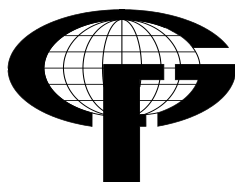


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEODETSKI FAKULTET

Sara Čečura, Tomislav Šaravanja, Marta Šimunović

**UZROCI I POSLJEDICE INTERFERENCIJE  
GNSS SIGNALA U URBANIM SREDINAMA -  
ŽELJEZNIČKA I TRAMVAJSKA PRUGA  
U JUKIĆEVOJ ULICI**

Integrirani sustavi u geomatici



Zagreb, ak. god. 2024./2025.

## **Sadržaj**

<b>Uvod</b> .....	1
<b>Teorijska načela</b> .....	2
<b>Mjerna oprema, organizacija terenskih mjerenja i izvođenje opažanja</b> .....	5
<b>Analiza i obrada podataka opažanja pomoću instrumenta</b> .....	8
<b>Analiza i obrada podataka opažanja na CROPOS stanici</b> .....	18
<b>Obrada statičkih opažanja u Trimble Business Center 5,00</b> .....	22
<b>Trimble Business Center (TBC)</b> .....	22
<b>Obrada opažanja, računanje vektora i izjednačenje mreže u TBC-u</b> .....	23
<b>Zaključak</b> .....	36
<b>Literatura</b> .....	37
<b>Prilozi</b> .....	38

# Uvod

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) ključni su za precizno određivanje pozicije u različitim aplikacijama, od svakodnevnih navigacijskih sustava do naprednih znanstvenih istraživanja. Međutim, u urbanim sredinama, gdje su prisutne različite prepreke poput visokih zgrada i infrastrukture, GNSS signal može biti značajno ometen, što dovodi do smanjenja točnosti pozicioniranja. Ova interferencija može biti uzrokovana fenomenima poput multipatha, smetnji od drugih signala, ili blokiranjem signala od strane objekata u okolini.

Cilj ovog seminarskog rada je istražiti uzroke i posljedice interferencije GNSS signala u urbanim sredinama, s posebnim fokusom na područje Jukićeve ulice, gdje su prisutne željeznička i tramvajska pruga. Kroz analizu dostupnih RINEX opažanja koja su izvedena na tom području, rad će se baviti analizom distribucije SNR (Signal-to-Noise Ratio) vrijednosti za različite satelitske signale i frekvencije, istražiti prisutnost multipatha, te ispitati povezanost između elevacije opažanih satelita i kvalitete signala.

Osim toga, rad će usporediti opažanja s CROPOS stanicom RGNF, bez ometanja uzrokovanog urbanom infrastrukturom, te će se analizirati specifične smetnje poput naglih padova ili porasta SNR-a, gubitka signala i drugih oblika smetnji. Kroz ove analize, bit će moguće detaljnije razumjeti kako različiti faktori u urbanim sredinama utječu na preciznost GNSS mjerenja, te kako se ti faktori mogu kvantificirati i minimizirati za bolje određivanje pozicije.

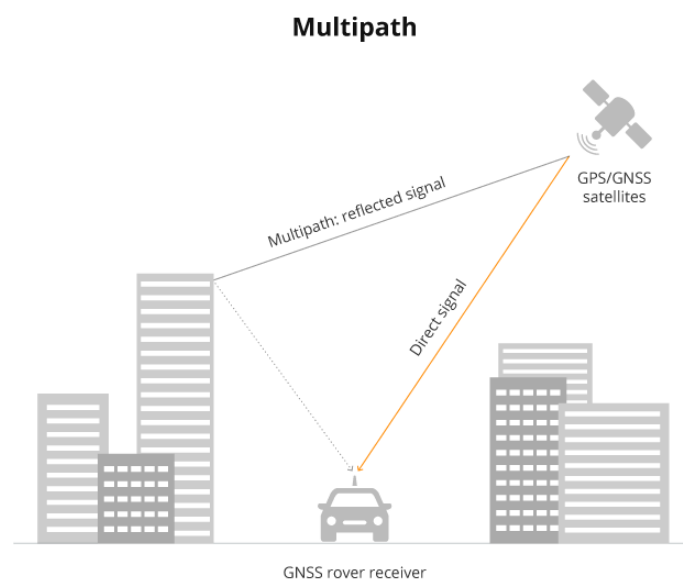
Prije analize podataka, obavljena je priprema terenskih mjerenja, organizacija terenske ekipe i odabir termina mjerenja i sesije. Također, studenti su bili upoznati s instrumentarijem koji će se koristiti prilikom izvedbe prvog projektnog zadatka. Dana 30.11.2024. od 12:47 do 15:22 je odrađen terenski dio prvog zadatka – relativno statičko opažanje. Obavljeno je simultano opažanje točke (ISUG3011) radi dobivanja točnih koordinata navedenih točaka. Po završetku mjerenja, prikupljeni podaci iz uređaja bili su postavljeni na Merlin podijeljene u datoteke ovisno o modelu uređaja i datumu opažanja.

## Teorijska načela

Interferencija GNSS signala odnosi se na pojave koje ometaju prijem i točnost GNSS signala što sa sobom nosi negativne posljedice po funkcionalnost sustava, uključujući pogreške u pozicioniranju, navigaciji te vremenskoj sinkronizaciji. Ona može biti uzrokovana na različite načine. Postoje prirodni i umjetni ometači signala. Prirodni izvori interferencije uglavnom nastaju kao posljedica prolaza signala kroz razne slojeve atmosfere. Oni uzrokuju kašnjenje u prijemu signala ali ga ne prekidaju ga pa tako dolazi do grešaka u određivanju pozicije. Umjetni ometači signala (jammeri) nastali su kao radiofrekvencijski odašiljači osmišljeni za blokiranje, prigušivanje ili na druge načine ometanje signala, čime djelomično ili potpuno onemogućuju precizno određivanje položaja. Ako je jammer u blizini prijemnik ne može detektirati pravi GNSS signal zbog prekomjernog šuma. Postoji i spoofing tehnika ometanja signala, a to je napredna tehnika kojom se ometa GNSS signal i temelji se na emitiranju lažnih signala koji su strukturom identični kao i izvorni GNSS signali, ali nadjačavaju stvarne signale. (Ledvina i dr. 2008).

Sve veća primjena GNSS-a donosi i određene izazove, uključujući slučajnu i namjernu interferenciju signala. Zbog izrazito male snage odašiljanja, GNSS signali su vrlo osjetljivi, a svaki prekid u prijemu može uzrokovati ozbiljne posljedice u različitim sigurnosnim sektorima. Zbog toga se intenzivno radi na razvoju tehnologija koje će povećati otpornost sustava na takve smetnje. (Zrinjski i dr., 2019).

Multipath je efekt koji nastaje kada signal poslan sa satelita do antene ne dolazi izravno, već nakon što se reflektira od okolnih objekata ili terena. Glavni uzrok ove pogreške je blizina antene reflektirajućim strukturama. Pogreška uzrokovana multipath efektom može se minimizirati poboljšanjem kvalitete antene ili postavljanjem elevacijske maske jer sateliti koji su bliži horizontu imaju veću sklonost odaslati multipath signale (Hofmann-Wellenhof i dr. 2008).



*Slika 1 Multipath*

Receiver Independent Exchange (RINEX) je standard za pohranu i razmjenu podataka Globalnog navigacijskog satelitskog sustava (GNSS). On omogućava interoperabilnost između različitih marki prijaimnika i paketa softvera za obradu, kao i generiranje mnogih vrijednih proizvoda i usluga za GNSS korisničku zajednicu od strane Međunarodne GNSS službe. RINEX format omogućava učinkovito i jednoznačno arhiviranje GNSS podataka i pripadajućih metapodataka na jednom mjestu (u ljudskom čitljivom formatu), dok također olakšava prijenos i distribuciju tih podataka, neovisno o opremi korištenoj za njihovo prikupljanje i motoru korištenom za obradu podataka [URL 1]. RINEX datoteke obično sadrže: satelitske informacije (njihove orbitalne parametre i vremenske oznake), prijaimničke podatke (podaci o signalima koje prijaimnik prima, uključujući pseudodistance, fazna mjerenja, te parametre poput SNR-a), podatke o vremenskim oznakama (svaki zapis u RINEX-u povezan je s točnim vremenom prijema signala). Tijekom mnogih godina, i pod okriljem IGS-a, RINEX format je od tada modificiran, proširen i poboljšan kako bi omogućio obradu multiGNSS podataka, čime je postao međunarodni standard koji se koristi za prijenos, arhiviranje i distribuciju GNSS podataka od strane IGS-a i brojnih drugih korisnika GNSS zajednice širom svijeta. Na primjer, to je rezultiralo izračunavanjem sve preciznijeg Međunarodnog zemaljskog referentnog okvira. Tijekom godina, i kroz nekoliko verzija i podverzija, RINEX format je stalno poboljšavan i proširivan kako bi zadovoljio potrebe za modernim podacima o satelitskom pozicioniranju prikupljenim od strane sve većeg broja satelitskih konstelacija i njihovih signala (Janssen, 2023).

TO2 format je specifičan format koji koristi Trimble za pohranu podataka. Podaci se mogu konvertirati i u RINEX format. TO2 omogućava pohranu podataka s različitih satelitskih konstelacija kao što su: GPS, GLONASS, Galileo, Beidou.

Signal-to-Noise Ratio (SNR) predstavlja omjer između snage korisnog GNSS signala i razine šuma koji utječe na prijem signala. Visok SNR omogućava točnije određivanje pozicija, dok nizak SNR može dovesti do grešaka u podacima. Učinkovito upravljanje šumom osigurava da GNSS/GPS sustavi ostanu pouzdani, bilo da se nalaze u urbanim kanjonima ili gustim šumama. Fokusiranjem na signale s višim SNR-om uređaji mogu učinkovitije upravljati energijom, produžujući trajanje baterije. Visokom razinom SNR-a GNSS/GPS antene mogu pružiti podatke s neusporedivom točnošću. Jedan od prvih koraka za poboljšanje SNR-a je odabir visokokvalitetne antene. Nisu sve antene iste, a neke su posebno dizajnirane s karakteristikama koje povećavaju SNR. To može uključivati napredne mogućnosti filtriranja za blokiranje smetnji od okolnih signala ili dizajn optimiziran za učinkovitije hvatanje signala. Još jedan ključni faktor je lokacija postavljanja GNSS/GPS antene. Antena bi trebala biti postavljena u okruženju s minimalnim preprekama i daleko od potencijalnih izvora interferencije. Visoke zgrade gusta vegetacija, Multipath i ostale prepreke mogu značajno narušiti SNR vrijednost. Također se ne smije zaboraviti ni na redovno održavanje i ažuriranje firmwarea. Održavanje antene i pripadajuće opreme u vrhunskom stanju osigurava optimalne performance instrumenata [URL 2].

DOP (Dilution of precision) označava geometrijsku raspodjelu satelita na nebu iznad prijaimnika. Niska vrijednost DOP-a ukazuje na dobru geometriju satelita, što rezultira visokom

preciznošću pozicioniranja dok visoka vrijednost ukazuje na lošu geometriju satelita, što smanjuje preciznost. Postoji više vrsta DOP-a, a to su HDOP (horizontalni), VDOP (vertikalni), TDOP (vremenski), GDOP (geometrijski) i PDOP (pozicijski). HDOP se odnosi na preciznost horizontalnog pozicioniranja. VDOP na preciznost u visinskom smjeru i obično je veći nego HDOP zbog manje osjetljivosti GNSS-a na vertikalne mjere. TDOP preciznost vremenskih mjerenja, GDOP uključuje poziciju i vrijeme, a PDOP se odnosi na ukupnu preciznost 3D pozicioniranja [URL 3].

## Mjerna oprema, organizacija terenskih mjerenja i izvođenje opažanja

Mjerenja za potrebe ovog rada obavljena su 30. studenog 2024. godine, u poslijepodnevним satima, na unaprijed definiranoj lokaciji (tramvajska stanica Jukićeva) u Jukićevoj ulici u Zagrebu, u neposrednoj blizini tramvajske i željezničke pruge.



*Slika 2 Lokacija opažanja*

U svrhu prikupljanja GNSS podataka korišten je visokoprecizni Trimble R8 GNSS prijamnik, poznat po svojoj pouzdanosti i prilagodljivosti u zahtjevnim uvjetima terenskog rada. Nakon pravilnog postavljanja instrumenta uključili smo uređaj te putem kontrolera kreirali odgovarajući folder za spremanje podataka opažanja, kako bi se omogućila precizna organizacija i kasnija obrada. Korišteni stil mjerenja bio je SatPoz-FS, koji je bio unaprijed definiran u kontroleru. Ovaj stil omogućuje statičko relativno pozicioniranje, pri čemu uređaj pohranjuje podatke svakih 10 sekundi s elevacijskom maskom od  $10^\circ$ . Stil je postavljen za minimalno trajanje opažanja od 22 minute, međutim uređaj je nastavio opažati dok ga nismo prekinuli. Prijamnik je potom ostavljen da autonomno obavlja mjerenja tijekom dva sata, koliko je bilo predviđeno za trajanje sesije. Prikupljeni podaci bit će obrađeni u daljnjim fazama istraživanja, a dobiveni rezultati poslužit će za analizu kvalitete GNSS signala i utjecaja okoline na opažanja u urbanim uvjetima. Terenski rad protekao je prema planu, a prikupljeni podaci pružit će vrijednu osnovu za daljnju analizu i izradu rada.



*Slika 3 Točka opažanja ISUG3011*

Komplet GNSS opreme Trimble R8 sastoji se od sljedećih dijelova:

- Višefrekvencijski GNSS prijamnik s integriranom antenom,
- Unutarnja baterija i rezervne baterije,
- TSC2 kontroler,
- Podnožna ploča i adapter,
- Mjerna vrpca (za mjerenje visine antene),
- Stativ



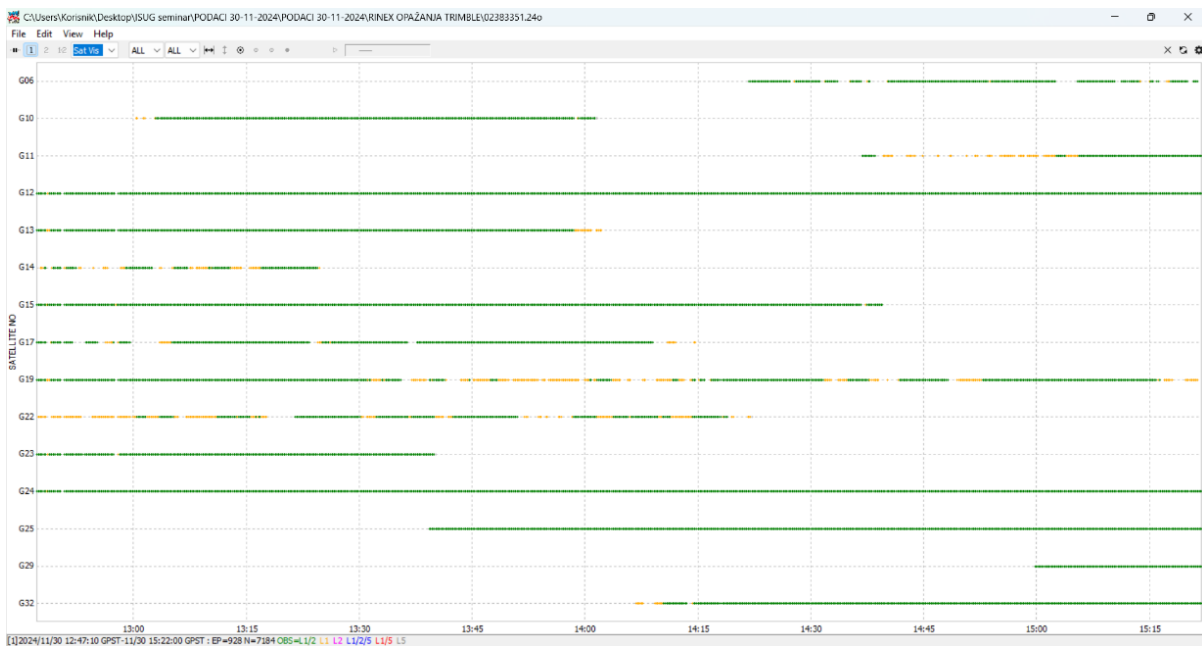
*Slika 4 Trimble R8 i oprema*

Tablica 1. Karakteristike Trimble R8 uređaja

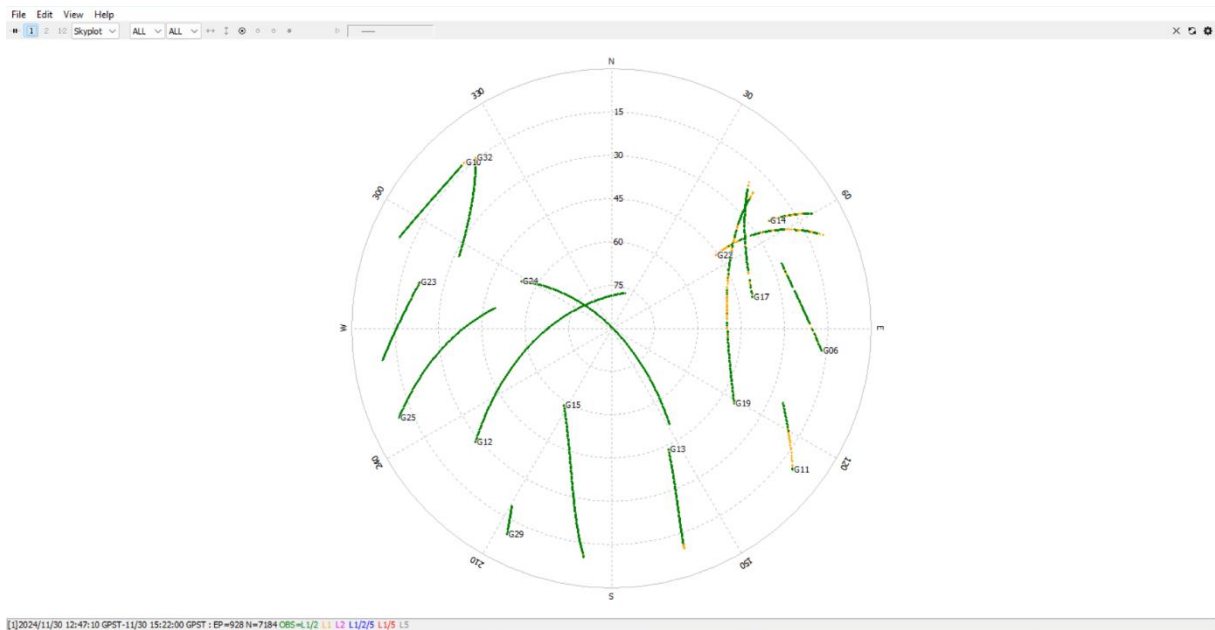
<b>Masa</b>	1,31 kg za sam prijamnik 3,67 kg za prijamnik, kontroler, baterije, štap i kutiju.
<b>Veličina</b>	19 cm x 10 cm
<b>Memorija</b>	6 MB, na kontroleru 128 MB
<b>Praćenje</b>	24 kanala L2C koda i L1 C/A koda, dvofrekventni puni kružni nosač faze, podržano WAAS/EGNOS
<b>Vrijeme rada baterije</b>	primanje i odašiljanje 3,5 sata primanje 5,5 sati
<b>Interval zapisivanja podataka</b>	15 sekundi
<b>Antena</b>	Klasična UHF antena
<b>Točnost</b>	Horizontalna: 5mm ± 0,5ppm Vertikalna: 5mm ± 1ppm
<b>Tipkovnica</b>	Alfanumerička

## Analiza i obrada podataka opažanja pomoću instrumenta

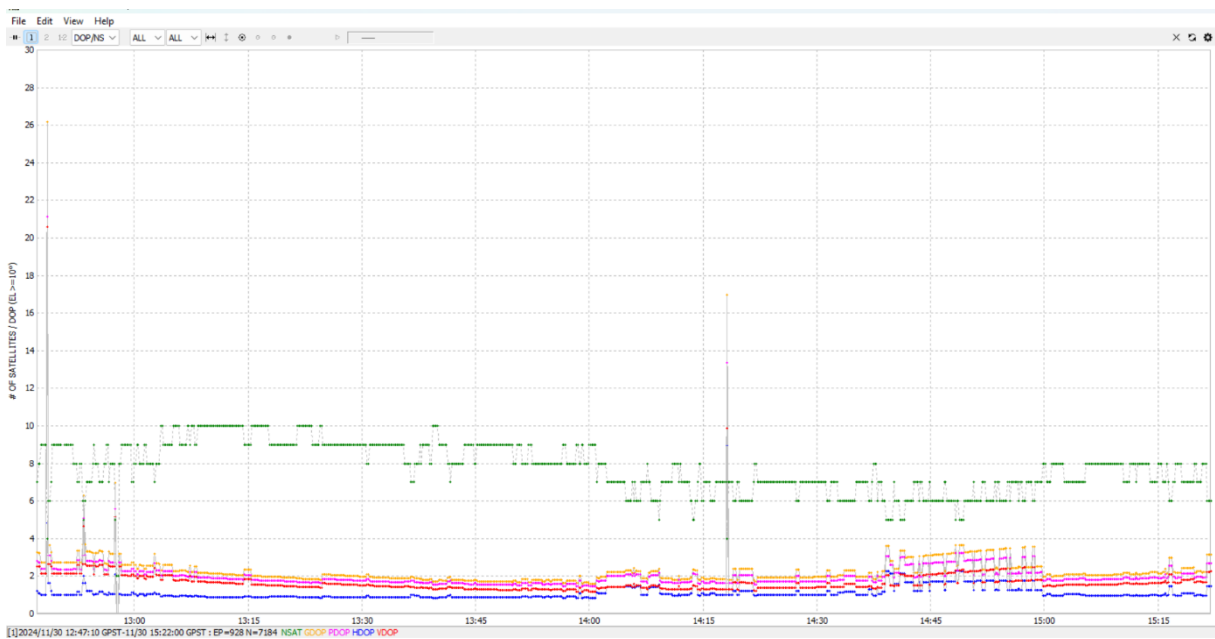
Analiza i obrada podataka započinje u besplatnom softveru za prikaz sirovih opažanja RTK LIB (Plot), koji ne zahtjeva posebnu instalaciju. Riječ je o programskom paketu otvorenog koda za standardno i precizno pozicioniranje pomoću GNSS-a. U program se prvo učitaju sirovi podaci mjerenja za točku s koje se opažalo pomoću instrumenta (ISUG3011), odnosno *observation file*. Nakon učitavanja u postavkama je namještena vidljivost GPS i GLONASS satelita te je elevacijska maska postavljena na 10°, kao što je bila namještena i na korištenom instrumentu. Prvi prikaz u softveru predstavlja grafiku svih satelita za sve frekvencije (L1, L2, L1C, L2X, L2W) po UTC vremenskoj skali. Drugi prikaz je Skyplot na kojem su vidljive putanje svih dostupnih satelita za sve frekvencije, a isto tako za sve satelite i sve frekvencije dostupne su DOP vrijednosti i broj satelita, kao treća opcija prikaza. Četvrta i peta opcija prikazuju SNR i Multipath vrijednosti za sve frekvencije i sve satelite koji su bili dostupni u vrijeme opažanja. Kod četvrtog prikaza su vidljive vrijednosti i grafički prikaz elevacije, dok kod petog prikaza, grafički prikaz elevacije nije dostupan. Svi prikazi se nalaze na slikama ispod.



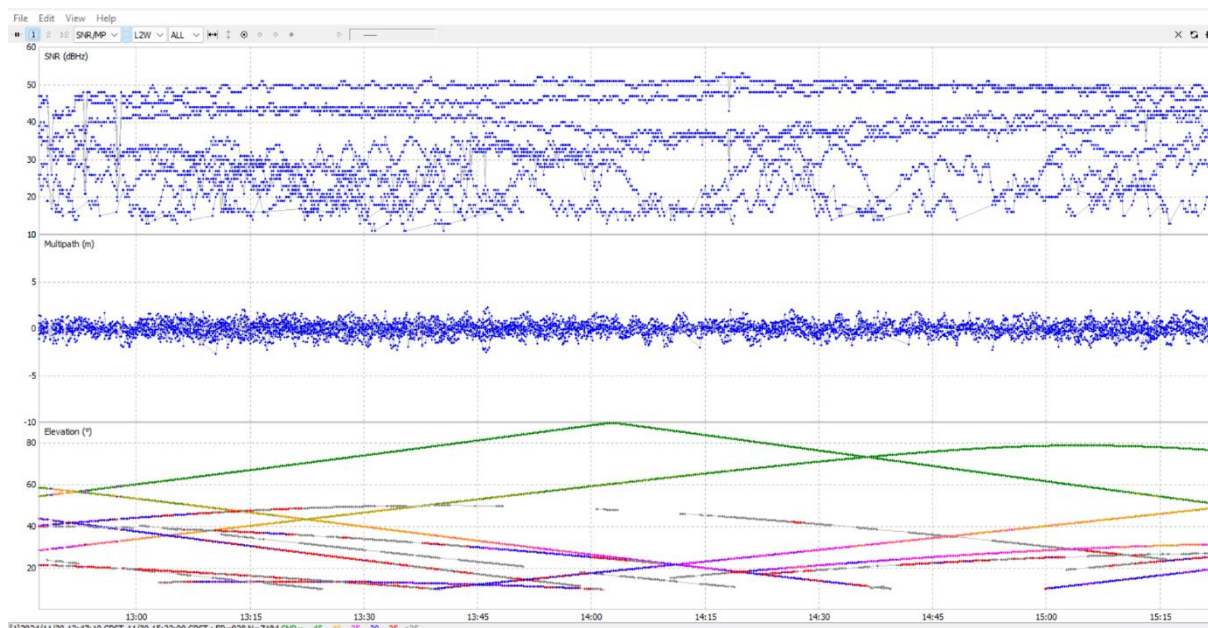
Slika 5 Grafički prikazi satelita za sve frekvencije (ISUG3011)



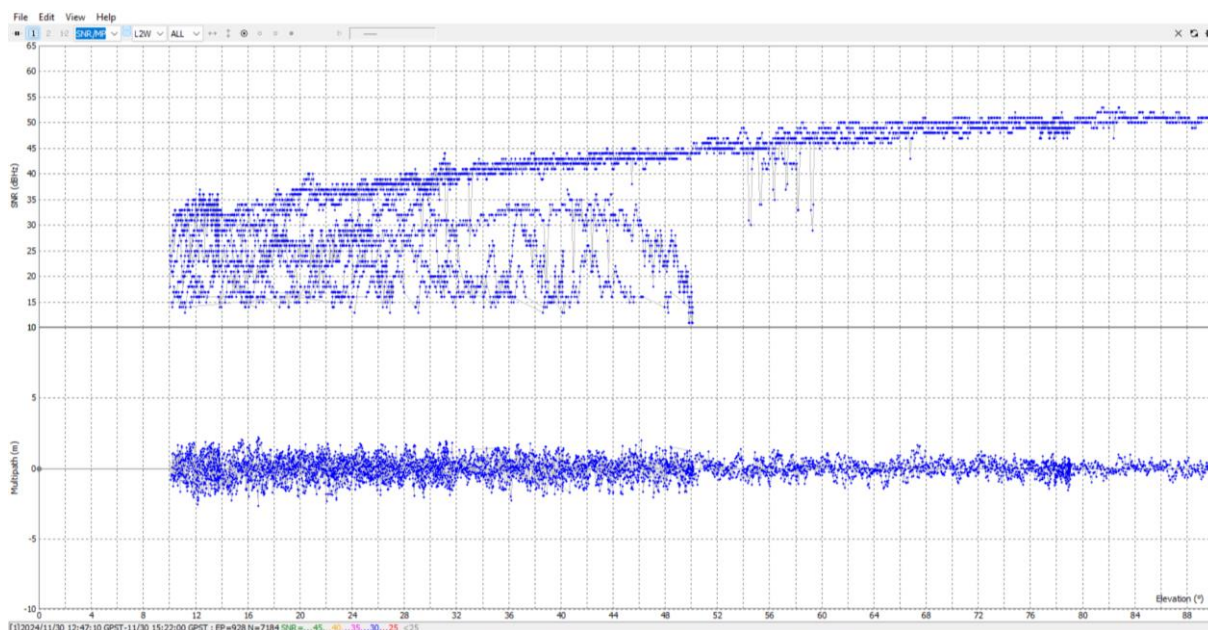
Slika 6 Skyplot za sve frekvencije (ISUG3011)



Slika 7 DOP i broj satelita za sve frekvencije (ISUG3011)



Slika 8 SNR/Multipath/Elevacija za sve frekvencije (ISUG3011)



Slika 9 SNR/Multipath za sve frekvencije (ISUG3011)

Gledajući pojedinačno svaki dostupni satelit, na svakoj frekvenciji vidljivo je kada je koji satelit bio dostupan. Također se može zaključiti da se ovdje radi isključivo o GPS-ovim satelitima. Pa tako imamo:

- G06 je bio dostupan od 14:21 do 15:22, no imao je neke manje prekide tijekom cijelog perioda dostupnosti.
- G10 je bio dostupan od 13:01 do 14:01.

- G11 je bio dostupan od 14:36 do 15:22, no imao je nekoliko prekida od 14:40 do 15:00.
- G12 je bio dostupan od 12:47 do 15:22.
- G13 je bio dostupan od 12:47 do 13:58.
- G14 je bio dostupan od 12:47 do 13:24, ali je imao otprilike 3 prekida tijekom razdoblja dostupnosti.
- G15 je bio dostupan od 12:47 do 14:39.
- G17 je bio dostupan od 12:47 do 14:09, ali je imao sitnih prekida na početku, te jedan veći od 13:00 do 13:05.
- G19 je bio dostupan od 12:47 do 15:16, no imao je nekoliko prekida od 13:45 do 14:15.
- G22 je bio dostupan od 12:47 do 14:18, no imao je prekide tijekom cijelog perioda dostupnosti.
- G23 je bio dostupan od 12:47 do 13:40.
- G24 je bio dostupan od 12:47 do 15:22.
- G25 je bio dostupan od 13:39 do 15:22.
- G29 je bio dostupan od 14:59 do 15:22.
- G32 je bio dostupan od 14:06 do 15:22.

Proučavajući elevaciju svakog pojedinog satelita, zaključuje se da je satelit s najvišoj elevacijom  $89,7^\circ$ , satelit G24, oko 14:02. Najniže vrijednosti elevacije u iznosu  $10^\circ$  imao je satelit G10, odmah na početku svoje dostupnosti. Imajući na umu da su zadovoljavajuće vrijednosti SNR oko 40-50 dBHz, vidljive su određene oscilacije u vrijednostima, tijekom opažanja. U tablici ispod se nalaze minimalne i maksimalne vrijednosti za svaku od frekvencija.

*Tablica 2 Minimalne i maksimalne vrijednosti SNR-a (ISUG3011)*

<b>Frekvencija</b>	<b>Minimalne vrijednosti SNR-a [dBHz]</b>	<b>Maksimalne vrijednosti SNR-a [dBHz]</b>
<i>L1</i>	25	52
<i>L2</i>	11	53
<i>L1C</i>	25	52
<i>L2X</i>	21	48
<i>L2W</i>	11	53

Maksimalne i minimalne vrijednosti Multipath-a su prikazane u sljedećoj tablici.

*Tablica 3 Minimalne i maksimalne vrijednosti Multipath-a (ISUG3011)*

<b>Frekvencija</b>	<b>Minimalne vrijednosti Multipath-a [m]</b>	<b>Maksimalne vrijednosti Multipath-a [m]</b>
<i>L1</i>	-2.2917	2.2689
<i>L2</i>	-2.6602	2.2292
<i>L1C</i>	-2.2917	2.2689

<i>L2X</i>	-2.0524	2.8482
<i>L2W</i>	-2.6602	2.2292

Elevacija satelita ima značajan utjecaj na Signal-to-Noise Ratio (SNR) i Multipath efekt. Kada je elevacija visoka (iznad 30°), SNR vrijednosti su veće i stabilnije jer sateliti pod visokim kutom pružaju kraći put signala kroz atmosferu, pa se ujedno gubi manje signala i manji su atmosferski utjecaju (ionosfera, troposfera). U ovom slučaju direktni signal je puno dominantniji pa su reflektirani signali iz okoline manje značajni. Pri visokoj elevaciji, Multipath je minimalan jer reflektirani signali imaju duži put do prijemnika i dolaze s različitim fazama i amplitudama, pa se zbog toga lakše prepoznaju i filtriraju.

Kada je riječ o niskoj elevaciji (ispod 30°), SNR vrijednosti su niže i manje stabilne, jer signal prolazi kroz deblji sloj atmosfere, što povećava gubitke i smanjuje jačinu signala. Signal je tad i podložniji smetnjama i degradaciji od prepreka (zgrade, drveća) te refleksijama od tla ili objekata, a u našem slučaju je jedna od većih smetnji prolazak tramvaja i vlakova, obzirom na naše stajalište. Reflektirani signali imaju putove slične duljine kao direktni signal, što prijemniku otežava razlikovanje reflektiranih i direktnih signala. Ovim se može zaključiti da je Multipath pri niskoj elevaciji izraženiji.

U slučaju da je elevacija 5-15°, odnosno blizu horizonta, SNR vrijednosti su vrlo niske jer je signal izložen atmosferskim efektima i refleksijama, dolazi pod plitkim kutovima, što povećava vjerojatnost refleksije od okoline prije nego što stigne do prijemnika. Ove refleksije često imaju dovoljno snage da značajno utječu na preciznost, a i prijemnik često ima problema s održavanjem stabilne veze sa satelitom. Efekt Multipath-a je tada najizraženiji.

Satelit G06 je imao elevaciju koja je tijekom opažanja postepeno rasla od 17° do 27°. Imao je nekoliko sitnih prekida ali najznačajniji su 14:37 – 14:40 i 15:03 – 15:05 jer su najduži. Kod L1 i L1C frekvencije, je imao samo jedan značajniji skok SNR vrijednosti s 25 dBHz na 35 dBHz, nakon prvog prekida. U tom trenutku je i Multipath skočio s oko 1 m na 2 m. Obzirom da je niska elevacija, SNR nije prelazio 40 dBHz. Kod L2 frekvencije, SNR se najčešće zadržavao između 20 i 30 dBHz. SNR je imao nešto niže vrijednosti kod L2W frekvencije, nego kod L2X.

Satelit G10 je imao poprilično nisku i konstantnu elevaciju, oko 12° što i dokazuje Multipath kroz svih 5 frekvencija. Oscilacije su velike i učestale. Vrijednosti SNR-a su bile najniže na početku dostupnosti satelita, odnosno može se vidjeti da je došlo do nekakve interferencije između 13:00 i 13:05.

Satelit G11 je imao elevaciju između 11° i 25°, koja je postepeno rasla. Kod L1 frekvencije Multipath ima prekid od 14:38 do 15:03, dok su SNR vrijednosti tad zabilježene na oko 30 dBHz. Pred kraj se SNR popeo na oko 45 dBHz. Na L2 frekvenciji zabilježen je veliki skok s 20 dBHz na 40 dBHz, također su poslije zabilježena 2 veća pada SNR-a. Multipath je imao stalne oscilacije kroz sve frekvencije. Prekid Multipath-a je također zabilježen kroz sve frekvencije, a najkraće je trajao kod L2 frekvencije.

Satelit G12 je imao porast elevacije s  $28^\circ$  na  $80^\circ$ , što je i vidljivo po vrijednostima SNR-a i oscilacijama Multipath-a. Multipath je ima nešto manje oscilacije kod L2X frekvencije. Kod svih frekvencija (L1, L2, L1C, L2W) osim kod L2X, vidljiv je nagli pad SNR vrijednosti zbog već spomenutog prolaska jammer-a. Zbog postepenog rasta elevacije, vidi se točno i porast SNR-a na vrijednosti od oko 50 dBHz.

Satelit G13 je imao elevaciju koja je išla od  $43^\circ$  pa se spuštala do nekih  $10^\circ$ . L2X frekvencija, kod ovog satelita uopće nije zabilježena. Kod L1 i L1C frekvencije su zabilježena 3 ozbiljnija pada SNR vrijednosti, na samom početku (prolazak jammer-a), dok je kod L2 i L2W frekvencije taj prvi pad s početka nešto blaži. Kroz sve frekvencije je vidljivo da kako je padala elevacija, tako je i SNR opadao, a Multipath je imao sve izraženije i veće oscilacije.

Satelit G14 je imao elevaciju koja je padala od  $25^\circ$  do  $10^\circ$ . Dolazilo je i do puno prekida, neki duži, a neki kraći. Kod frekvencije L2W vrijednosti SNR-a su između 10 i 20 dBHz, a kod ostalih nisu prelazile 40 dBHz. Nagli padovi SNR vrijednost su zabilježene kod L2 frekvencije, gdje su s 40 dBHz padali i do 15 dBHz. Uočeno je i poklapanje opadanja SNR vrijednosti i povećanja negativnih vrijednosti Multipath-a.

Satelit G15 je imao elevaciju koja je išla od oko  $60^\circ$  pa opadala konstantno sve do  $16^\circ$ . Kod svih frekvencija, osim L2X su zabilježena prethodno spomenuta 3 nagla pada SNR vrijednosti. Uočena je postupni pad SNR vrijednosti, a najveći pad zabilježen je između 14:15 i 14:40. Na frekvenciji L1 i L1C je također najveća oscilacija Multipath-a, zabilježena upravo u tom periodu. Frekvencija L2 bilježi velike promjene Multipath-a već od 13:45.

Satelit G17 je imao elevaciju koja je opadala s  $40^\circ$  pa sve do  $22^\circ$ . Vidljiv je veći prekid od 13:00 do 13:05 zbog kojeg se dogodio i prekid u bilježenju Multipatha kod L1, L1C i L2W frekvencija. Kod L2W frekvencije je na tom mjestu i prekinut zapis SNR vrijednosti. Kod L2 frekvencije su vidljive određene interferencije od 13:15 do 13:45 te je analizom ostalih frekvencija uočen izraženiji efekt Multipath-a. Standardno je padom elevacije uočen i pad vrijednosti SNR-a te intenzivniji Multipath.

Satelit G19 je imao elevaciju koja je rasla od  $41^\circ$  do  $53^\circ$  pa se smanjivala do  $23^\circ$ . Frekvencija L2X uopće nije zabilježena za ovaj satelit. Zbog prekida koji su se događali između 13:45 i 14:15 vidljivi su prekidi u bilježenju SNR-a i Multipath-a. Prekidi su se događali upravo nakon što je elevacija dosegla maksimalne vrijednosti, pa se postepeno spuštala. I kod ovog satelita su zabilježeni padovi SNR-a zbog jammer-a. Frekvencija L2 prikazuje nagli pad SNR-a, sve do 11 dBHZ, neposredno prije prekida signala.

Satelit G22 je imao elevaciju koja je bilježila pad od  $45^\circ$  pa do  $12^\circ$ . Događalo se dosta prekida signala, što je vidljivo i na Multipath-u koji ima dosta rupa. Vrijednosti SNR-a su se zadržavale između 30 i 40 dBHZ, dok je kod L2 frekvencije između 10 i 20 dBHz. Frekvencija L2X uopće nije zabilježena.

Satelit G23 je imao elevaciju koja je opadala s  $21^\circ$  na  $14^\circ$ . Prolazak jammer-a je vidljiv i kod ovog satelita. SNR vrijednosti kod frekvencija L1, L1C i L2X variraju oko 40 dBHz, dok su kod kod L2 i L2W između 20 i 30. SNR malo opada pred kraj dostupnosti satelita zbog pada elevacije. Zanimljivo je vidjeti da je kod frekvencije L2, SNR naglo porastao s oko 25 dBHz

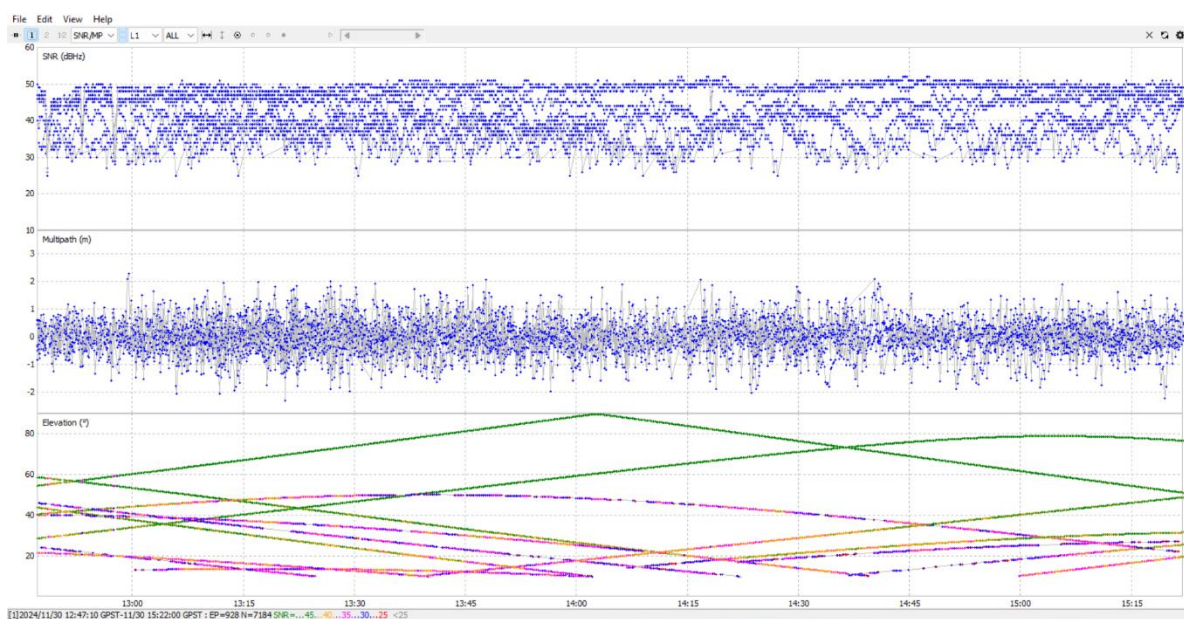
vrijednosti na 43 dBHz i to točno u 12:58 pa opao. Razlog tome je opet prolazak jammer-a, zbog kojeg su vrijednosti "podivljale".ž

Satelit G24 je imao elevaciju koja je dosegla najviše vrijednosti od svih satelita, a to je 89,7°. Najprije je elevacija rasla od 54° do 89,7° pa je opala do 51°. Bez obzira na pad i porast, riječ je o visokoj elevaciji na što ukazuju SNR i Multipath. SNR je kod svih frekvencija bio između 45 dBHz i 50 dBHz, dok je u nekim trenucima kod L2 frekvencije vidljiv skok vrijednosti SNR-a i do skoro 55 dBH. Ovdje je također zabilježen prolazak jammer-a na početku opažanja, što se vidi u 3 nagla pada SNR-a. Iako je jammer prolazio, to nije utjecalo na Multipath koji je cijelo vrijeme gotovo konstantan. Male oscilacije su ipak vidljive kod L2 frekvencije, jer je ona nešto osjetljivija od L1 frekvencije.

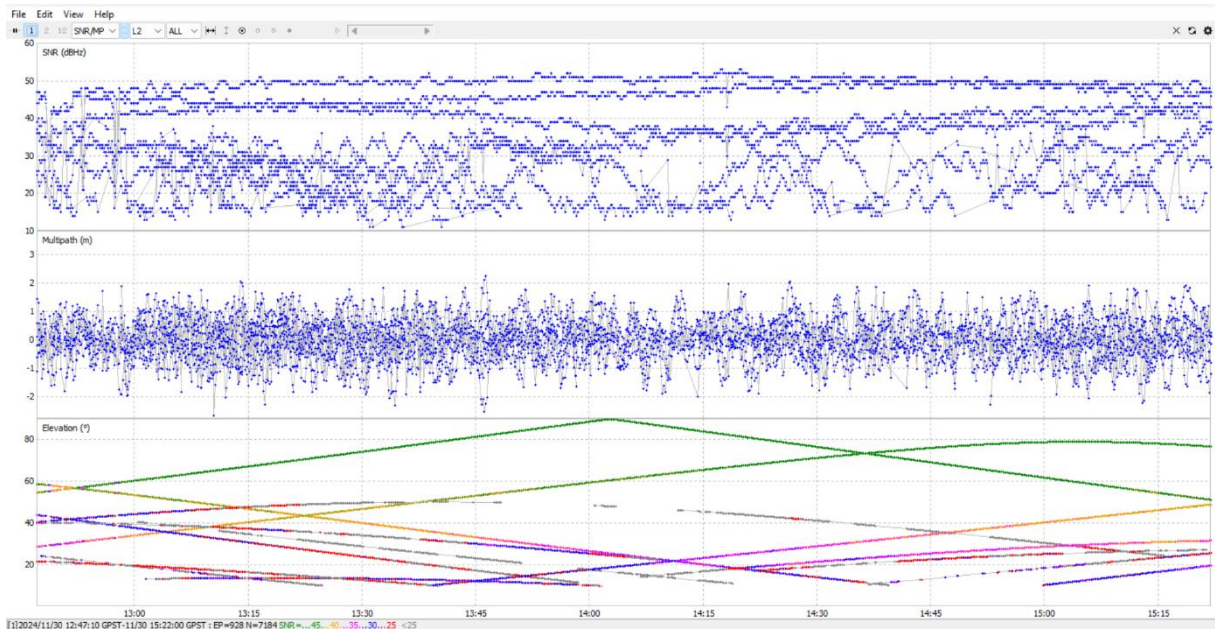
Satelit G25 je imao elevaciju između 16° i 48°, koja je postepeno rasla. Između 13:40 i 13:45 je uočen pad SNR vrijednosti te izraženiji Multipath, što upućuje na određenu interferenciju. Zbog porasta elevacije satelita, rasle su i vrijednosti SNR-a, te se efekt Multipath-a malo stabilizirao. Kod L1 i L1C frekvencija je najbolje zabilježena blaga stabilizacija Multipath-a, obzirom da je u prvoj polovici bilo puno velikih i brzih oscilacija.

Satelit G29 je imao elevaciju koja je bila niska, odnosno kretala se od 14° do 19°. Obzirom da je satelit bio vidljiv i dostupan samo 23 minute i na niskim elevacijama, Multipath je imao ogromne oscilacije. SNR vrijednosti su se kretale između 30 i 40 dBHz kod L1, L1C i L2X frekvencije, a kod L2 i L2W između 20 i 30 dBHz.

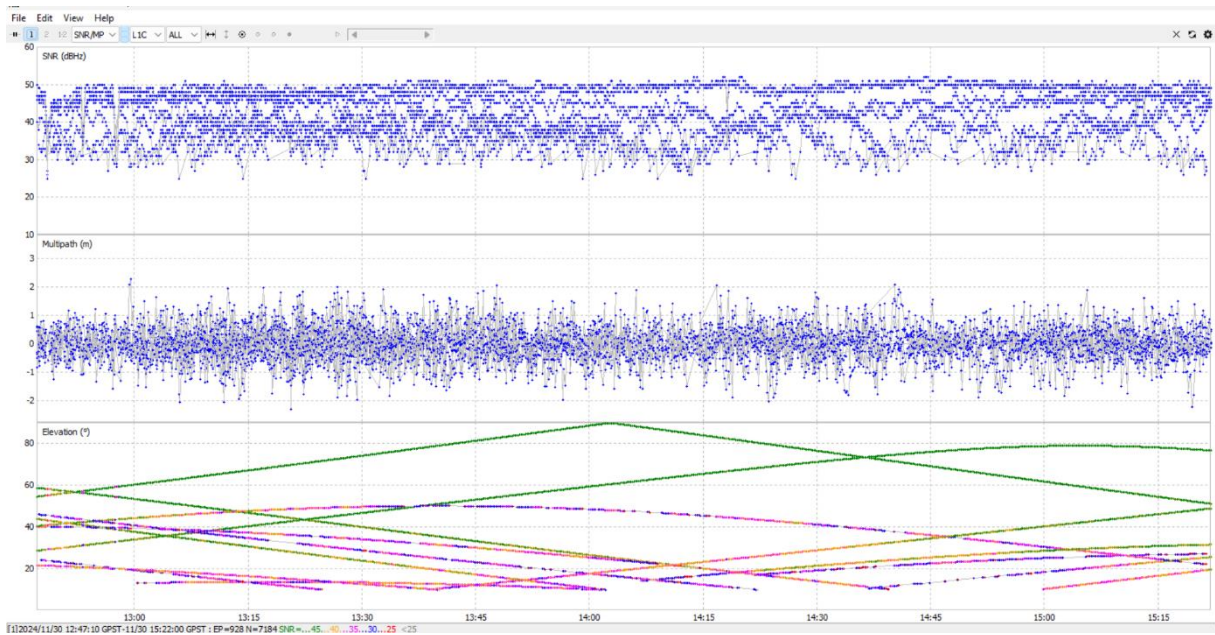
Satelit G32 je imao elevaciju koja je rasla od 15° do 32°. Između 14:07 i 14:18 zabilježena su tri prekida vidljivosti satelita, zbog čega je uočen pad i nestabilnost SNR vrijednosti na svim frekvencijama. Nakon prekida, SNR vrijednosti se stabiliziraju, postepeno penju, nakon čega su konstantne. Efekt Multipath-a je najviše bio izražen od 14:40 do 15:00. Kod L2 frekvencije je zabilježena povećana oscilacija Multipath-a i oko 15:20, tj pred kraj opažanja.



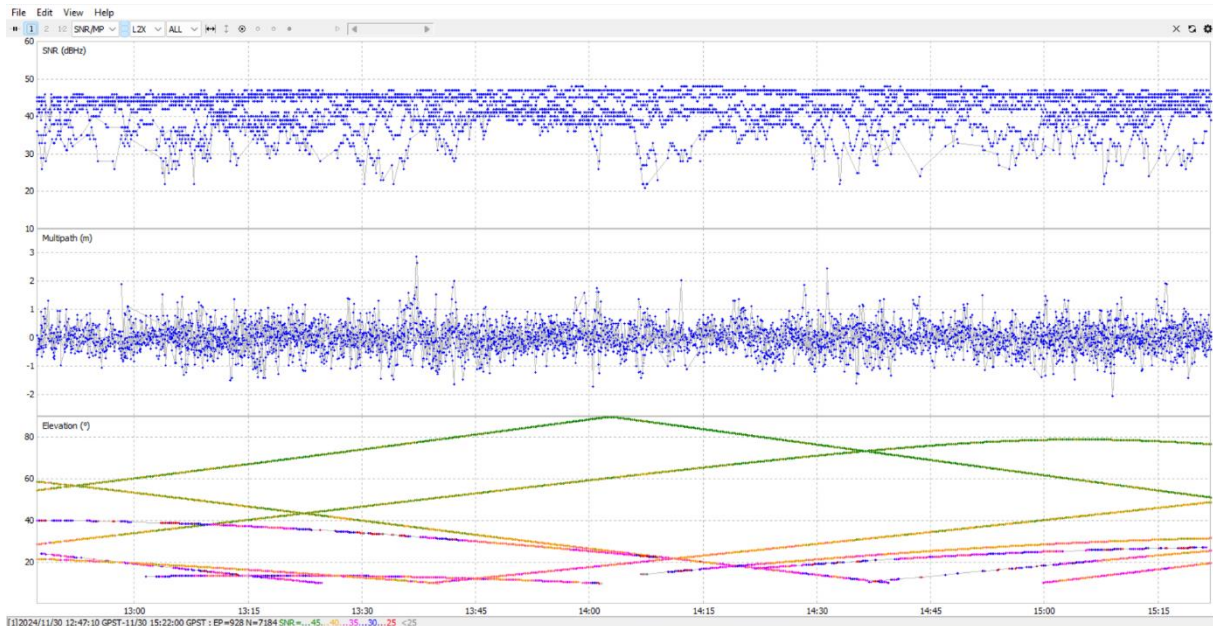
Slika 10 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L1 (ISUG3011)



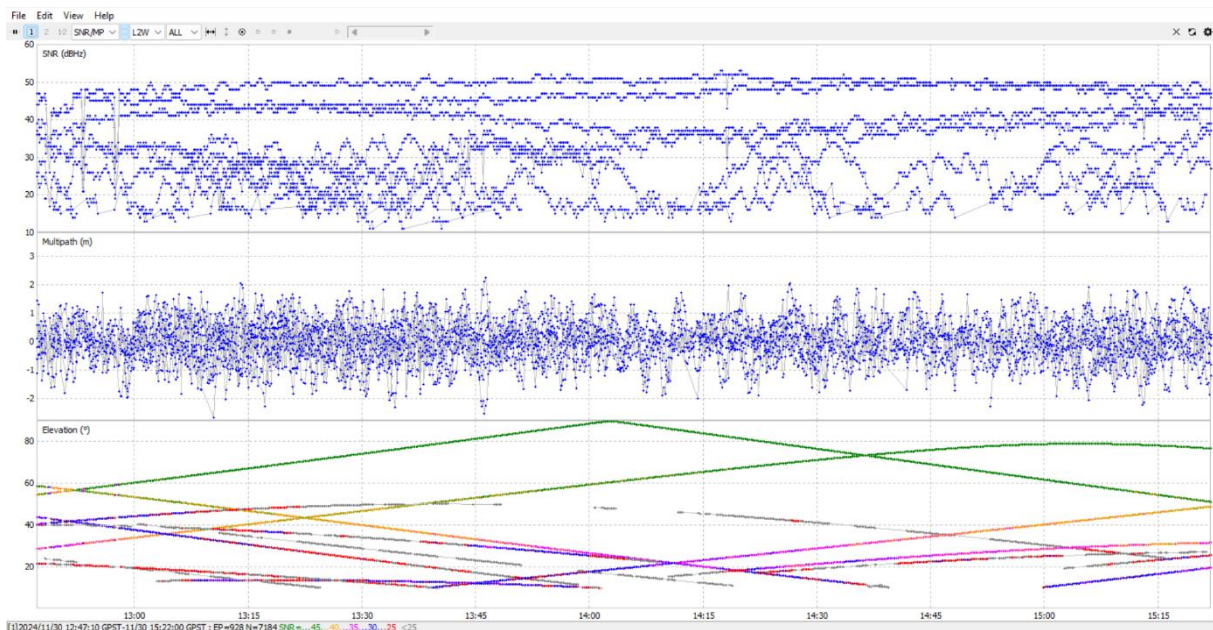
*Slika 11 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L2 (ISUG3011)*



*Slika 12 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L1C (ISUG3011)*



Slika 13 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L2X (ISUG3011)



Slika 14 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L2W (ISUG3011)

Analizirajući prethodne slikovne prikaze, gdje su upaljeni svi dostupni sateliti, po svakoj frekvenciji, možemo uočiti neke od idućih stavki. Kod L1 i L1C frekvencija je vidljivo da su SNR vrijednosti konstantnije, odnosno najviše hodaju između 30 i 50 dBHz. Kod L2 i L2W frekvencija, SNR vrijednosti su raspršenije. Većinski se vrijednosti zadržavaju 20 i 35 dBHz, izuzetak su sateliti koji imaju veću elevaciju pa imaju konstantne vrijednosti SNR-a, koje plešu između 45 i 50 dBHz. Razlika između L2 i L2W frekvencije je ta što su malo bolje i više zabilježeni skokovi i padovi u SNR vrijednostima, gdje je došlo do interferencija. Vrijednosti

SNR-a kod L2X frekvencije su većinski između 35 i 45 dBHz, no jako se dobro uočavaju anomalije u vrijednostima, odnosno trenutci gdje je došlo do interferencije signala.

Najveći pad SNR-a dogodio se između 12:47 i 13:00. Vidljiva su 3 nagla pada. Važno je naglasiti ovaj pad jer u tom trenutku prošao asistent s jammer-om koji je bio nešto jače pojačan. Osim po SNR-u možemo ga prepoznati i po tom što su elevacije na ta 3 mjesta prekinuta za sve satelite. Pad SNR vrijednosti savršeno korelira s vrlo izraženim Multipath-om.

U periodu od 14:15 do 14:20 na svim frekvencijama, osim L2X, je uočen pad SNR vrijednosti te poprilično izražen Multipath. Izrazito povećan Multipath je vidljiv kod L2 frekvencije oko 13:45, pri čemu je uočen i pad SNR vrijednosti. Na L2 frekvenciji je vidljiv pad SNR vrijednosti od 15:03 do 15:04, no Multipath tada nije bio toliko izražen kao inače.

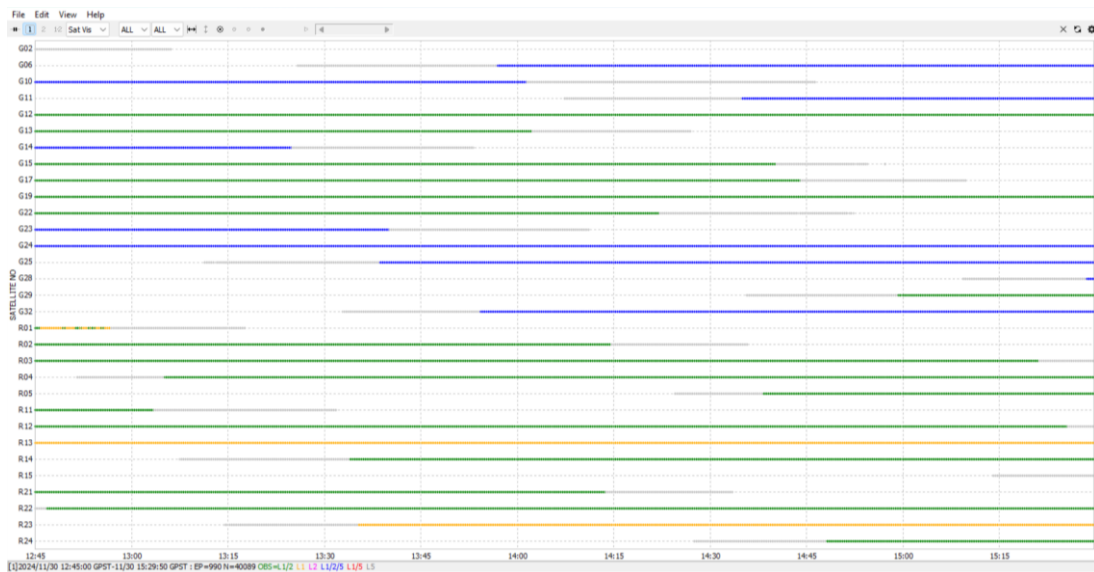
Kod frekvencije L2X pad SNR vrijednosti se dogodio između 13:30 i 13:35, no Multipath je skočio tek u periodu između 13:35 i 13:40. Ostali padovi SNR vrijednosti, na ovoj frekvenciji se poklapaju s povišenim Multipath-om, kao npr. oko 14:02, 14:32, 15:08.

Na frekvenciji L1 pad SNR vrijednosti se dogodio oko 14:27, no nije zabilježen neki poseban Multipath. Oko 15:19, pred sami kraj opažanja, na L1 je zabilježen izraženiji Multipath. Kod L2W frekvencije dobro je vidljiv prolazak jammer-a, ali i pad SNR vrijednosti oko 13:45. Oko 14:18 je na L2W uočen izraženiji Multipath, kao i pad SNR vrijednosti.

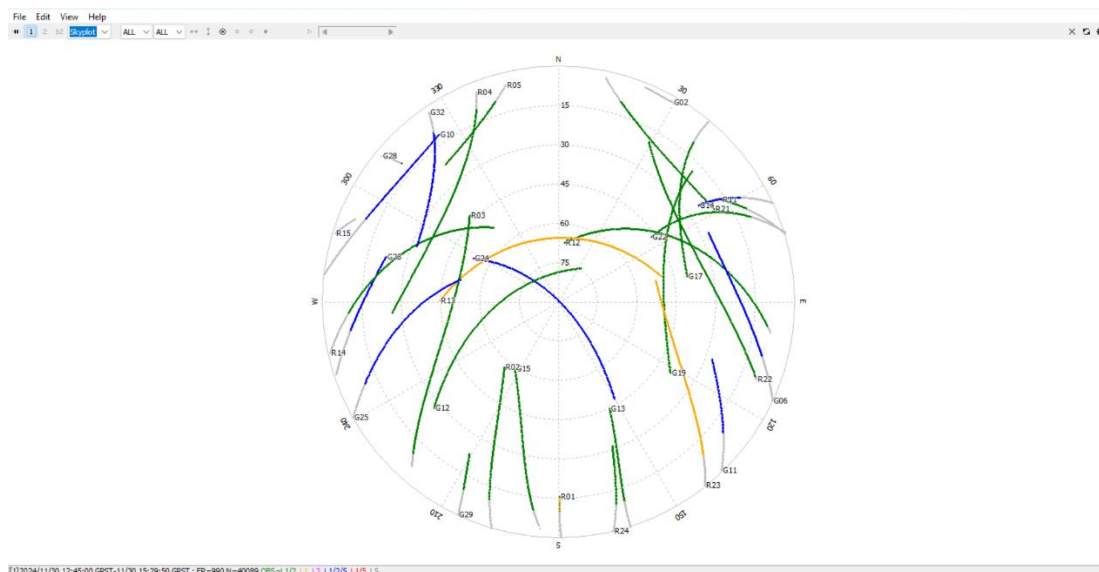
Uspoređujući frekvencije međusobno kada su upaljeni svi sateliti, moguće je uočiti da je Multipath "najstabilniji" kod L2X frekvencije, uz nekoliko većih skokova. Zatim slijede frekvencije L1 i L1C, te su najnestabilnije tj. s najviše skokova i padova na grafu, frekvencije L2 i L2W.

## Analiza i obrada podataka opažanja na CROPOS stanici

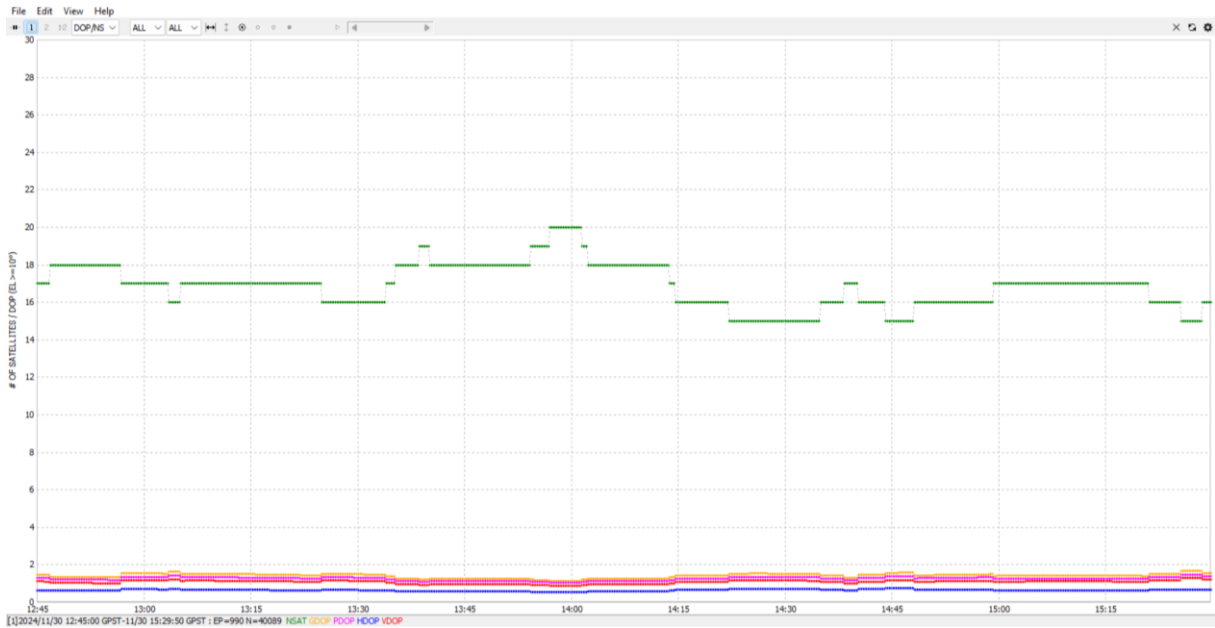
Analiza i obrada podataka je obavljena na isti način kao i u prethodnom slučaju, gdje smo učitali RINEX podatke dobivene opažanjem pomoću instrumenta. Nakon što se u RTK LIB (Plot) učita observation file, u postavkama se namjesti elevacijska maska na  $10^\circ$  te upali vidljivost GPS i GLONASS satelita. Prikazi grafike satelita za sve frekvencije (L1, L2, L5, L6, L7, L8, L1C, L1P, L1X, L1Z, L2C, L2X, L2P, L2W, L5I, L5X, L7I, L7X, L8X, L2I, L6I) po UTC vremenskoj skali, te ostali prikazi gdje su vidljivi Skyplot, DOP, SNR, Multipath i Elevacije se nalaze u nastavku.



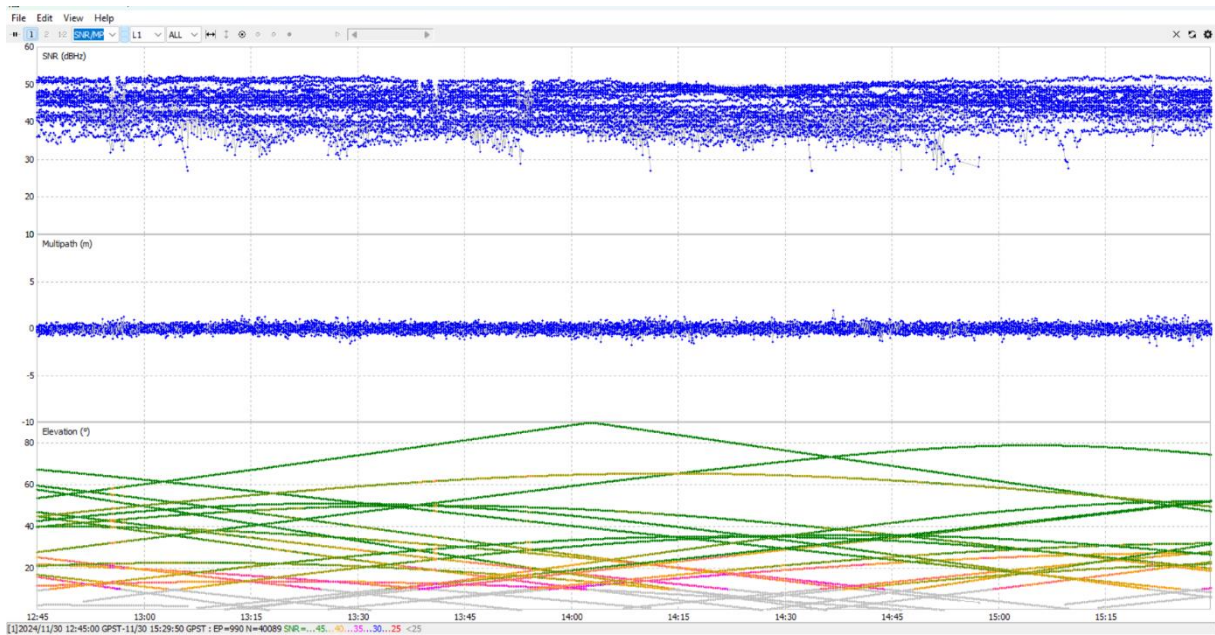
Slika 15 Grafički prikazi satelita za sve frekvencije (RGNF)



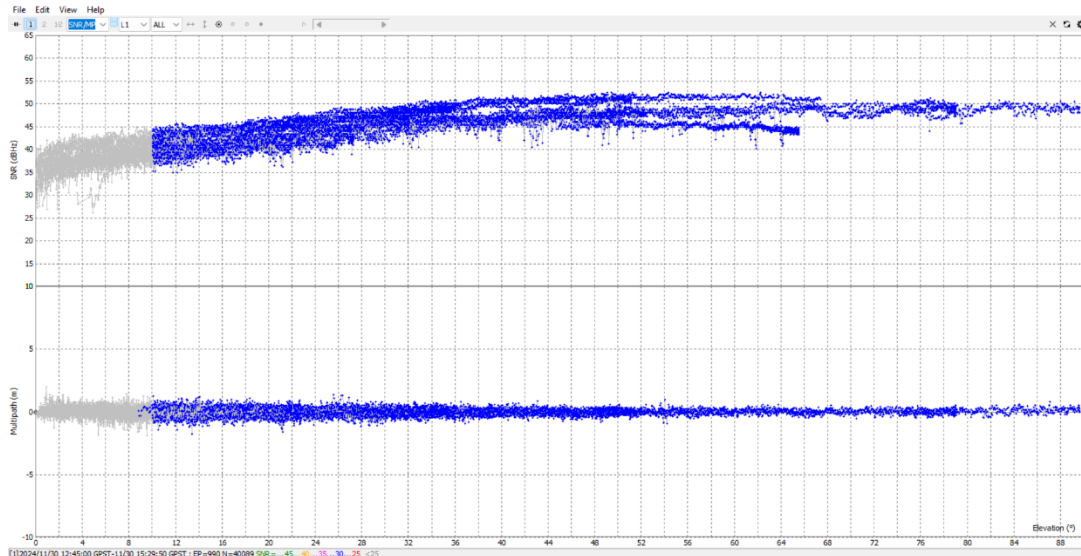
Slika 16 Skyplot za sve frekvencije (RGNF)



Slika 17 DOP i broj satelita za sve frekvencije (RGNF)



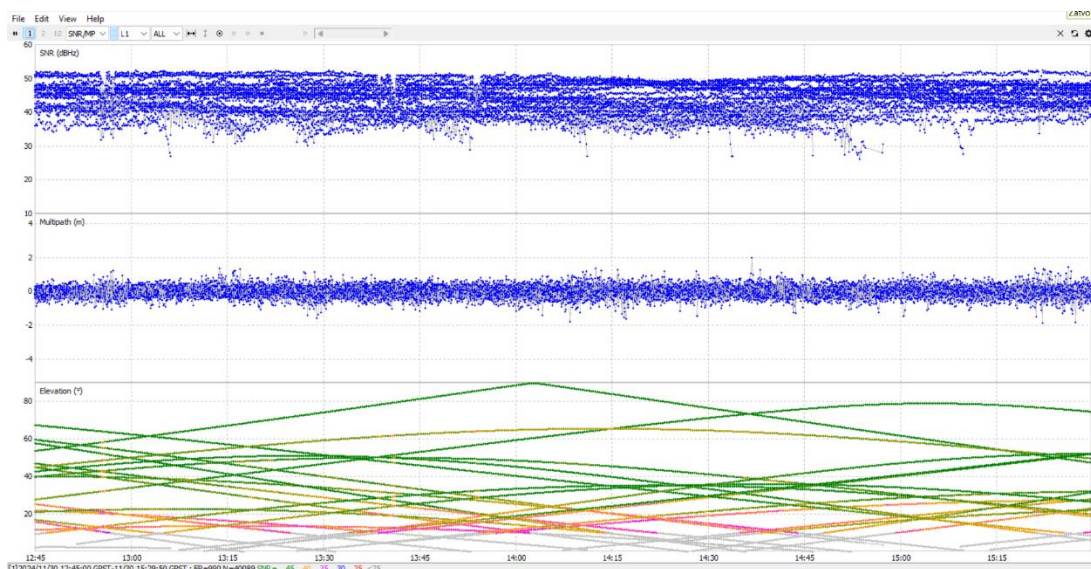
Slika 18 SNR/Multipath/Elevacija za sve frekvencije (RGNF)



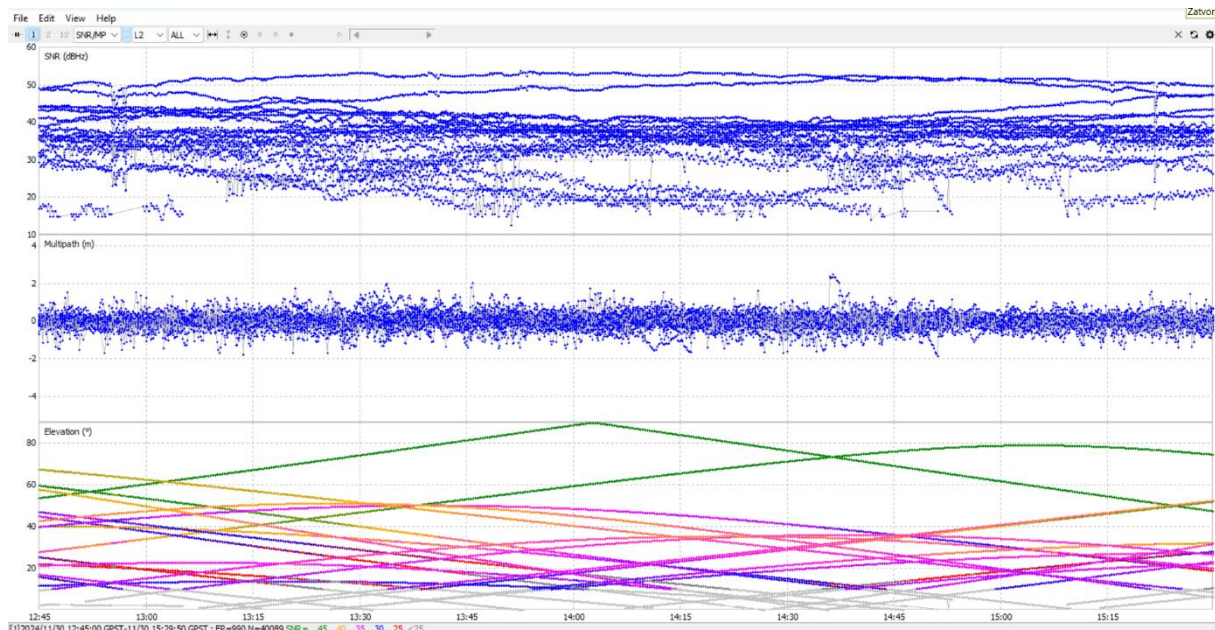
Slika 19 SNR/Multipath za sve frekvencije (RGNF)

CROPOS stanica RGNF se nalazi visoko na zgradi zbog čega nam u ovoj analizi može predstavljati nekakve idealne vrijednosti. Obzirom da postoji puno frekvencija, za usporedbu su korištene samo dvije frekvencije, L1 i L2.

Prvo što se može zaključiti da je u pitanju više satelita (i GPS i GLONASS), te da nije bilo gubitaka signala kao kod prethodne analize odnosno kod stajališta s kojeg se obavljalo opažanje. Obzirom da je jammer bio pojačan, utjecao je na točku te je vidljiv pad SNR vrijednosti između 12:55 i 13:00, no za razliku od opažanja pomoću instrumenta, ovdje su uočena samo 2 ometanja tj. pada SNR vrijednosti. Usporedbom Multipath-a kod obe točke, može se uočiti da je manje izražen kod CROPOS stanice jer je riječ o čistom horizontu bez ometanja.



Slika 20 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L1 (RGNF)



Slika 21 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L2 (RGNF)

Kada uspoređujemo L1 i L2 frekvencije kod RGNF stanice, uočavamo da su SNR vrijednosti kod L1 frekvencije većinski raspoređene između 35 dBHz i 50 dBHz, dok su kod L2 između 20 i 50 dBHz. Što se tiče Multipath-a, on je poprilično stabilan kod L1, dok su kod L2 frekvencije uočene neke malo veće promjene. Kod L1 frekvencije je vidljiv pad SNR vrijednosti između 13:10 i 13:20, 13:25 i 13:30, te 15:20 i 15:25, a potkrijepljeno je malo izraženijim Multipath-om. Ono što se također može vidjeti je i nekoliko padova a potom i prekida bilježenja SNR vrijednosti, no nisu potkrijepljeni gubitkom signala ili Multipath-om (osim jednog, gdje je i Multipath izražen, oko 14:12). Takvih prekida je ukupno 7.

Kod L2 frekvencije zabilježeni su skokovi i padovi u SNR vrijednostima od 13:45 do 13:55, pri čemu je i Multipath bio nešto izraženije od obično. Pad je zabilježen i oko 14:10 te 15:20 – 15:25. Prekidi u bilježenju SNR vrijednosti kao i kod L1 frekvencije su se dogodili ukupno 4 puta. Najveći Multipath kod L2 frekvencije je zabilježen 14:35 – 14:40.

Uzrok smetnji do kojih je dolazilo su najčešće bili tramvaji koji su prolazili pored stajališne točke, koja se nalazila odmah pored tramvajskih tračnica. Također se u neposrednoj blizini nalazila i željeznička pruga. Obzirom da je riječ o suboti popodne bila, vlakovi nisu u tolikoj količini prolazili te su najveći uzrok smetnji bili tramvaji koji su prolazili pored.

## **Obrada statičkih opažanja u Trimble Business Center 5,00**

Zadani zadatak obuhvaća obradu GNSS podataka u softveru Trimble Business Center (TBC) s ciljem analiziranja točnosti određujući položaj opažane točke kroz nekoliko faza. Kao prvi korak izrađivanja zadatka potrebno je izračunati baznu liniju između referentne GNSS stanice (RGNF) i opažane točke (ISUG3011) . Nakon određivanja bazne linije, provedeno je određivanje koordinata opažane točke uz primjenu izjednačenja, ali bez optimizacije, kako bi se dobila početna procjena točnosti. U drugoj fazi zadatka potrebno je provesti optimizaciju vektora između opažane točke i referentne stanice. Cilj ove analize je utvrditi utječe li optimizacija na poboljšanje rezultata te u kojoj mjeri doprinosi povećanju točnosti određivanja položaja. U završnom dijelu, kao zadnji dio zadatka potrebno je analizirati utjecaj vremenskih smetnji na točnost određivanja položaja.

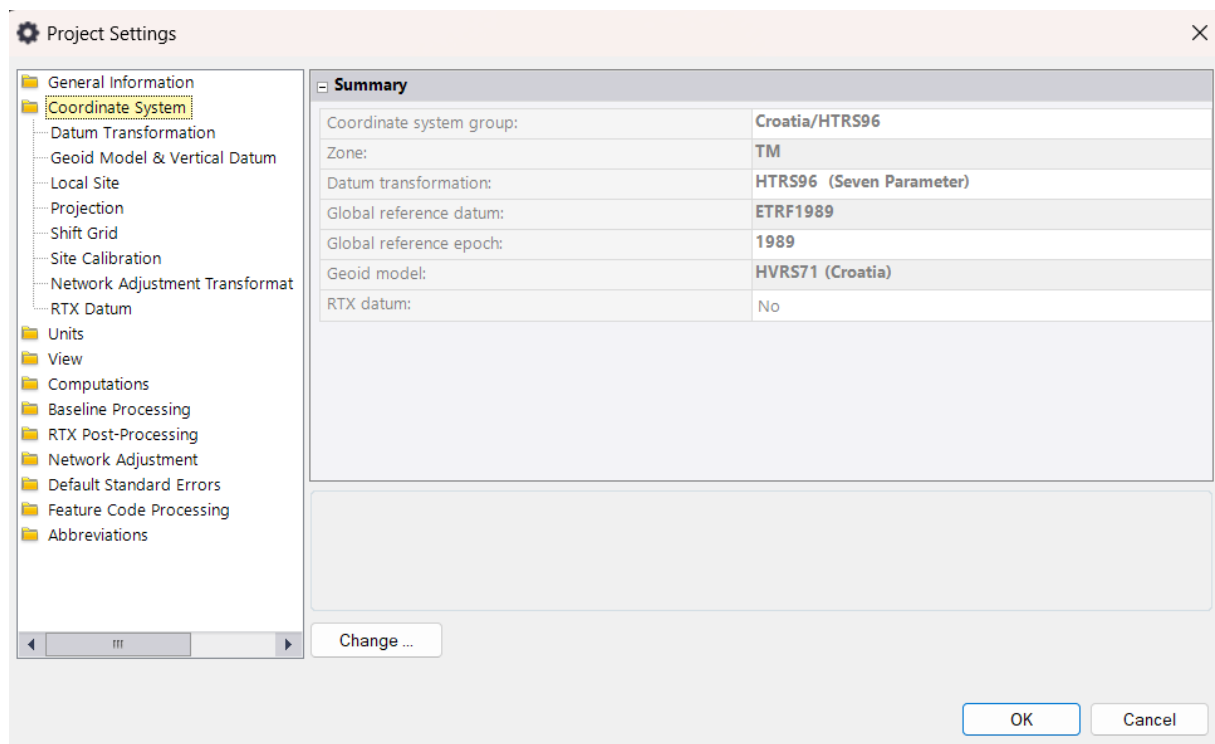
### **Trimble Business Center (TBC)**

Trimble Business Center predstavlja sveobuhvatno softversko rješenje namijenjeno geodetskim projektima, omogućujući korisnicima učinkovito uređivanje, obradu, prilagodbu i analizu podataka. Softverska aplikacija koju je razvila tvrtka Trimble Inc., poznata po inovativnim rješenjima u području geodezije i geoprostornih tehnologija. Ovaj softver namijenjen je obradi, analizi i upravljanju geoprostornim podacima u različitim područjima poput katastarske izmjere, građevinarstva, upravljanja geoprostornim podacima i građevinskog inženjerstva. Uz TBC, korisnici mogu učinkovito obrađivati podatke prikupljene pomoću GNSS sustava, totalnih stanica, LiDAR uređaja i drugih instrumenata, pri čemu softver omogućuje preciznu prilagodbu i obradu velikih skupova podataka kako bi se osigurala njihova točnost. Softver nudi napredne mogućnosti za upravljanje geodetskim kontrolnim mrežama, što je ključno za održavanje prostornih referentnih okvira i konzistentnost podataka. Osim toga, TBC omogućuje stvaranje digitalnih modela terena i površina, što je neophodno za projekte u razvoju zemljišta i građevinskom inženjerstvu. Zahvaljujući intuitivnom korisničkom sučelju, korisnici mogu jednostavno vizualizirati i analizirati podatke u 2D i 3D prikazima, uključujući izradu slojnica, poprečnih presjeka i profila, čime se olakšava donošenje odluka tijekom projektiranja. TBC se integrira s CAD softverima, omogućujući jednostavno povezivanje projektnih datoteka s geodetskim podacima kako bi se osiguralo praćenje napretka projekata. Korisnici također mogu precizno izračunavati volumene iskopa i nasipa, što je ključno za građevinske i iskopne projekte, dok alati za kontrolu kvalitete i otkrivanje pogrešaka omogućuju identifikaciju i korekciju eventualnih nepravilnosti u podacima. Uz mogućnost generiranja detaljnih izvješća, nacрта i drugih isporuka u skladu s industrijskim standardima, TBC omogućuje fleksibilnu prilagodbu radnih procesa različitim projektnim zahtjevima, uključujući katastarsku izmjeru, građevinsko postavljanje i upravljanje GIS podacima. Softver podržava i izvoz podataka u različitim formatima, čime se osigurava kompatibilnost s drugim softverima i sustavima.

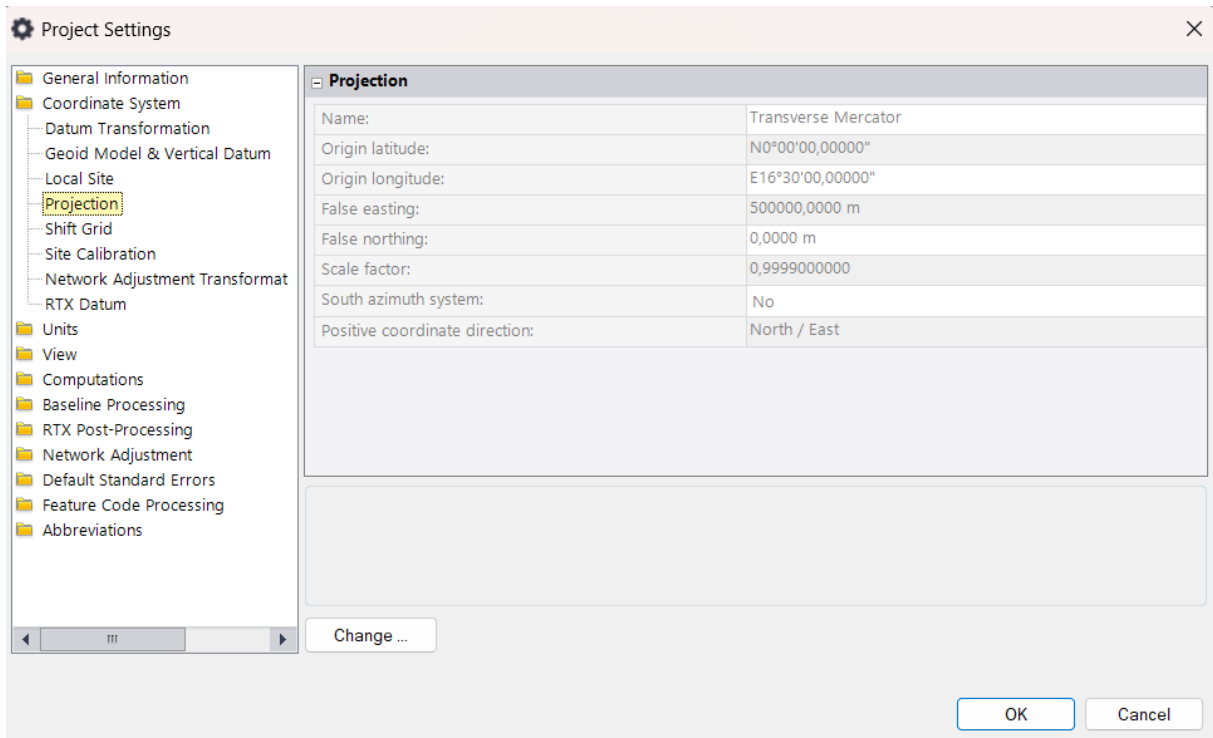
## Obrada opažanja, računanje vektora i izjednačenje mreže u TBC-u

Nakon završetka terenskog mjerenja, slijedi detaljna obrada prikupljenih podataka prema smjernicama navedenim u dokumentu *Obrada statičkih opažanja u Trimble Business Center 5.00*. Ovaj proces obuhvaća analizu, prilagodbu i integraciju mjernih podataka kako bi se osigurala njihova točnost, konzistentnost i spremnost za daljnju upotrebu. Obrada podataka je ključna faza u kojoj se terenski rezultati transformiraju u korisne informacije.

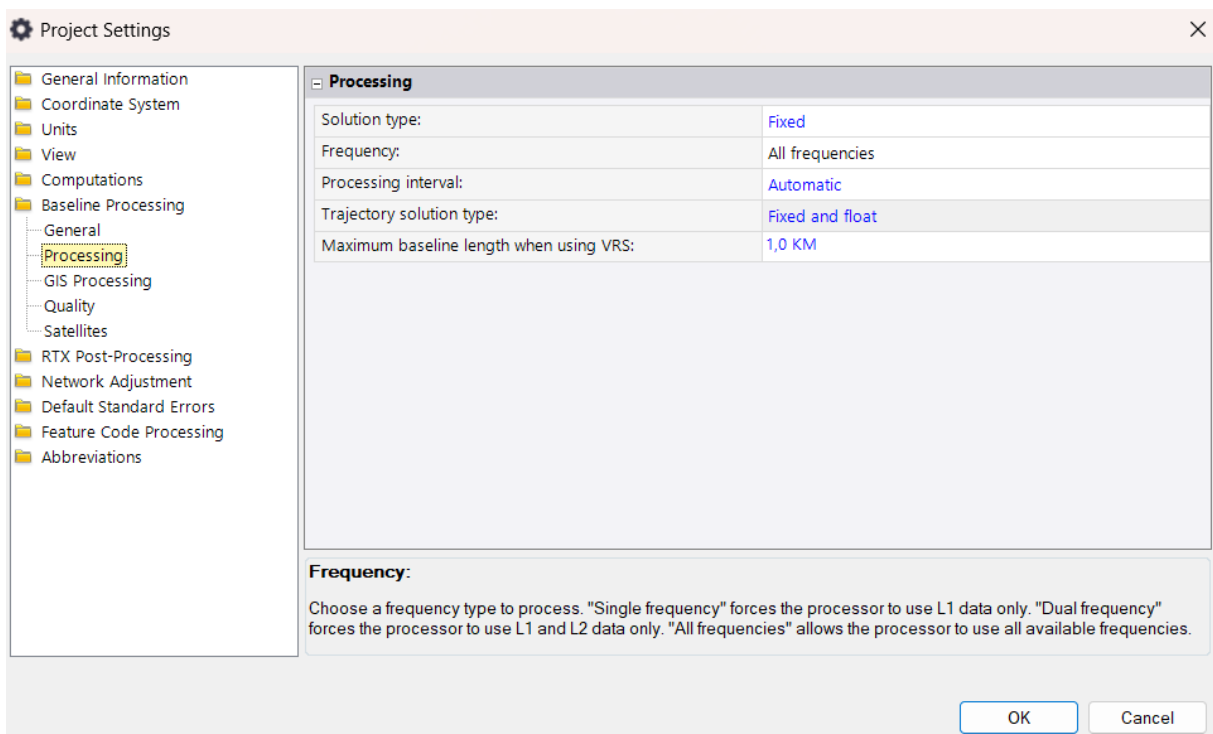
Postupak obrade započinje preuzimanjem svih potrebnih podataka opažanja s CROPOS mreže i GNSS uređaja korištenih tijekom terenskih vježbi. Nakon što su podaci spremljeni na lokalno računalo, pristupa se izradi novog projekta u TBC-u. Prilikom definiranja projekta koristi se *Metric* predložak, a koordinatni sustav postavlja se na HTRS96/TM putem alata *Coordinate System Manager*. Ovaj sustav omogućuje točnu georeferenciju podataka unutar hrvatskog referentnog okvira. Nadalje definiramo postavke sustava, navedeni su neki od primjera kako je izgledalo samo postavljanje prije početka obrade (Slika 22, Slika 23 i Slika 24).



Slika 22 Definiranje postavki sustava - koordinatni sustav

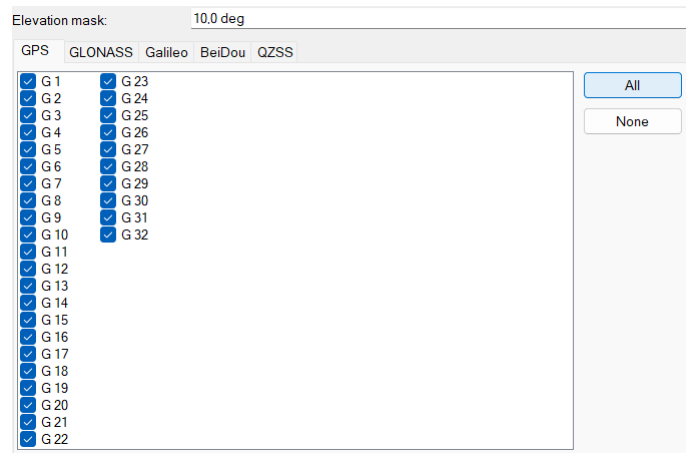


Slika 23 Definiranje postavki sustava – projekcija

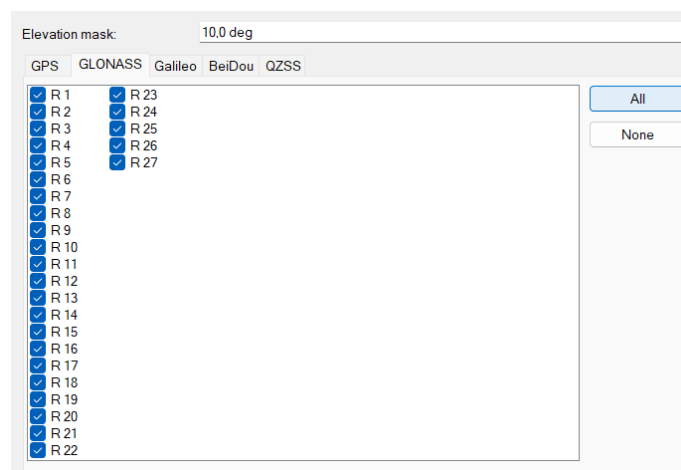


Slika 24 Definiranje postavki sustava - Baseline Processing

Definiranje postavki projekta uključuje odabir satelitskih sustava, gdje su za obradu podataka aktivirani GPS (Slika 25) i GLONASS (Slika 26), te postavljanje elevacijske maske na 10° kako bi se eliminirali podaci iz niskih kutova elevacije koji mogu sadržavati više šuma.

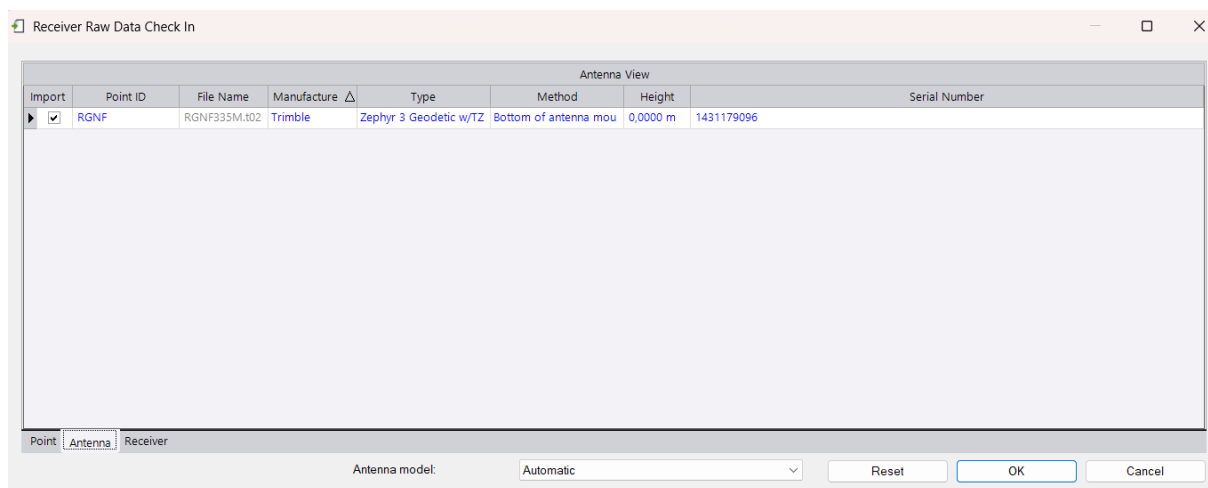


Slika 25 Aktivacija GPS-a



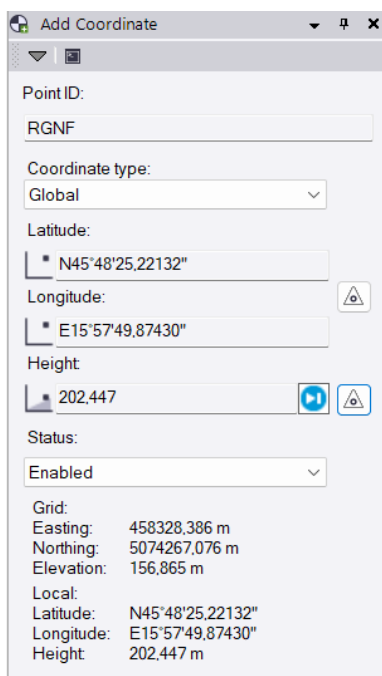
Slika 26 Aktivacija GLONASS-a

Nakon postavljanja koordinatnog sustava i osnovnih parametara projekta, podaci opažanja u formatu \*.t02 preuzeti iz CROPOS mreže učitavaju se u TBC. Prilikom učitavanja podataka provjerava se ispravnost informacija o mjernim točkama, uključujući ime točke, proizvođača uređaja, tip antene, način mjerenja visine te model prijavnika (Slika 27). Po potrebi se ove informacije prilagođavaju kako bi odgovarale zapisnicima GNSS mjerenja.

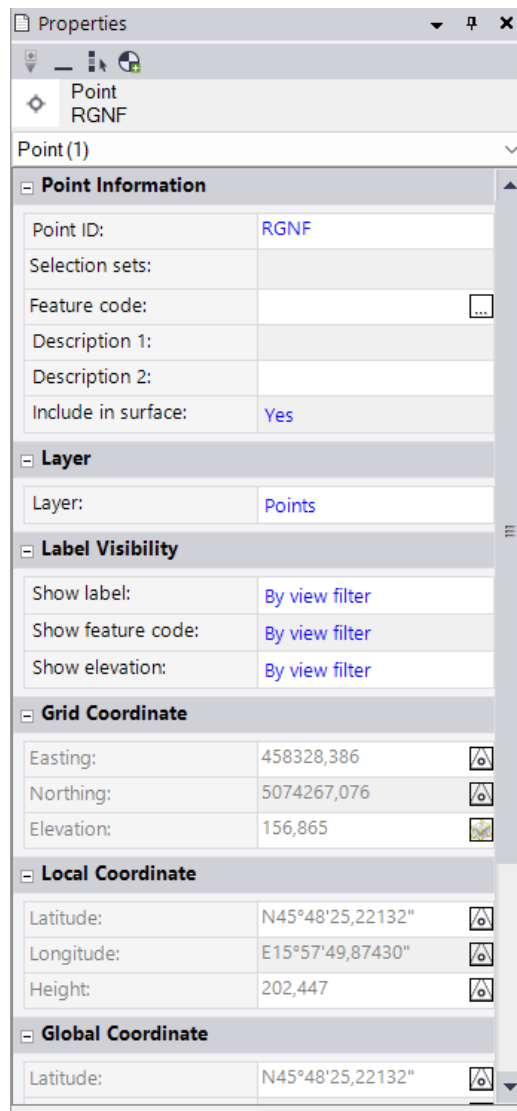


Slika 27 Provjera importa podataka

Nakon unosa podataka, TBC automatski izračunava vektore između virtualnih referentnih stanica (VRS) i prikazuje potencijalne bazne linije unutar definiranog koordinatnog sustava. Za dodatnu preciznost, elipsoidne koordinate jedne od referentnih točaka (RGNF) fiksiraju se na najvišu razinu točnosti (Slika 28). Time se osigurava stabilna referentna baza za daljnju obradu podataka. Postupak omogućuje precizno smještanje svih opažanih točaka unutar koordinatnog sustava HTRS96/TM i priprema podatke za sljedeće korake obrade (Slika 29).

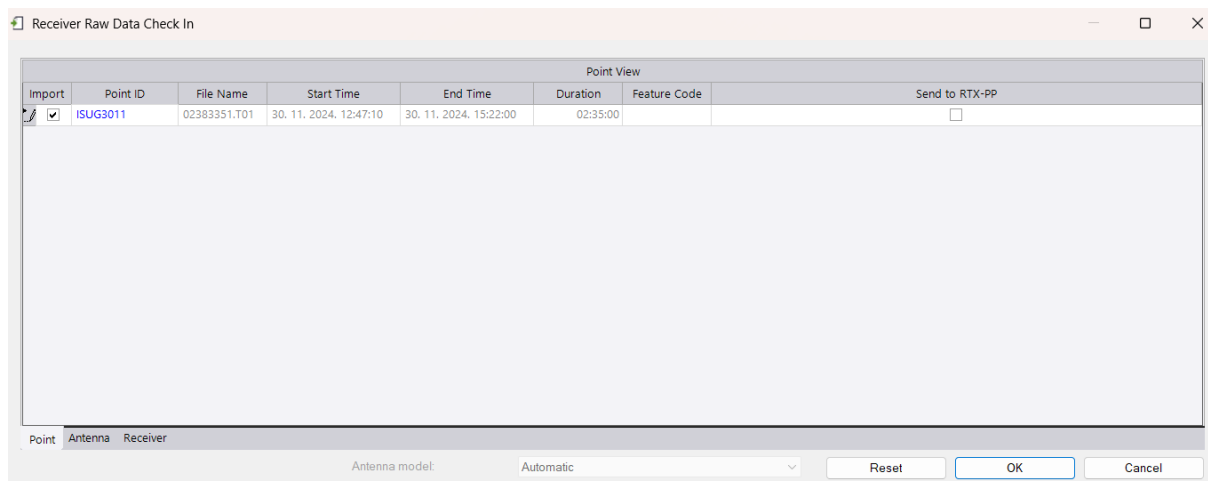


Slika 28 Fiksiranje koordinata RGNF

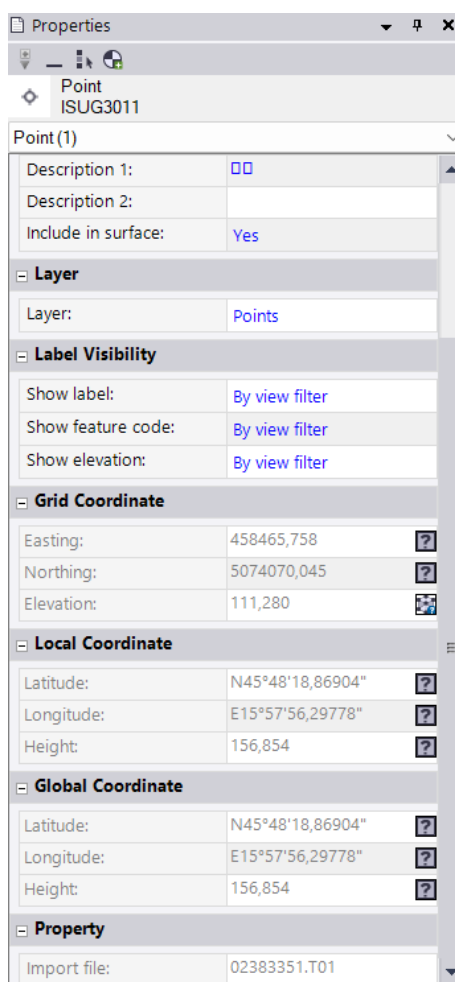


Slika 29 Fiksirana koordinata RGNF

Slijedi učitavanje podataka opažanja. Podaci se trebaju učitati odvojeno prema prijammiku, a zatim se odabire odgovarajuća datoteka koja se usklađuje s podacima s terena. Ovaj korak osigurava da podaci budu ispravno povezani s terenskim zapisnikom za daljnju obradu. naglasak je na procesu "Receiver Raw Data Check-In" (Slika 30), koji uključuje usklađivanje podataka iz učitanih datoteka s podacima iz terenskog zapisnika. To uključuje provjeru i usklađivanje informacija kao što su ime točke, proizvođač uređaja, tip antene, način mjerenja visine, serijski brojevi antena i modeli prijammika. Za podatke koji se mogu mijenjati, poput visine ili tipa antene, označene su plavom bojom, a važno je također da se imena točaka upišu velikim slovima.



Slika 30 Receiver Raw Data Check-In opažane točke

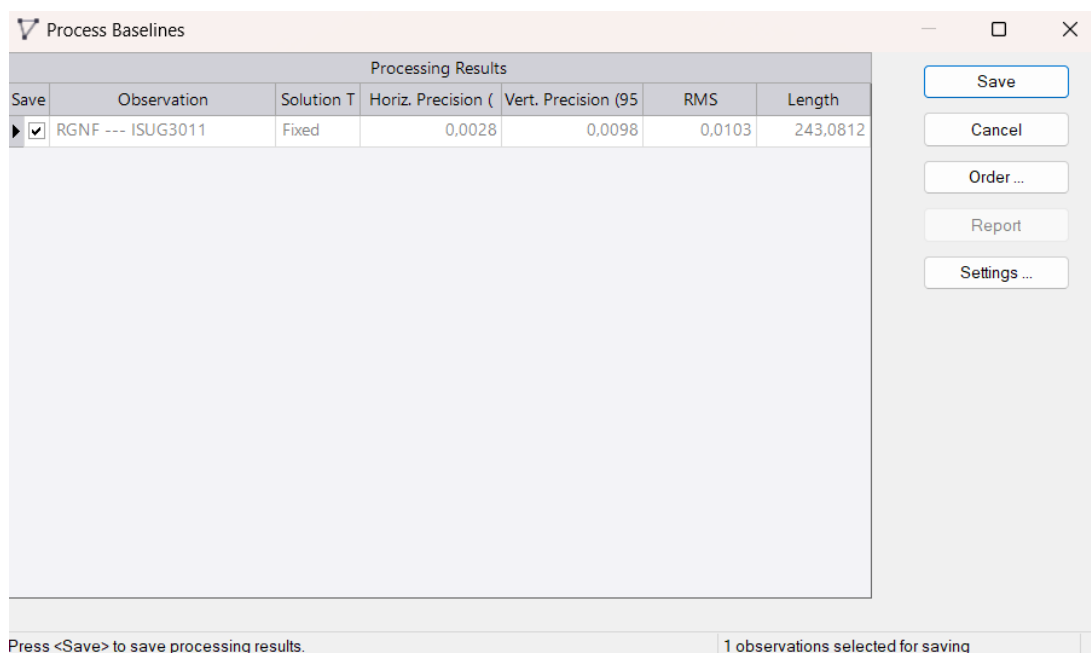


Slika 31 Svojstva opažane točke

Određivanje bazne linije izvršeno je za odabrani vektor između referentne i nepoznate točke opažanja. Odabir vektora temelji se na analizi najveće vrijednosti RMS-a, dodatno s razmatranjem parametara vertikalne i horizontalne preciznosti te duljina vektora. U našem

slučaju postoji samo jedan vektor. Nakon inicijalnog izračuna dobiveni su rezultati koji uključuju procjenu preciznosti, poput horizontalne i vertikalne točnosti te ukupne pogreške.

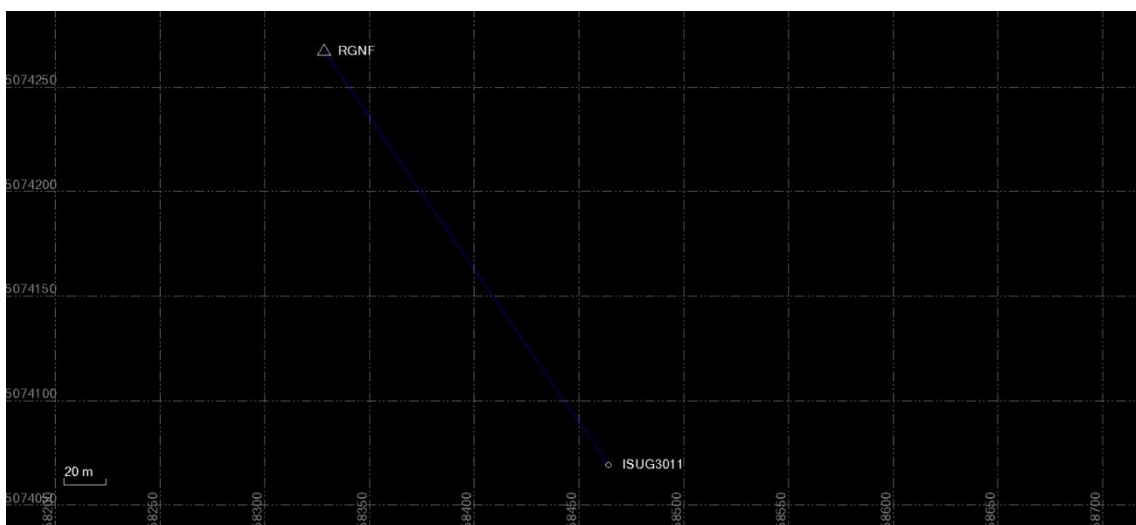
Dobiveni rezultati analizirani su i dokumentirani kako bi se zabilježilo početno stanje obrade. (Slika 32). Računanje baznih linija izvedeno je odabirom opcije *Survey -> Process Baselines*. Rezultati prvog ("nultog") prolaza obuhvaćaju osnovne parametre preciznosti, uključujući horizontalnu i vertikalnu preciznost te RMS (Root Mean Square). Vektor je vizualno prikazan u grafičkom prikazu projekta (Slika 33).



Processing Results						
Save	Observation	Solution T	Horiz. Precision (	Vert. Precision (95	RMS	Length
<input checked="" type="checkbox"/>	RGNF --- ISUG3011	Fixed	0,0028	0,0098	0,0103	243,0812

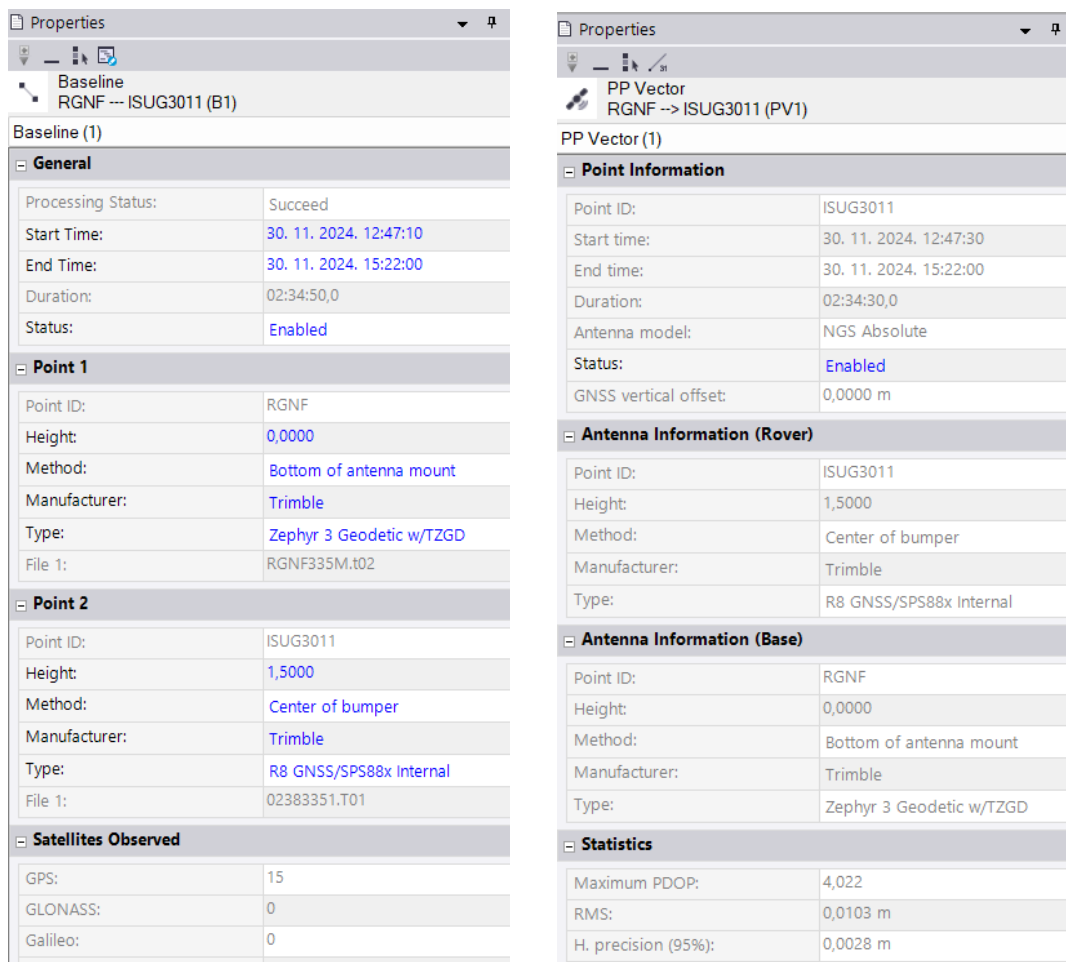
Press <Save> to save processing results. 1 observations selected for saving

Slika 32 Nulti prolaz



Slika 33 Vizualni prikaz vektora

Bazne linije predstavljaju prostorne vektore između dvije točke opažanja, temeljene na simultanim GNSS opažanjima. Njihova je uloga ključna u određivanju relativnih koordinata unutar mreže. Preciznost baznih linija ovisi o kvaliteti opažanja, broju dostupnih satelita, duljini linije i uvjetima mjerenja. S druge strane, PP vektori su rezultat naknadne obrade tih podataka, pri čemu se primjenjuju dodatne analize kako bi se postigla veća točnost koordinata i preciznija procjena pogrešaka (Slika 34).



Slika 34 Svojstva Baseline i PP Vector

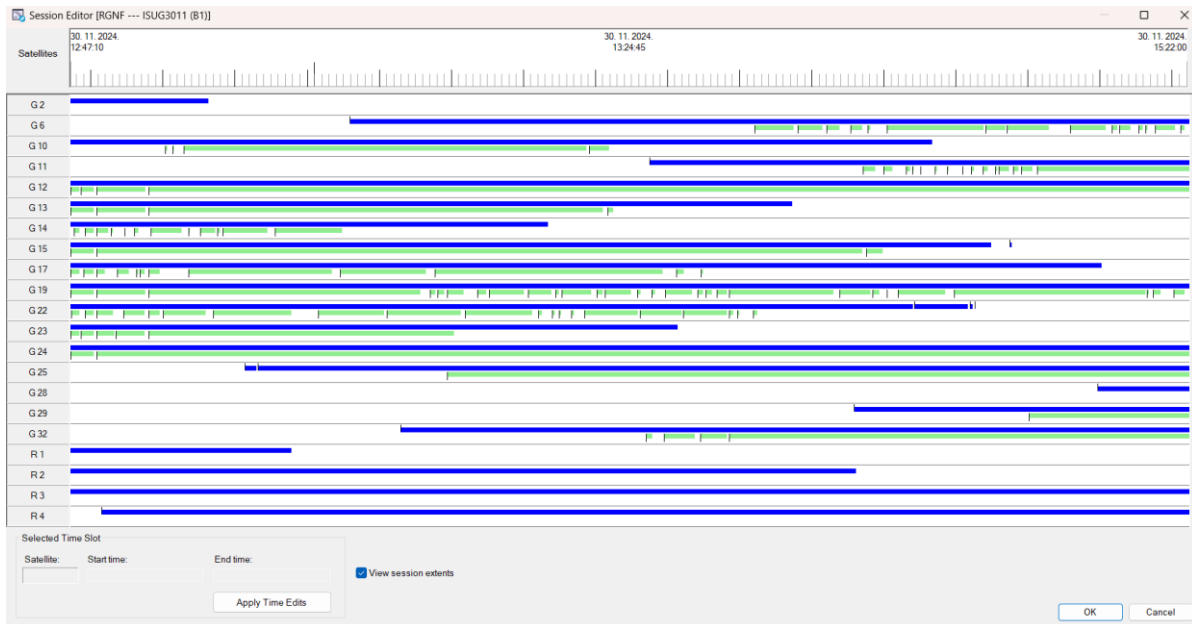
Izvešće o izračunu bazne linije detaljno opisuje kvalitetu pojedinog vektora i opažanja na temelju kojih je izračunat. Sadržava informacije o duljini vektora, preciznosti mjerenja i eventualnim odstupanjima, čime omogućuje analizu i identifikaciju potencijalnih pogrešaka. Posebno se analizira odstupanje pojedinih satelita kroz rezidualne, što pruža uvid u šum mjerenja. Izvešće također uključuje statističke parametre poput kovarijacijske matrice, koji pomažu u procjeni pouzdanosti rezultata. Tablica 4 prikazuje podatke o satelitima koji su prikazani u izvješću o izračunu bazne linije.

Tablica 4 Podaci o satelitima Baseline processing reporta nultog prolaza

NAZIV SATELITA	MEAN	STD.DEV.	MIN	MAX
G6	-0,0076	0,0209	-0,0346	0,0357
G10	-0,0080	0,0309	-0,0834	0,0656
G11	-0,0153	0,0216	-0,0515	0,0232
G12	0,0004	0,0122	-0,0286	0,0373
G13	-0,0075	0,0233	-0,0593	0,0514
G14	0,0026	0,0365	-0,0569	0,0833
G15	-0,0007	0,0208	-0,0486	0,0770
G17	-0,0012	0,0224	-0,0743	0,0625
G19	0,0059	0,0257	-0,0578	0,0812
G22	0,0198	0,0325	-0,0398	0,0920
G23	-0,0051	0,0272	-0,0559	0,0685
G24	0,0012	0,0129	-0,0309	0,0375
G25	-0,0077	0,0187	-0,0571	0,0557
G29	0,0184	0,051	-0,0345	0,0681

Iz tablice možemo izvući podatke o rezidualima, pa tako vidimo da najveće reziduale ima satelit G10, a najmanje satelit G12.

Postupak obrade uključuje optimizaciju vektora s ciljem poboljšanja statističkih pokazatelja poput ukupne pogreške (RMS), horizontalne i vertikalne preciznosti. Nakon identifikacije, otvara se *Session Editor* (Slika 35). kako bi se analizirali podaci opažanja korišteni za izračun tog vektora. U ovom koraku moguće je isključiti podatke pojedinih satelita koji pokazuju najveće reziduale, odnosno odstupanja od očekivanih vrijednosti. Reziduali se analiziraju kako bi se identificirali sateliti čija mjerenja imaju najveći šum ili odstupanja. Isključivanjem takvih podataka provodi se ponovni izračun vektora, čime se osigurava precizniji rezultat.



Slika 35 Session Editor

Nakon isključivanja podataka, provodi se ponovni izračun bazne linije. Dobiveni rezultati uspoređuju se s rezultatima iz prvotnog izračuna kako bi se utvrdilo poboljšanje statističkih parametara. Fokus je na smanjenju ukupne pogreške i poboljšanju horizontalne i vertikalne preciznosti. Ako su rezultati zadovoljavajući, podaci se pohranjuju za daljnju analizu.

Prvo smo iz obrade isključili satelit G6, nakon čega je izvršen ponovni izračun bazne linije (Slika 36). Dobivene rezultate analizirali smo kroz *Baseline Processing Report*, gdje su provjeravani parametri preciznosti i identificirani daljnji izvori odstupanja.

Save	Observation	Solution T	Horiz. Precision (	Vert. Precision (95	RMS	Length
<input checked="" type="checkbox"/>	RGNF --- ISUG3011	Fixed	0,0028	0,0097	0,0102	243,0811

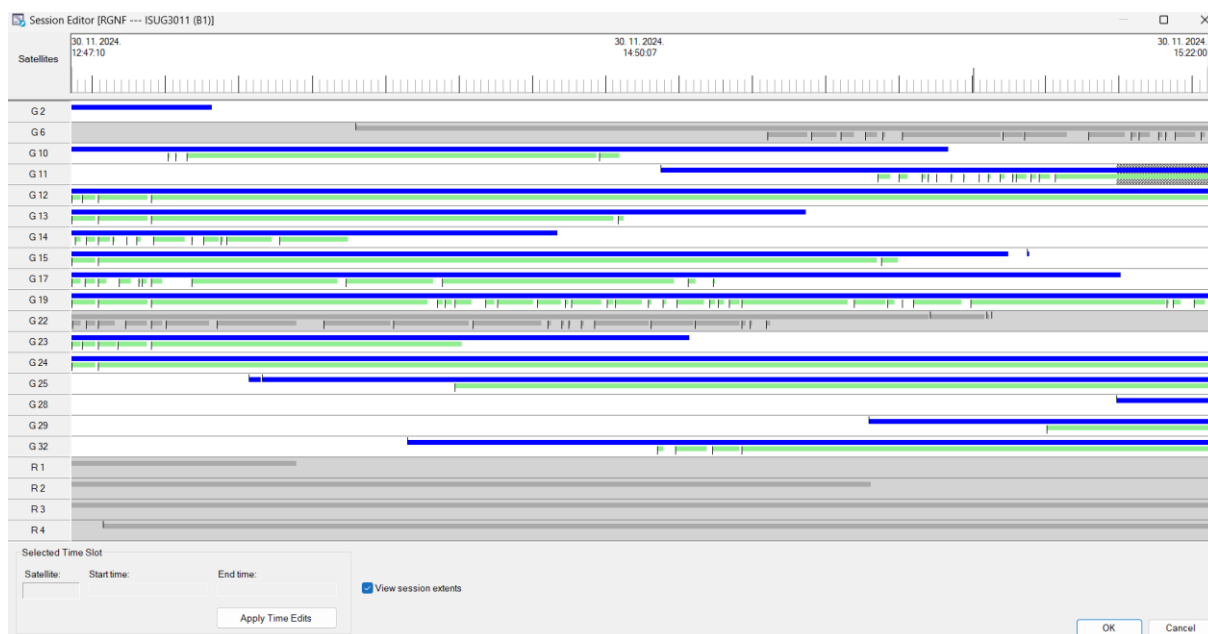
Slika 36 Rezultati bazne linije bez satelita G6

U sljedećem koraku isključen je satelit G22, uz ponavljanje postupka računanja i analize izvješća (Slika 37).

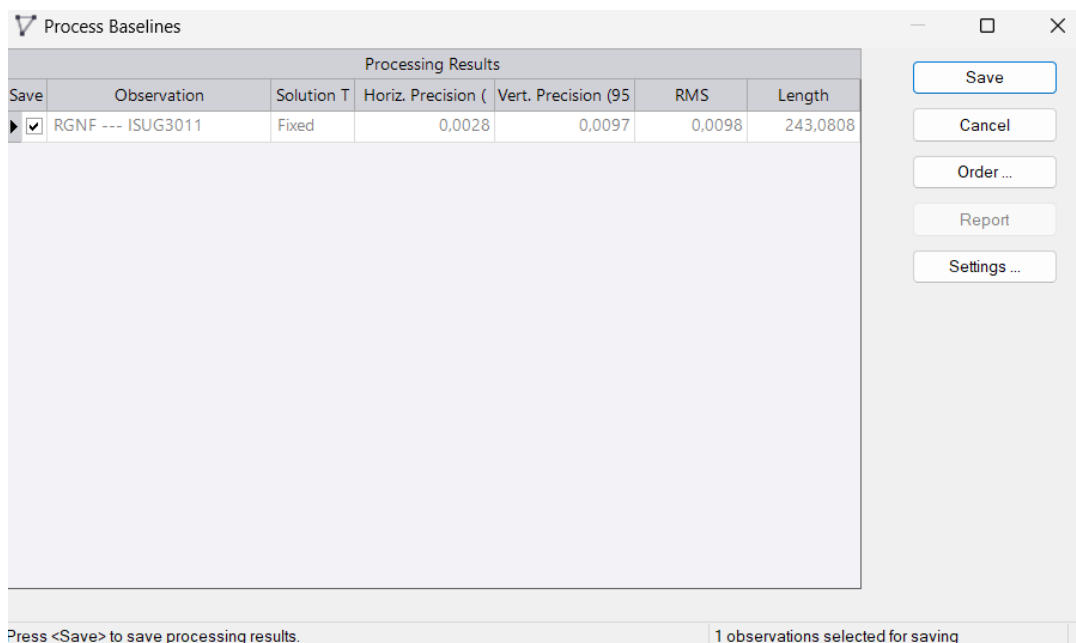
Processing Results						
Save	Observation	Solution T	Horiz. Precision (	Vert. Precision (95	RMS	Length
<input checked="" type="checkbox"/>	RGNF --- ISUG3011	Fixed	0.0028	0.0097	0.0099	243,0811

Slika 37 Rezultati bazne linije bez satelita G6 i G22

Nakon toga, iz podataka satelita G11 isključili smo vremenski interval od 15:09 do 15:22 (Slika 38, Slika 39), čime smo eliminirali potencijalne pogreške unutar specifičnog vremenskog okvira. Nakon svake iteracije, usporedili smo dobivene rezultate s prethodnima kako bismo osigurali sustavno poboljšanje kvalitete vektora. Ovaj postupak omogućio je detaljnu optimizaciju podataka i postizanje preciznijih rezultata u izračunu bazne linije.



Slika 38 Postupak isključenja vremenskog intervala satelita G11



Slika 39 Rezultati bazne linije bez satelita G11, G22 i vremenskog intervala od 15:09 do 15:22 satelita G11

Tijekom postupka optimizacije vodi se tablica koja dokumentira sve promjene napravljene tijekom obrade vektora. Tablica sadrži informacije o odabranom vektoru, parametrima računanja, tipu rješenja, horizontalnoj i vertikalnoj preciznosti, RMS-u i duljini vektora. Cilj optimizacije nije samo poboljšanje statističkih pokazatelja, već i osiguravanje pouzdanosti podataka. Ova tablica čini sastavni dio tehničkog izvješća jer omogućuje detaljnu rekonstrukciju postupka optimizacije.

Tablica 5 Tablica optimiranja

Vektor	Parametri računanja	H. Precision	V. Precision	RMS	Length
RGNF- ISUG3011	0. prolaz	0,0028	0,0098	0,0103	243,0811
	ex. G6	0,0028	0,0097	0,0102	243,0811
	ex. G6, G22	0,0028	0,0097	0,0099	243,0811
	ex. G6, G22, G11(15:09-15:22)	0,0028	0,0097	0,0098	243,0808

U parametrima računanja oznaka "ex." označava isključivanje ili izuzimanje podataka kako bi se uklonili utjecaji pogrešaka. Vremenski interval "(15:09-15:22)" uz G11 se odnosi na isključeni period satelita.

Analizom tablice uočavamo da horizontalna preciznost ostaje konstantna (0,0028) u svim iteracijama, što sugerira da isključivanje podataka G6, G22 i G11 nije imalo utjecaja na horizontalnu komponentu preciznosti. S druge strane, vertikalna preciznost pokazuje minimalne promjene, smanjujući se s 0,0098 u početnom prolazu na 0,0097 u ostalim iteracijama. Slično tome, RMS vrijednost se neznatno mijenja, što ukazuje na vrlo male razlike u ukupnoj točnosti između različitih iteracija. Duljina vektora također pokazuje minimalnu promjenu u zadnjoj iteraciji. Zaključno, optimiranje vektora RGNF-ISUG3011 provedeno je isključivanjem podataka G6, G22 i G11. Ove promjene rezultirale su minimalnim poboljšanjima u vertikalnoj preciznosti i RMS vrijednosti, dok horizontalna preciznost ostaje nepromijenjena. Promjene u duljini vektora su zanemarive. Ovi rezultati sugeriraju da su isključeni podaci imali mali utjecaj na konačni rezultat, ali su ipak pridonijeli podešavanju i poboljšanju točnosti vektora.

Za zadnji dio zadatka obrade potrebno je skratiti prozor opažanja na dijelove gdje su prisutne smetnje kako bi se analiziralo kako takve smetnje utječu na točnost određivanja pozicije. Ovaj postupak omogućava detaljniju analizu a kada su uvjeti podataka nepovoljni (npr. prisutnost signala smetnji ili ometanja). Uzimajući samo segmente sa smetnjama, uočavamo kako ti uvjeti mogu uzrokovati pogreške ili smanjiti preciznost u određenim dijelovima analize (Slika 40). Ovaj pristup omogućava bolju procjenu osjetljivosti modela na nepovoljne uvjete i pomaže u razumijevanju kako se smetnje odražavaju na preciznost pozicioniranja.

The screenshot shows a window titled 'Process Baselines' with a 'Processing Results' table. The table has columns for 'Save', 'Observation', 'Solution T', 'Horiz. Precision (', 'Vert. Precision (95', 'RMS', and 'Length'. A single row is visible for observation 'RGNF --- ISUG3011' with a 'Fixed' solution type, horizontal precision of 0,0071, vertical precision of 0,0403, an RMS of 0,0163, and a length of 243,0904. To the right of the table are buttons for 'Save', 'Cancel', 'Order...', 'Report', and 'Settings ...'. At the bottom of the window, a status bar indicates 'Press <Save> to save processing results.' and '1 observations selected for saving'.

Save	Observation	Solution T	Horiz. Precision (	Vert. Precision (95	RMS	Length
<input checked="" type="checkbox"/>	RGNF --- ISUG3011	Fixed	0,0071	0,0403	0,0163	243,0904

Slika 40 Rezultati bazne linije sa uključenim smetnjama

## Zaključak

Interferencija GNSS signala u urbanim sredinama, posebno na lokacijama smještenim između željezničke i tramvajske pruge, predstavlja značajan izazov za precizno pozicioniranje. Glavni uzroci ovih smetnji uključuju refleksije signala od metalnih površina poput pruga, vlakova i tramvaja, elektromagnetske interferencije uzrokovane visokonaponskim električnim instalacijama te ograničen vidokrug prema nebu zbog okolnih građevina i infrastrukture. Dinamični elementi, poput pokretnih vozila, dodatno pojačavaju Multipath efekt, čineći signale nestabilnim i smanjujući ukupnu točnost GNSS sustava.

Posljedice ovih interferencija očituju se u smanjenju Signal-to-Noise Ratio (SNR), pogreškama u pozicioniranju, privremenom gubitku signala te degradaciji kvalitete sustava visoke preciznosti poput RTK-a i PPP-a. Ove smetnje mogu značajno utjecati na pouzdanost GNSS aplikacija, posebno u kontekstu kritičnih sustava upravljanja prometom i geodetskih mjerenja.

Kako bi se minimizirali negativni učinci, preporučuje se korištenje naprednih GNSS tehnologija, uključujući višefrekvencijske prijemnike, antene s mogućnošću suzbijanja Multipath efekata te postavljanje minimalnog elevacijskog kuta za eliminaciju niskih satelita. U posebnim slučajevima, dodatne metode poput integracije GNSS-a s inercijalnim sustavima ili postprocesiranja podataka mogu poboljšati pouzdanost i točnost pozicioniranja. Ova rješenja, prilagođena specifičnostima urbanih sredina, ključna su za pouzdanu upotrebu GNSS sustava u izazovnim okruženjima poput područja između željezničke i tramvajske pruge.

## Literatura

Bačić Željko (2024./2025.): Integrirani sustavi u geomatici, predavanja, Sveučilišta u Zagrebu, Geodetski fakultet

Bačić Željko (2024./2025.): Integrirani sustavi u geomatici, vježbe, Sveučilišta u Zagrebu, Geodetski fakultet

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. (2008): GNSS – Global Navigation Satellite Systems – GPS, GLONASS, Galileo and more, Springer Wien New York

Humphreys, T. E., Ledvina, B., Psiaki, M., O’Hanlon, B. W. (2008.): Assessing the Spoofing Threat: Development of a Portable GPS Civilian Spoofer, Conference: 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2008)

Janssen, V. (2023.): Understanding the RINEX format for GNSS data transfer and storage, Coordinates

Zrinjski, M., Barković, Đ., Matika, K. (2019.): Razvoj i modernizacija GNSS-a, Geodetski list, Vol. 73 (96) No. 1, 2019.

URL 1 - <https://gage.upc.edu/en/learning-materials/library/gnss-format-descriptions> (16.01.2025.)

URL 2 - <https://novotech.com/pages/signal-to-noise-ratio-snr> (16.01.2025.)

URL 3 - [https://www.tersus-gnss.com/tech\\_blog/what-is-dop-in-gnss](https://www.tersus-gnss.com/tech_blog/what-is-dop-in-gnss) (16.01.2025.)

## Prilozi

Slika 1 Multipath.....	2
Slika 2 Lokacija opažanja.....	5
Slika 3 Točka opažanja ISUG3011 .....	6
Slika 4 Trimble R8 i oprema .....	6
Slika 5 Grafički prikazi satelita za sve frekvencije (ISUG3011) .....	8
Slika 6 Skyplot za sve frekvencije (ISUG3011).....	9
Slika 7 DOP i broj satelita za sve frekvencije (ISUG3011) .....	9
Slika 8 SNR/Multipath/Elevacija za sve frekvencije (ISUG3011).....	10
Slika 9 SNR/Multipath za sve frekvencije (ISUG3011) .....	10
Slika 10 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L1 (ISUG3011) .....	14
Slika 11 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L2 (ISUG3011) .....	15
Slika 12 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L1C (ISUG3011).....	15
Slika 13 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L2X (ISUG3011) .....	16
Slika 14 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L2W (ISUG3011) .....	16
Slika 15 Grafički prikazi satelita za sve frekvencije (RGNF) .....	18
Slika 16 Skyplot za sve frekvencije (RGNF) .....	18
Slika 17 DOP i broj satelita za sve frekvencije (RGNF).....	19
Slika 18 SNR/Multipath/Elevacija za sve frekvencije (RGNF) .....	19
Slika 19 SNR/Multipath za sve frekvencije (RGNF).....	20
Slika 20 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L1 (RGNF).....	20
Slika 21 SNR/Multipath/Elevacija za frekvenciju L2 (RGNF).....	21
Slika 22 Definiranje postavki sustava - koordinatni sustav.....	23
Slika 23 Definiranje postavki sustava – projekcija .....	24
Slika 24 Definiranje postavki sustava - Baseline Processing .....	24
Slika 25 Aktivacija GPS-a.....	25
Slika 26 Aktivacija GLONASS-a.....	25
Slika 27 Provjera importa podataka .....	26
Slika 28 Fiksiranje koordinata RGNF .....	26
Slika 29 Fiksirana koordinata RGNF .....	27
Slika 30 Receiver Raw Data Check-In opažane točke .....	28
Slika 31 Svojstva opažane točke .....	28
Slika 32 Nulti prolaz.....	29
Slika 33 Vizualni prikaz vektora .....	29
Slika 34 Svojstva Baseline i PP Vector .....	30
Slika 35 Session Editor.....	32
Slika 36 Rezultati bazne linije bez satelita G6 .....	32
Slika 37 Rezultati bazne linije bez satelita G6 i G22 .....	33
Slika 38 Postupak isključenja vremenskog intervala satelita G11 .....	33
Slika 39 Rezultati bazne linije bez satelita G11, G22 i vremenskog intervala od 15:09 do 15:22 satelita G11 .....	34
Slika 40 Rezultati bazne linije sa uključenim smetnjama .....	35

Tablica 1. Karakteristike Trimble R8 uređaja .....	7
Tablica 2 Minimalne i maksimalne vrijednosti SNR-a (ISUG3011) .....	11
Tablica 3 Minimalne i maksimalne vrijednosti Multipath-a (ISUG3011) .....	11
Tablica 4 Podaci o satelitima Baseline processing reporta nultog prolaza.....	31
Tablica 5 Tablica optimiranja.....	34