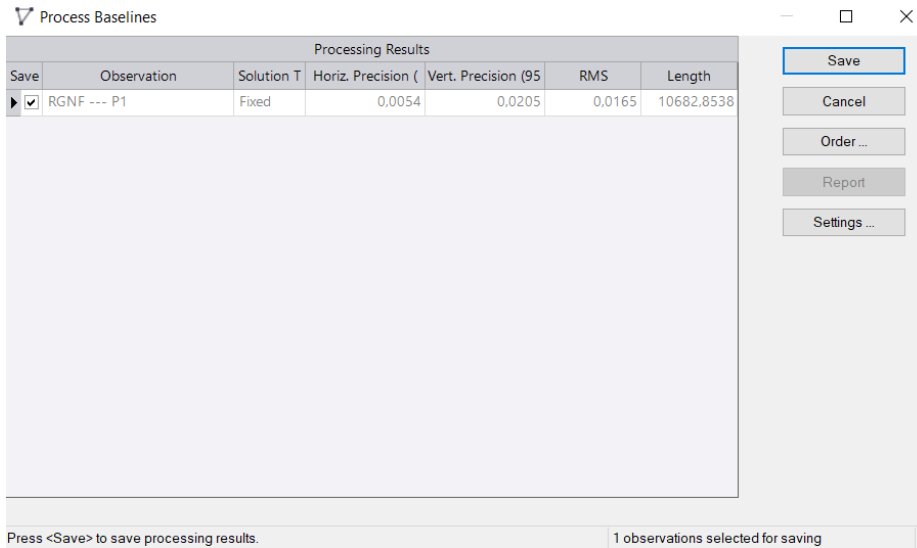
5.2. Trimble Business Centre (TBC)

Nakon pokretanja softvera otvara se novi projekt u kojemu je potrebno postaviti koordinatni sustav za Hrvatsku (HTRS96/TM). Za projekciju se određuje Transverzalna Merkatorova s dodirnim meridijanom $16^{\circ}30'$. Mjerilo preslikavanja iznosi 0.9999. Slijedi definiranje parametara potrebne za projekt. Parametri definirani po projektu su koordinatni sustav, datum transformacije, geoid, projekcija te *Baseline Processing*. Za satelite se odabire GPS i GLONASS i elevacijsku masku 10° .

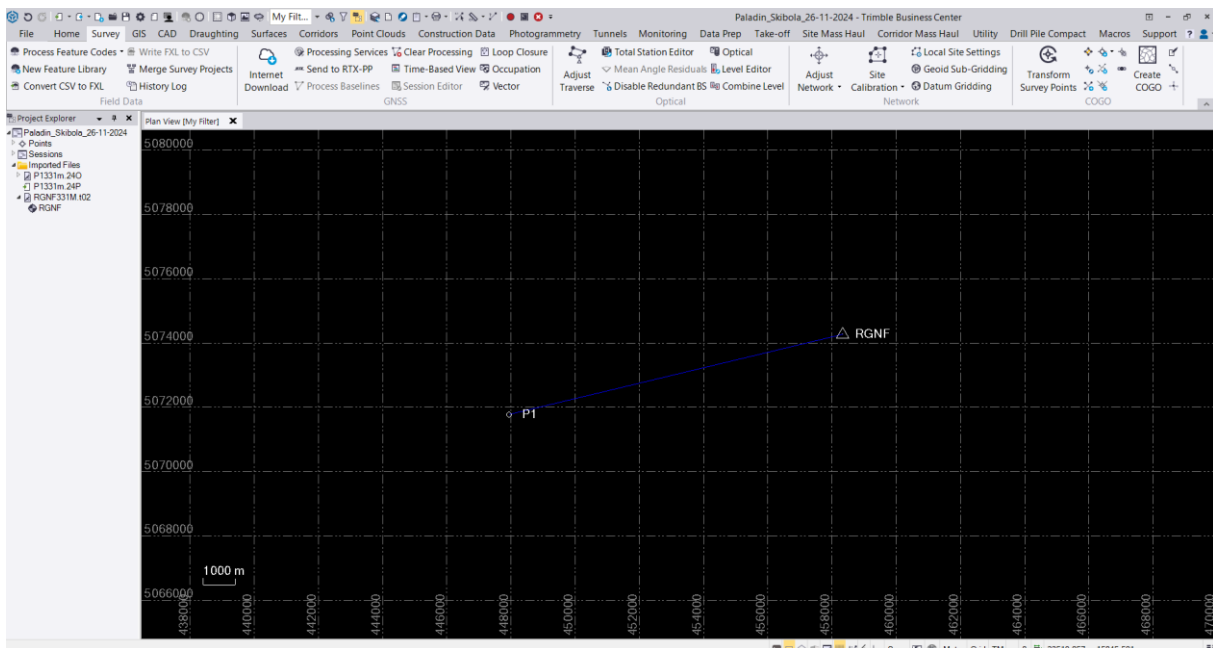
Nakon preuzimanja svih potrebnih podataka, potrebne točke su se ubacile u program. Prvo je postavljena referentna točka RGNF, koja se nalazi u obliku datoteke .t02. Zatim su fiksirane elipsoidne koordinate referentne točke. Nakon toga se u program ubacuje opažana točka P1 formata .240.

Nakon ubacivanja referentne i mjerene točke u program prelazimo na računanje vektora i pokazatelje točnosti (*Solution Type, Horizontal & Vertical precision, RMS*). Pomoću naredbe

Process Baselines dobivamo izračun vektora, odnosno nulti prolaz koji je prikazan u slici 5.2.1. Prilikom računanja vektora nisu se pojavili nikakvi problemi, te se moglo nastaviti sa obradom podataka.



Slika 5.2.1. – Processing Result (tzv. Nulti prolaz)



Slika 5.2.2. – Prikaz procesiranog vektora P1-RGNF

Nakon računanja nultog prolaza, generira se izvješće o računanju baznih linija (*Baseline Processing Report*). Iz izvješća vidljivi su reziduali koji predstavljaju šum mjerenja pojedinog satelita. Reziduali bi trebali biti centrirani oko nule, odnosno njihov iznos je povezan sa šumom mjerenja koja sudjeluju u rješenju vektora.

Iako TBC 5.0 daje optimalno rješenje vektora, moguće je provesti ponovno računanje vektora promjenom elevacijske maske, skraćivanjem prozora računanja i isključivanjem signala (podataka) pojedinog satelit. Provodi se isključivanje signala pojedinog satelita iz računanja nekog vektora (s najvećim RMS, *Hz Precision* i *V Precision*). Isključuju se podaci onog satelita koji pokazuje najveće rezidualne tj. ima najveći šum mjerenja. Također, isključen je i dio podataka satelita koji ima najveći šum. Cijeli postupak je zapisan u *excel* tablicu (tablica 4) iz koje se jasno vidi proces isključivanja satelita i dijelova podataka.

Tablica 4. – Prikaz optimiranja vektora

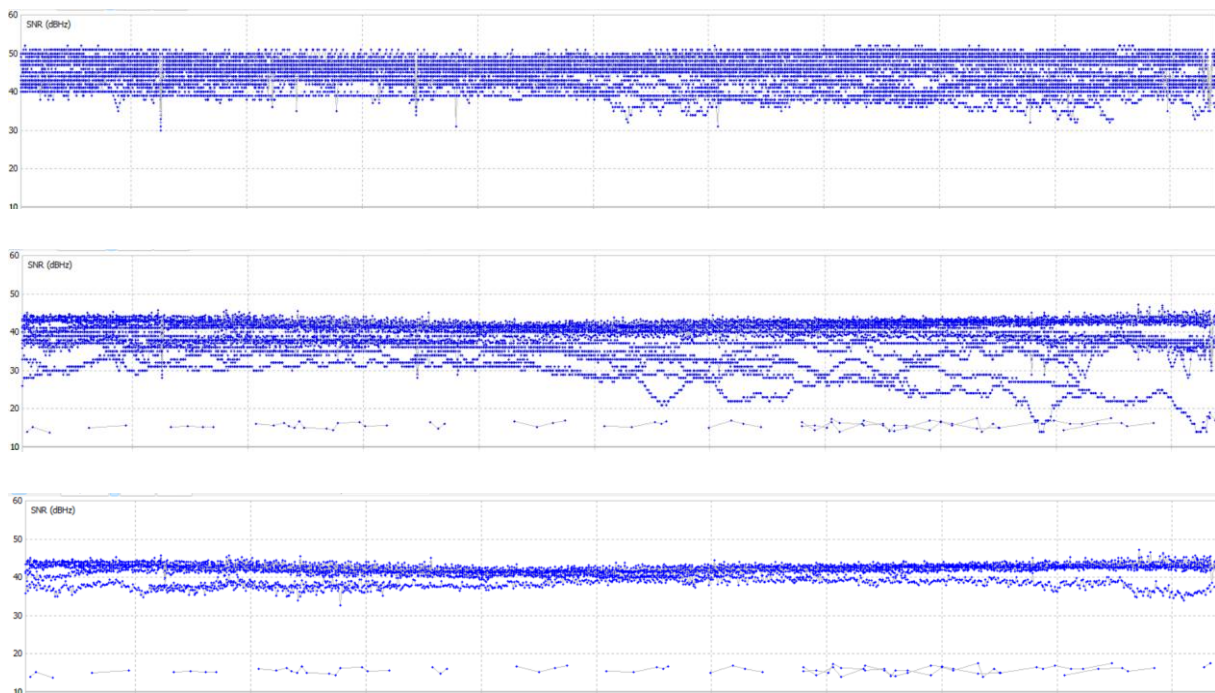
Vektor						
RGNF->P1	Parametri računanja	Solution	H.Precision	V. Precision	RMS	Length
	0. prolaz	FIXED	0,0052	0,0193	0,0172	10.682,85
	ex G2,G11,R14,R19	FIXED	0,0052	0,0193	0,0172	10.682,85
	ex R7, R15, R17	FIXED	0,0057	0,0212	0,0161	10.682,85

Cilj optimiranja je poboljšanje statističkih pokazatelja pojedinog vektora (*Solution Type, Hor. Precision, Vert. Precision, RMS*) i vidjeti poboljšava li taj postupak rezultate.

6. REZULTATI

Mjerenja provedena na terenu, analizirana su i obrađena u već navedenim RTK LIB (Plot) i TBC softverima. Unosom datoteka koje sadrže mjerenja u RTK LIB (Plot) program, dobiveni su grafički prikazi različitih mjerenih vrijednosti, tako su dobiveni grafovi o broju vidljivih satelita, *skyplot*, podaci o DOP-u, *Signal-to-Noise ratio* (SNR), vrijednosti *multipath-a* i elevacija satelita. Navedene komponente su već opisane u petom poglavlju.

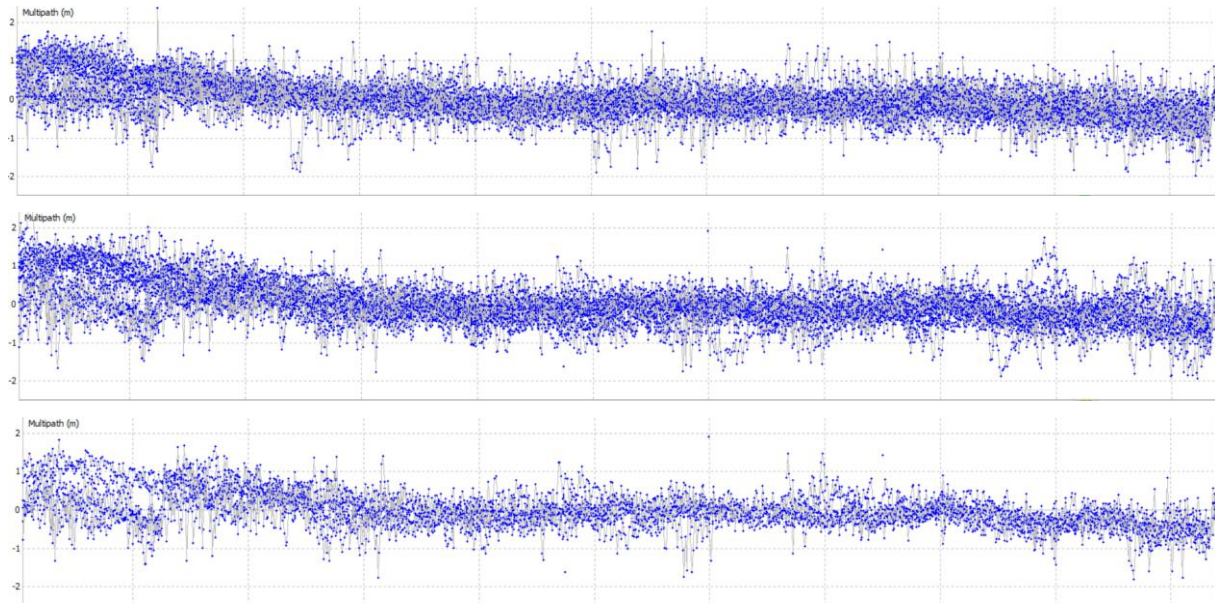
Na slici 6.1. prikazane su vrijednosti SNR-a na tri frekvencije satelita, na L1 i L2 i L2C. Vrijednosti SNR-a variraju s obzirom na frekvenciju, a idealan raspon vrijednosti je od 40 do 50 dBHz.



Slika 6.1. - Usporedba SNR vrijednosti na različitim frekvencijama, slika a) L1, b) L2 i c) L2C

Vrijednosti SNR-a se na frekvenciji L1 uglavnom kreću od 45 do 52 dBHz, s vidljivim ekstremima koji dosežu i do 30 dBHz. Kako je L2C signal optimiziran da smanji interferenciju i šum, vrijednosti njegovog SNR-a su stabilnije od vrijednosti SNR-a na L2 signalu koji doseže i do 20 dBHz. Također, pojavljuje se drastična anomalija SNR-a na satelitu R06 koja varira oko 15 dBHz. Taj satelit pruža nepouzdan signal te se, tokom mjerenja, signal često gubio (isprekidane linije).

Multipath koji se nalazi u obrnuto proporcionalnom odnosu s SNR-om, kada multipath posjeduje veće vrijednosti, povećava se i razina šuma te SNR smanji. Na slici 6.2. nalazi se usporedba multipath vrijednosti mjerenih opažanja na L1 i L2 i L2C frekvencijama satelita.



Slika 6.2. - Usporedba SNR vrijednosti na različitim frekvencijama, slika a) L1, b)L2 i c)L2C

Njegova idealna vrijednost je nula metara, dok se u mjerenim podacima on pojavljuje u intervalu od - 2 pa sve do 2 m. Na frekvenciji L1, multipath u trenutku prelazi i preko 2.2 m. Pozitivne vrijednosti multipatha ukazuju na jači signal s problemima u točnosti, odnosno šumovima, dok negativne nalažu kako je jačina signala slabija. Oba slučaja utječu negativno na preciznost mjerenja.

Obradom podataka mjerenja u kombinaciji sa zadanim podacima CROPOS stanice RGNF-a, dobivene su koordinate položaja mjerenja uz Zagrebačku obilaznicu. Te su koordinate izračunate na nekoliko načina. Koristeći mogućnosti softverskog alata *Trimble Business Center*, opisanog u poglavlju 5.2., izračunate su koordinate stajališta koristeći sve mjerene podatke (tablica 5), odnosno nulti prolaz. Za dobivanje povoljnih rezultata, potrebno je provesti optimiranje vektora koje isključuje signale određenih satelita koji se odrede pomoću izvješća o računanju baznih linija. To izvješće sadržava grafove satelitskih signala za svaki vidljivi satelit iz kojeg se mogu očitati oni s nedovoljnom kvalitetom signala i nepouzdanom količinom šuma. Sateliti koji su isključeni, označeni su na tablici 4 (Prikaz optimiranja vektora). Također, analizom mjerenja, uočeni su kritični intervali u kojima se sumnja na ometače signala, te je

izračunata koordinata točke stajališta koristeći samo signal satelita u kritičnom periodu od 14:26 sati do 14:36 sati (po UTC vremenu). Više o prepoznavanju i izboru kritičnih perioda i anomalija u slijedećem poglavlju. Koordinate točke stajališta nakon optimiranja vektora i u kritičnom periodu mjerenja, u odnosu na koordinate nultog prolaza prikazane su u tablici 5.

Tablica 5. – Usporedba parametara računanja vektora i koordinata točke stajališta

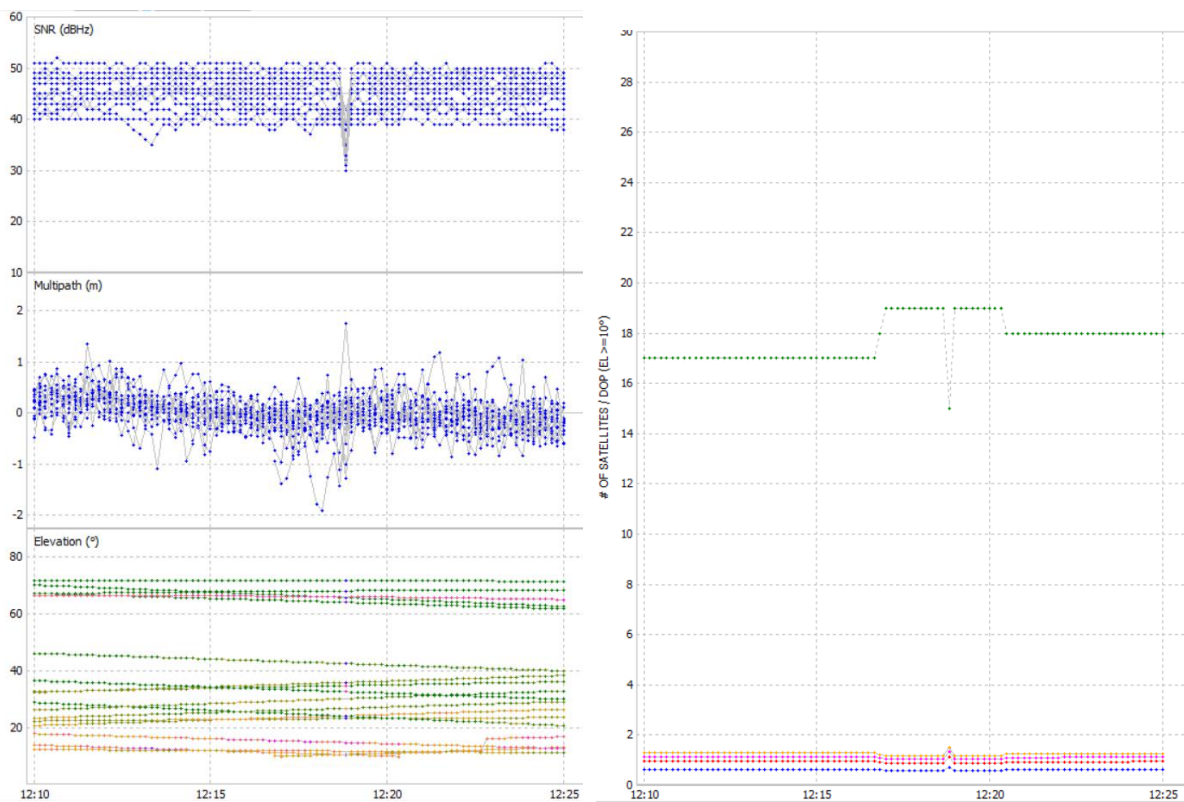
Vektor	Parametri računanja	Solution	H. Precision	V. Precision	RMS	Length (m)	Easting (m)	Northing (m)	Elevation (m)
RGNF >P1	0. prolaz	FIXED	0,0052	0,0193	0,0172	10682,8536	447940,868	5071777,380	125,736
	optimizirani	FIXED	0,0057	0,0212	0,0161	10682,8533	447940,869	5071777,379	125,740
	od 14:26 do 14:36 (kritičan period)	FIXED	0,0260	0,0239	0,0220	10682,8611	447940,861	5071777,379	125,739

U tablici broj 5 prikazana je razlika u preciznosti mjerenja pa i u RMS (*Root mean square* – srednja kvadratna sredina) koja je pokazatelj preciznosti mjerenja. Za očekivati je da koristeći najkritičniji period kao osnovu određivanja koordinata, one imati na najveći RMS, te također da će optimizacija pridonijeti manjem RMS-u odnosno najpreciznijim mjerenjima.

7. DISKUSIJA

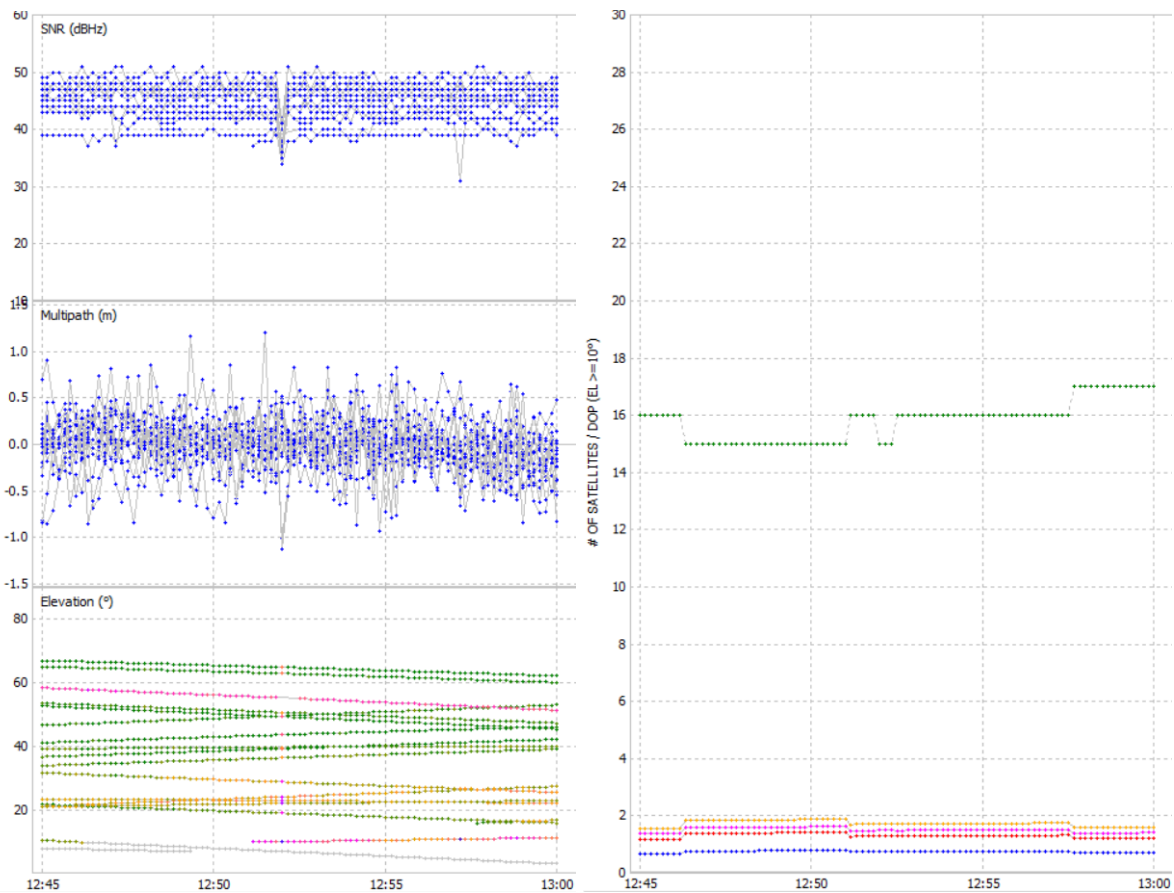
U obradi rezultata, kao glavni cilj projekta, potrebno je uočiti anomalije u GNSS signalu koji se mjerilo, kako bi se prepoznao mogući utjecaj ometača odnosno *jammera*. U mjerenim podacima, analizom grafova u RTK LIB (plot) softveru, identificirana su tri vremenska prozora u kojima se sumnja na prisutnost ometača tijekom mjerenja.

Prvi uočeni poremećaj signala mjeren je u 12:18 sati (po UTC). Na slici 7.1. nalazi se prikaz vremenskog intervala u kojem se sumnja na prisutnost ometača. Niska vrijednost SNR-a nalaže na povećanu prisutnost šuma, što utječe i na povećanu vrijednost *multipath-a*. Također, u tom intervalu, elevacija vidljivih satelita nije idealna, kako većina satelita ima elevaciju manju od 30°. Na desnoj slici stoji graf koji prikazuje broj vidljivih satelita i DOP vrijednosti. U navedenom momentu uočen je pad broja vidljivih satelita s 19 na 15, što je rezultiralo povišenim DOP-om, odnosno geometrijom satelita koji nije pogodan za mjerenje. Karakterističan je i brzi oporavak od drastične promjene u mjerenju. Stoga se u ovom trenutku sumnja na kratkotrajnu prisutnost ometača signala.



Slika 7.1. - Prikaz SNR-a, multipatha i elevacije satelita (lijevo) i prikaz broja vidljivih satelita i DOP-a (desno) na kanalu L1 – prvi segment

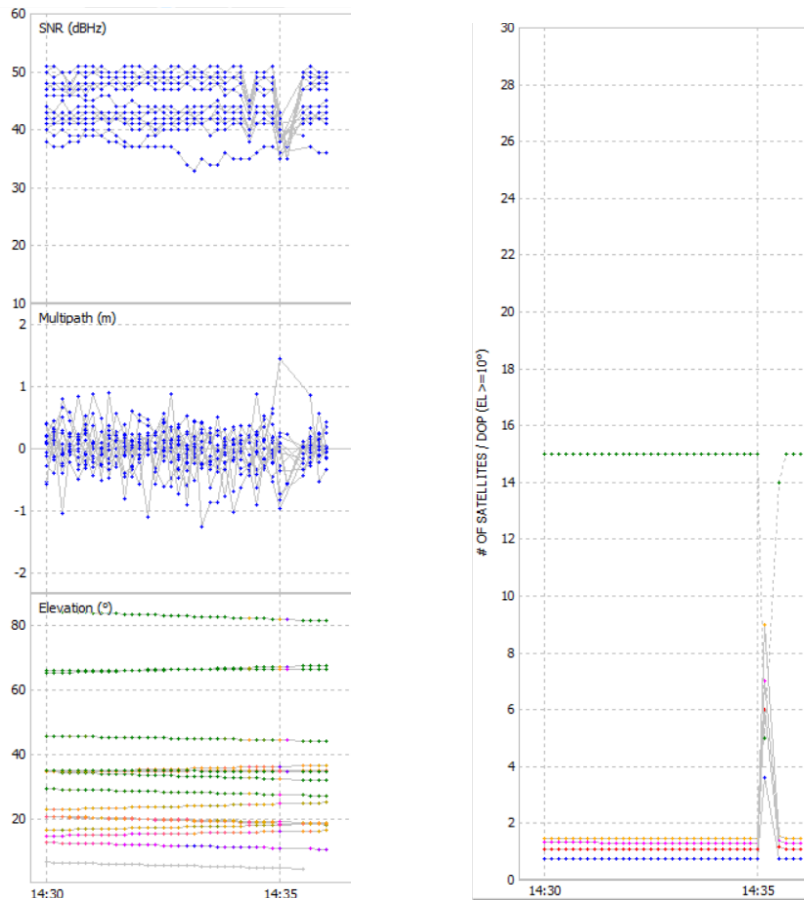
Također, određeni poremećaj je primijećen i u vremenu 12:52 sata (po UTC). Na slici 7.2. prikazan je vremenski period od 12:45 sati do 13:00 sati (UTC vrijeme) u kojem je primijećena promjena. SNR vrijednost svih mjerenih satelita pada i do 35 dBHz, dok se vrijednost *multipath-a* blago povećava, no ne do iste razine kao u prvom slučaju. Razlog tome može biti elevacija satelita, koja je nešto pogodnija nego u prvom primjeru. U ovom se periodu nije drastično smanjio broj vidljivih satelita ili povećala vrijednost DOP-a.



Slika 7.2. Prikaz SNR-a, multipath-a i elevacije satelita (lijevo) i prikaz broja vidljivih satelita i DOP-a (desno) na kanalu L1 – drugi segment

Također je otkriven još jedan trenutak u kojem se poremetio primljeni signal satelita, a to je u 14 sati i 35 minuta (UTC vrijeme). Na slici 7.3. u grafu na vrhu, uočljiv je sinkronizirani pad SNR-a na signalima svih satelita, koji najniže pada na 35 dBHz. U tom se trenutku primjećuje i drastičan porast multipatha koji doseže i do 1,5. Na slici desno, prikazan je graf vidljivosti satelita i vrijednosti DOP-a. U trenutku najniže vrijednosti SNR-a, broj satelita se spustio na pet. Kako je za mjerenje i izračun položaja potrebno barem četiri vidljiva satelita, taj

je trenutak skoro doveo do prekida mjerenja. Sukladno tome, i geometrija satelita (DOP) skočila je u kontinuitetu vrijednosti čime pokazuje kako je mjerenje nepouzđano. Kako se prijam signala u vrlo kratkom vremenu ponovo stabilizirao, sumnja se na prisutnost ometača u tom trenutku.



Slika 7.3. - Prikaz SNR-a, multipatha i elevacije satelita (lijevo) i prikaz broja vidljivih satelita i DOP-a (desno) na kanalu L1 –treći segment

Odgovor na pitanje kako ometanje šuma u ovoj mjeri utječe na razinu točnosti koordinata i njihov iznos, dobiven je primjenom procesa optimiranja vektora u TBC programu. Tablica 5 prikazuje usporedbu parametara i koordinata vektora. U tablici 6. prikazana je usporedba koordinata stajališta dobivena korištenjem svih dostupnih mjerenja (0. prolaz), optimiziranih mjerenja i koordinata dobivenih tijekom trećeg segmenta šuma. Koordinate idealni i nepogodnih mjerenja razlikuju se na milimetarskoj razini, gdje je pogreška mjerenja za E koordinatu 0,008 m, dok za N koordinatu nje nema. U visinskom pogledu, visine se razlikuju za jedan milimetar.

Tablica 6. usporedba koordinata vektora

Vektor	Parametri računanja	E (m)	N (m)	h (m)
RGNF >P1	0. prolaz	447940,868	5071777,380	125,736
	optimizirani	447940,869	5071777,379	125,740
	od 14:26 do 14:36 (kritičan period)	447940,861	5071777,379	125,739

8. ZAKLJUČAK

Koliko zapravo razna ometanja signala satelita (*jamming*, *spoofing* i *multipath*), odnosno interferencija utječe na GNSS mjerenja i određivanje koordinata točke, glavno je pitanje koje se nastojalo odgovoriti u ovom radu. Kako bi se istražio utjecaj različitih ometača na GNSS signal, provedeno je statičko mjerenje u blizini Zagrebačke obilaznice na području Rakitja, gdje je povećana mogućnost prisutnosti ometača, posebice na transportnim vozilima i kamionima. Cilj ovog dvosatnog mjerenja bio je identificirati i analizirati učinke barem jednog takvog ometača.

Obradom GNSS mjerenja na Zagrebačkoj zaobilaznici, identificirana su tri razdoblja (12:18, 12:52 i 14:35, UTC vremena) u kojima se sumnja na prisutnost smetnji, odnosno ometača ili *jammersa* na kamionima. Iako su sateliti u tim trenucima imali povoljan elevacijski položaj iznad 30°, što obično pruža bolju kvalitetu signala, smetnje i multipath efekti su utjecali na *Signal-to-Noise Ratio*. Ti ometači su na točnost mjerenja koordinata utjecali na milimetarskoj razini.

U radu je pretežno analiziran signal na L1 frekvenciji, čiji se SNR većinom nalazi u prihvatljivom intervalu od 40 do 50 dBHZ, dok je na L2 on niži. L1 frekvencija je otpornija na šum, ali ju je potrebno kombinirati s L2 radi povećanje ukupne preciznosti GNSS sustava i uklanjanja ionosferskih pogrešaka. L2C signal, koji je modernija verzija L2, pokazuje veću preciznost, manji utjecaj *multipath-a* i stabilniji SNR od L2 zahvaljujući poboljšanjima koje smanjuju šum i čine otpornost na multipath.

Analiza i obrada mjerenja pokazala je kako interferencije GNSS signala, uključujući ometače i *multipath* efekte, mogu znatno utjecati na kvalitetu i točnost tih mjerenja. Čak i u povoljnim uvjetima, kada su sateliti u prigodnoj elevaciji i pružana je mogućnost snimanja na čistom horizontu. Umanjiti te utjecaje i osigurati visoku razinu preciznosti mjerenja izazovi su suvremene tehnologije. Uključivanjem poboljšanih frekvencija poput L2C signala, mogu se postići kvalitetniji rezultati koji nisu opterećeni interferencijama signala. Kombinacija različitih frekvencija nadopunjuje njihove karakteristike te pruža mogućnost kvalitetnijih mjerenja. Ovaj seminar ukazuje na važnost razumijevanja interferencija koje utječu na GNSS tehnologije. Poznavanje njihovih uzroka i ponašanja omogućava pravovremeno prepoznavanje i učinkovito smanjenje njihovog utjecaja. To je posebno važno u složenim sredinama, poput urbanih područja, gdje razni izvori smetnji signala mogu ozbiljno utjecati na točnost i preciznost mjerenja.

9. POPIS KORIŠTENE LITERATURE I IZVORA

Literatura:

1. Bačić Ž. (2024.)- Auditorne vježbe kolegija Integrirani sustavi u geomatici
2. Bačić Ž. (2024.)- Presentacije s predavanja kolegija Integrirani sustavi u geomatici
3. Intertanko (2019.) - Jamming and Spoofing of Global Navigation Satellite Systems (GNSS)
4. Langley, R. B. (1999). - Dilution of precision. *GPS world*, 10(5), 52-59.
5. Hulina, D (2018) – Ispitivanje utjecaja GNSS ometača, diplomski rad, Geodetski fakultet
6. Šugar D. i Nevistić Z. (2024.) - Upute za izvođenje statičkih GPS/GNSS mjerenja
7. Šugar D. i Nevistić Z. (2024.) - Upute za rad s GNSS prijammikom Topcon Hiper-SR i kontrolerom FC-5000 (STATIKA)

URL 1 – Novotech, <https://novotech.com/pages/signal-to-noise-ratio-snr>

URL 2 – Google Maps,

https://www.google.com/maps/@45.7836166,15.8315047,207m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDExMC4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D (10.1.2025.)

URL 3 – Geocentar, <https://geocentar.com/proizvod/gnss-topcon-hiper-sr/> (9.1.2025.)

URL 4 – RINEX format,

https://server.gage.upc.edu/gLAB/HTML/Observation_Rinex_v4.00.html (11.1.2024.)

URL 5 – Penn State College of Earth and Mineral Sciences, <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1771> (11.1.2025.)

URL 6 - European Space Agency, <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Multipath> (9.1.2025.)