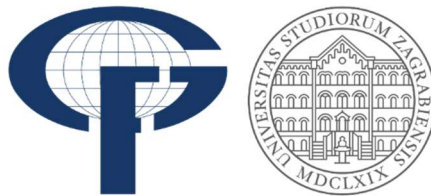


Sveučilište u Zagrebu
Geodetski fakultet
Zavod za geomatiku
Katedra za satelitsku geodeziju
Kolegij: Integrirani sustavi u geomatici



Utjecaj ometača GNSS signala na navigaciju pomoću GNSS-a

Seminarski rad

Zagreb, siječanj 2026.

Izradile: Vedrana Drlić, Josipa Gašpar, Marta Gospić

Sadržaj

1. UVOD	1
2. OMETANJE GNSS SIGNALA	2
2.1. GNSS signal	2
2.2. Izvori ometanja PNT sustava	2
2.3. Vrste ometanja GNSS signala	3
2.4. Podjela i tehničke karakteristike ometača	3
3. TESTIRANJE UTJECAJA GNSS OMETAČA NA NAVIGACIJU (Andøya).....	5
4. ISPITIVANJE UTJECAJA OMETAČA	8
4.1 Postupak izvođenja terenskog ispitivanja	8
4.2 Obrada i analiza prikupljenih podataka.....	9
5. ZAKLJUČAK	19
POPIS LITERATURE	20
POPIS SLIKA	21
POPIS TABLICA.....	22

1. UVOD

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS – *Global Navigation Satellite Systems*) zajednički su naziv za satelitske konstelacije kao što su GPS, Galileo, GLONASS i BeiDou, koje omogućuju određivanje pozicije, navigacije i vremena (PNT) u realnom vremenu na globalnoj razini. GNSS tehnologija danas predstavlja temelj brojnih civilnih i vojnih primjena, uključujući promet, geodeziju, kartografiju, telekomunikacije, preciznu poljoprivredu, autonomne sustave i sigurnosne aplikacije.

GNSS pozicioniranje temelji se na mjerenju vremena putovanja signala između satelita i prijemnika. Sateliti kontinuirano emitiraju mikrovalne signale koji sadrže vremenske oznake generirane vrlo preciznim atomskim satovima. Prijemnik registrira vrijeme dolaska signala, a razlika između vremena emisije i prijema, pomnožena s brzinom svjetlosti, daje udaljenost između prijemnika i satelita. Budući da satelitski i prijemnički satovi nisu savršeno sinkronizirani, izmjerene udaljenosti nazivaju se pseudo-udaljenosti. Sinkronizacija sata prijemnika i određivanje njegove pozicije provode se istovremeno, pri čemu je potrebno istodobno opažati najmanje četiri satelita. [1]

Točnost GNSS pozicioniranja ovisi o poznavanju položaja satelita i korekcija njihovih satova. Operatori GNSS sustava izračunavaju satelitske orbite i korekcije na temelju opažanja mreža zemaljskih stanica te ih emitiraju korisnicima. Emitirane efemeride zadovoljavaju potrebe navigacije, no za visoko precizne primjene, poput geodetskog promatranja Zemlje, potrebne su znatno točnije orbite i korekcije satova, koje se određuju posebnim postupcima.

Razvojem GNSS tehnologije znatno je porasla njezina civilna primjena, koja danas u mnogim područjima nadmašuje vojnu. GNSS je integriran u velik broj svakodnevnih aplikacija i infrastruktura, što ga čini kritičnim dijelom modernog društva. Međutim, istovremeno s rastom primjene raste i ranjivost sustava, osobito zbog mogućnosti ometanja GNSS signala. Civilne infrastrukture često nisu projektirane za otpornost na namjerne napade, zbog čega je nužno pravovremeno identificirati potencijalne slabosti GNSS-ovisnih sustava te implementirati odgovarajuće mjere zaštite i ublažavanja posljedica ometanja. [2]

Cilj ovog seminarskog rada je ispitati utjecaj ometača GNSS signala na civilnu navigaciju te analizirati posljedice ometanja na točnost i dostupnost GNSS pozicioniranja.

2. OMETANJE GNSS SIGNALA

2.1. GNSS signal

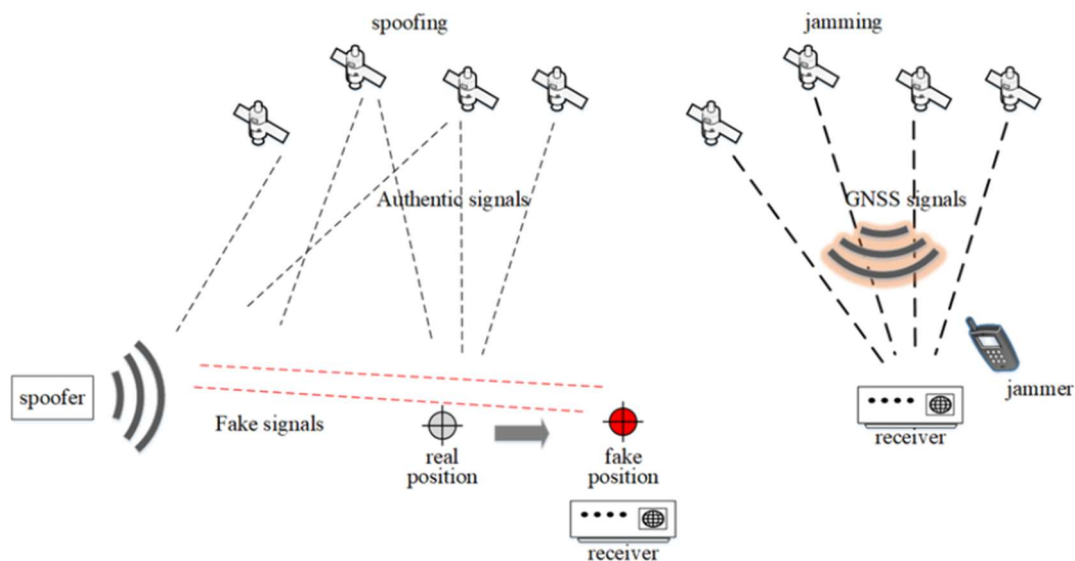
GNSS sateliti kontinuirano odašilju navigacijske signale u dvije ili više frekvencija u L-frekvencijskom području, koje se nalazi u rasponu od 1 do 2 GHz. Signali su kružno polarizirani po pravilu desne ruke te sadrže kodove i navigacijske podatke koji omogućuju korisnicima određivanje vremena putovanja signala od satelita do prijemnika, a time i izračun položaja u određenoj epohi. Osnovne komponente GNSS signala čine noseći val, pseudoslučajni kodovi (PRN) i navigacijska poruka. Noseći val predstavlja sinusni radiofrekvencijski signal na kojem su modulirani kodovi i podaci. PRN kodovi omogućuju identifikaciju satelita i određivanje pseudoudaljenosti primjenom korelacijske obrade signala, dok navigacijska poruka sadrži informacije o satelitskim orbitama, korekcijama satova i stanju sustava. Zbog velike udaljenosti između satelita i prijemnika, GNSS signal na prijemniku ima vrlo nisku snagu i zaprimljen je zajedno s različitim oblicima šuma i smetnji. Pouzdan prijam i obrada signala zahtijevaju primjenu tehnika proširenog spektra, koje omogućuju izdvajanje korisnog signala iz šuma, ali istodobno čine GNSS sustav osjetljivim na dodatne izvore interferencije. Upravo ta kombinacija slabe snage signala i poznate strukture čini GNSS posebno ranjivim na različite oblike ometanja, što je detaljnije razmotreno u sljedećem poglavlju. [5]

2.2. Izvori ometanja PNT sustava

Ometanje PNT sustava (Positioning, Navigation and Timing) može se pojaviti kao posljedica nenamjernih ili namjernih utjecaja, kao i zbog ljudskog faktora. Nenamjerni izvori ometanja uključuju radiofrekvencijske smetnje (RFI), ionosferske poremećaje te zagušenje radiofrekvencijskog spektra. Ionosferski utjecaji osobito su izraženi tijekom razdoblja povećane Sunčeve aktivnosti, kada promjene u ionosferi mogu uzrokovati degradaciju GNSS signala i smanjenje kvalitete navigacijskog rješenja. Namjerni izvori ometanja obuhvaćaju blokiranje i zavaravanje GNSS signala, koji se provode uporabom posebno dizajniranih ometača. Takvi oblici ometanja sve su dostupniji zbog jednostavne izrade uređaja male snage i njihove široke dostupnosti, što dodatno povećava ranjivost civilnih GNSS aplikacija. Uz tehničke uzroke, značajnu ulogu u degradaciji PNT sustava ima i ljudski faktor, koji uključuje pogreške u dizajnu korisničke opreme, nedostatak znanja i obuke korisnika te pretjerano oslanjanje na GNSS bez dodatnih provjera pouzdanosti. U takvim slučajevima i slabiji poremećaji mogu dovesti do ozbiljnih posljedica u navigacijskim i sigurnosno osjetljivim primjenama. Primjeri iz prakse potvrđuju da ometanje GNSS signala nije rijetka pojava. Na aerodromu Newark u saveznoj državi New Jersey 2009. godine zabilježeni su kratkotrajni i ponavljajući prekidi GNSS prijama nakon ugradnje novih navigacijskih prijamnika. Naknadna istraga Federalne uprave za zrakoplovstvo (FAA) utvrdila je da je uzrok smetnji bio vanjski izvor ometanja povezan s prometom u neposrednoj blizini aerodroma. Slični slučajevi namjernog ometanja zabilježeni su i u širem sigurnosnom kontekstu, uključujući krađe vozila te vojne aktivnosti koje su imale utjecaj na civilni zračni i pomorski promet. [2] [4]

2.3. Vrste ometanja GNSS signala

U kontekstu sigurnosti GNSS sustava razlikuje se nekoliko osnovnih oblika ometanja koje je potrebno jasno definirati. **Jamming** predstavlja namjerno ometanje prijavnika emitiranjem dovoljno snažnog ometajućeg signala u radnom frekvencijskom području GNSS-a, čime se onemogućuje prijam autentičnih satelitskih signala. Posljedica takvog djelovanja je degradacija ili potpuni gubitak mogućnosti određivanja položaja, brzine i vremena, odnosno prekid funkcionalnosti GNSS navigacijskog rješenja. **Spoofing** označava napredniji oblik napada pri kojem se prijavniku odašilju umjetno generirani, ali strukturalno ispravni GNSS signali. Takvi signali dovode prijavnika u zabludu te rezultiraju pogrešnim izračunom položaja i vremena, pri čemu sustav formalno ostaje operativan. Za razliku od jamminga, kod kojeg je gubitak signala lako uočljiv, spoofing može dulje vrijeme ostati neotkriven, što predstavlja značajan rizik za navigacijske i sigurnosno kritične sustave. Poseban oblik spoofinga predstavlja **meaconing**, koji se temelji na presretanju autentičnih GNSS signala, njihovom vremenskom odgađanju te ponovnom odašiljanju prema prijavniku. Budući da se u tom slučaju koriste stvarni satelitski signali, detekcija meaconinga je znatno složenija u usporedbi s klasičnim spoofing napadima, a učinak na navigacijsko rješenje može biti teško prepoznatljiv. [3]



Slika 1. Prikaz jamminga i spoofinga

2.4. Podjela i tehničke karakteristike ometača

GNSS ometači su uređaji koji emitiraju radiofrekvencijske signale unutar GNSS frekvencijskog spektra te na taj način djelomično ili u potpunosti onemogućuju prijam autentičnih satelitskih signala i određivanje položaja. Zbog relativno jednostavne i jeftine izrade te javno dostupnih tehničkih rješenja, blokatori GNSS signala predstavljaju najrašireniji oblik ometanja u civilnom okruženju. Iako je snaga njihovog odašiljanog signala uglavnom mala, ona je dostatna za ometanje GNSS prijama na udaljenostima od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara,

ovisno o okolini i konfiguraciji prijammnika. Ometači veće snage koriste se prvenstveno u vojne svrhe te mogu uzrokovati poremećaje GNSS signala na znatno širim područjima. Prema načinu izvedbe, ometači se mogu klasificirati s obzirom na konstrukciju kućišta i način napajanja. Razlikuju se prijenosni ometači napajani putem vozila, ometači s ugrađenom baterijom i vanjskom antenom te kompaktni sustavi s integriranim antenama. Dodatna klasifikacija temelji se na vrsti ometajućeg signala, pri čemu se razlikuju ometači koji odašilju kontinuirani val, frekvencijski modulirane signale te usko- i širokopojasni ometači. Širokopojasni ometači posebno su zahtjevni za detekciju zbog raspodjele snage na široki frekvencijski raspon. [6]

U okviru ovog seminarskog rada korišten je prijenosni višepojasni ometač signala JAX-121A-12B, namijenjen mobilnoj uporabi. Uređaj omogućuje selektivno ometanje više komunikacijskih i navigacijskih sustava te je pogodan za terenska ispitivanja. Osnovne tehničke karakteristike korištenog ometača su:

- podrška za ometanje 2G, 3G, 4G, Wi-Fi (2.4 GHz), GNSS (L1, L2, L5) i LoJack sustava,
- radijus djelovanja približno od 2 do 20 metara, ovisno o jačini signala u okolini,
- ugrađena punjiva baterija kapaciteta 7.4 V / 10000 mAh,
- aktivni sustav hlađenja s ventilatorom za kontinuirani rad,
- mogućnost napajanja iz vozila putem 12 V priključka.

Primjena ovakvog uređaja omogućila je praktično ispitivanje utjecaja ometanja GNSS signala na navigacijska rješenja u realnim uvjetima, što čini osnovu za analizu i obradu podataka prikazanu u nastavku rada.



Slika 2. Korišteni ometač

3. TESTIRANJE UTJECAJA GNSS OMETAČA NA NAVIGACIJU (Andøya)

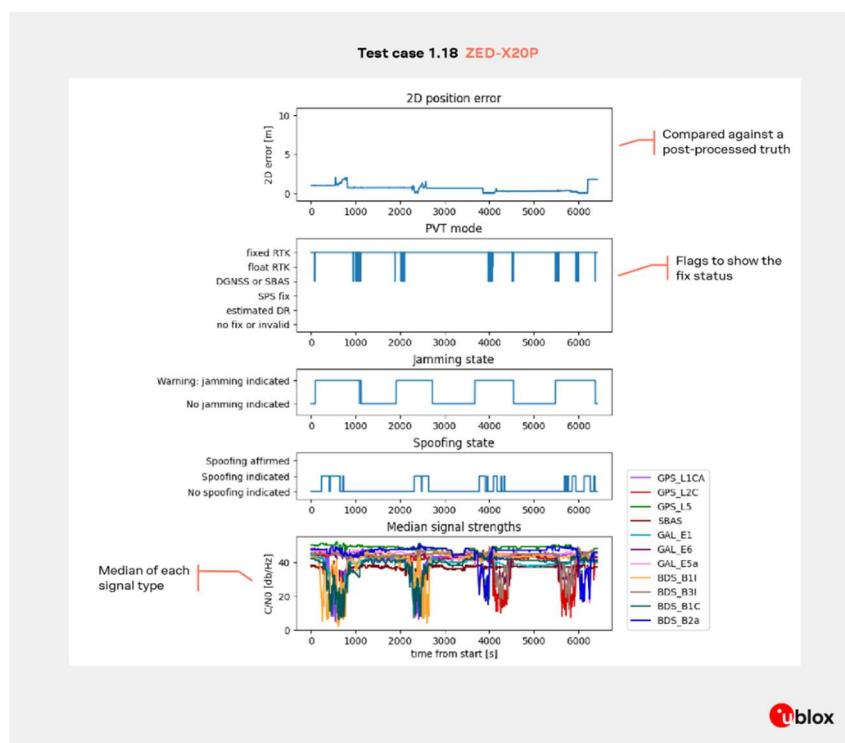
Jammertest 2025 je međunarodni događaj uživo na terenu posvećen procjeni otpornosti GNSS sustava na smetnje, ometanje i lažiranje signala. Održava se na udaljenom otoku Andøya u Norveškoj, a okuplja regulatore, istraživače i tehnološke lidere kako bi testirali tehnologije pozicioniranja u RF uvjetima koji daleko nadilaze kontrolirane laboratorijske postavke.

Svaki test na Jammertestu 2025 osmišljen je kako bi se procijenilo kako se u-blox ZED-X20P prijemnik ponaša pod specifičnim izazovima ometanja i lažiranja signala. Svi testovi provedeni su korištenjem u-blox ANN-MB2 višepojasne antene, osiguravajući konzistentnu kvalitetu signala i reprezentativne performanse u uvjetima uživo. Provedena su 3 ispitivanja. [7]

- **Višepojasno ometanje velike snage (Jamming Gauntlet)**

U ovom skupu ispitivanja prijemnici su bili izloženi snažnom, sekvencijalnom ometanju pojedinih GNSS frekvencijskih pojaseva s ciljem simulacije ciljanog uskraćivanja usluge. Ometanje je provođeno u širokom frekvencijskom rasponu koji je obuhvaćao ključne GNSS signale (GPS L1, L2, L5 te Galileo E6), pri čemu su ispitivanja uključivala i statične i dinamičke uvjete kretanja.

Rezultati su pokazali da je ispitivani prijemnik bio sposoban održati kontinuirano navigacijsko rješenje korištenjem dostupnih, neometanih frekvencijskih pojaseva. Točnost pozicioniranja u većem dijelu testa ostala je na razini karakterističnoj za RTK ili DGNSS rješenja, uz kratkotrajne varijacije tijekom kretanja. Nije zabilježen potpuni gubitak navigacije, što potvrđuje otpornost višepojasnih GNSS prijemnika na djelomično ometanje signala.

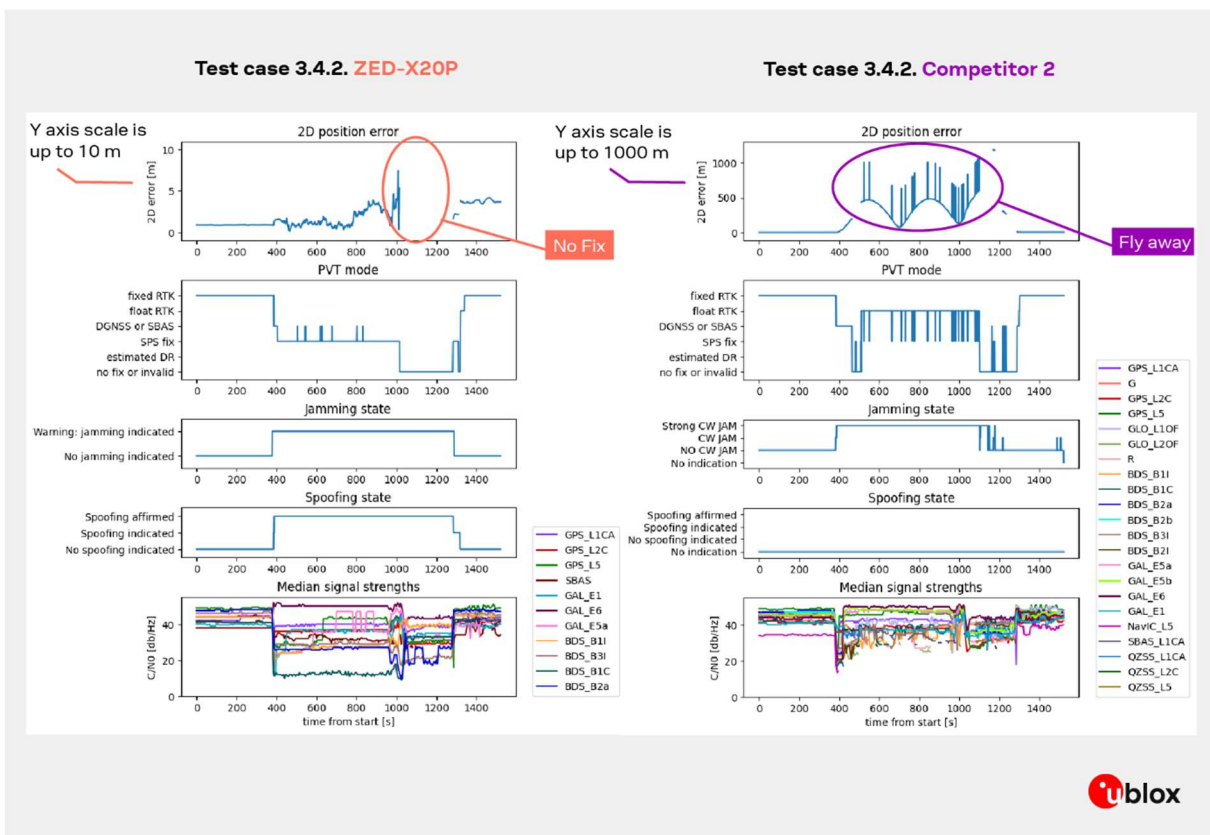


Slika 3. Test 1

- **Napad presretanja i ponovnog odašiljanja signala (Meaconing)**

U ovom scenariju testirano je ponašanje GNSS prijemnika u uvjetima istovremenog presretanja autentičnih GNSS signala i njihovog ponovnog odašiljanja s vremenskim pomakom, uz dodatni utjecaj lažnih signala iz drugog izvora. Takva kombinacija stvara složeno interferencijsko okruženje s više izvora potencijalno varljivih signala.

Ispitivanja su pokazala da je prijemnik u početnoj fazi normalno pratio autentične signale, no s porastom utjecaja meaconinga i lažnih signala pravovremeno je detektirao nekonzistentnosti te prešao u stanje bez važećeg navigacijskog rješenja, umjesto da prikaže pogrešan položaj. Time je očuvan integritet navigacijskih podataka. Za razliku od toga, kod nekih drugih ispitivanih prijemnika zabilježeno je praćenje varljivih signala i značajna odstupanja od stvarne putanje.

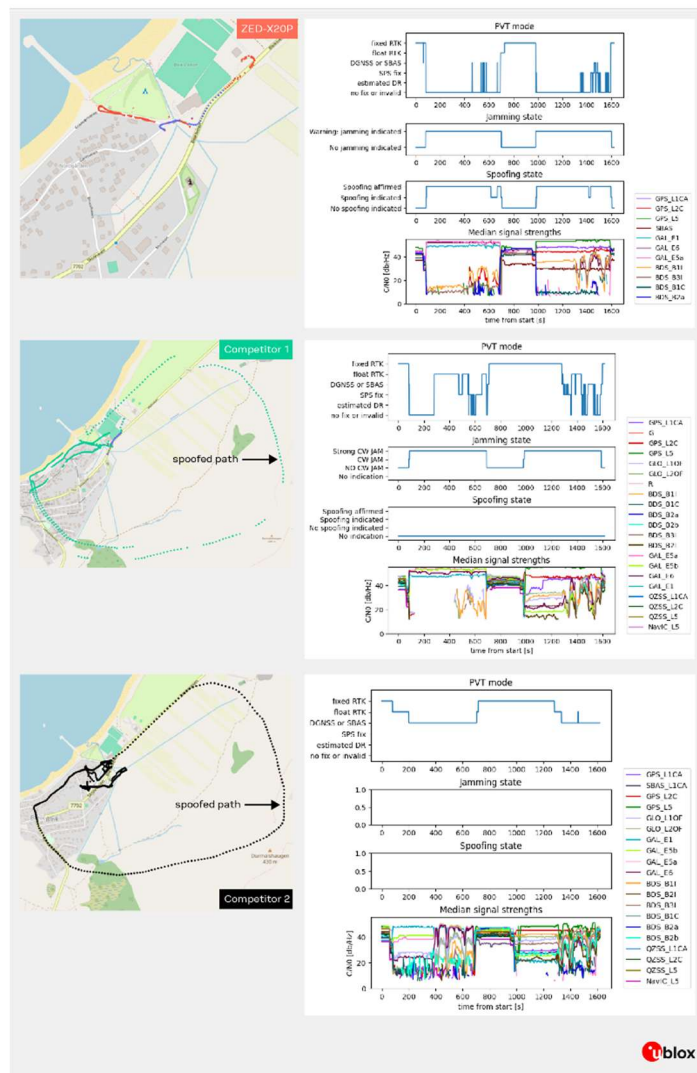


Slika 4. Test 2

- **Koherentno lažiranje položaja (Coherent Spoofing)**

U ovom testnom scenariju simulirani su uvjerljivi napadi lažiranja GNSS signala pri kojima su korišteni autentični orbitalni i vremenski podaci kako bi se prijemnik naveo na praćenje lažne putanje. Ispitivanja su provedena odvojeno za GPS i Galileo konstelaciju, bez istodobnog ometanja signala. Rezultati su pokazali da je prijemnik u početnoj fazi zadržao ispravno navigacijsko rješenje, no s jačanjem lažnih signala detektirao je napad te prešao u stanje bez

fiksnog rješenja, čime je spriječeno prikazivanje lažne pozicije. Suprotno tome, konkurentski prijemnici u istim uvjetima nastavili su izračunavati i prikazivati pogrešne putanje. Ovakvo ponašanje potvrđuje važnost višeslojnih mehanizama detekcije i pristupa koji daje prednost integritetu navigacijskog rješenja nad njegovim kontinuitetom.



Slika 5. Test 3

Jammertest 2025 pokazao je da se prava mjera otpornosti GNSS-a dokazuje na terenu, a ne u kontroliranim laboratorijskim uvjetima. U više zahtjevnih scenarija, od selektivnog višepojasnog ometanja do koordiniranog meaconiranja i koherentnog lažiranja, u-blox ZED-X20P dosljedno je slijedio istu filozofiju dizajna: održavati kontinuitet kada je sigurno i zaštititi integritet kada nije.

4. ISPITIVANJE UTJECAJA OMETAČA

Ovo poglavlje opisuje ispitivanje utjecaja ometača GNSS signala na navigaciju pomoću GNSS-a provedeno u stvarnim terenskim uvjetima. Cilj ispitivanja bio je utvrditi kako prisutnost ometača utječe na određivanje položaja dok se ispitivač kreće na različitim udaljenostima od ometača, a pritom koristi GNSS uređaj i dva različita mobilna uređaja. U nastavku poglavlja prikazan je postupak izvođenja mjerenja te način prikupljanja podataka potrebnih za analizu dobivenih rezultata.

4.1 Postupak izvođenja terenskog ispitivanja

Terensko ispitivanje provedeno je 02. prosinca 2025. godine u terminu od 11:46 do 12:22 po lokalnom vremenu u blizini Geodetskog fakulteta u Zagrebu. Tijekom mjerenja korišten je GNSS prijammnik Topcon HiPer SR, te mobilni uređaji Honor 200 pro i Iphone 14 sa aplikacijama GNSS Logger i LocationTracker za logiranje GNSS podataka kako bi se omogućila usporedba rezultata dobivenih različitim sustavima.



Slika 6. Topcon Hiper SR i kontroler

Prijenosni višepojasni ometač signala JAX-121A-12B postavljen je na sredinu srednjoškolskog igrališta te mu je izmjerena pozicija. Jedan član tima ostao je stajati uz ometač, a druga dva člana su sa GNSS uređajem i mobitelima kružili po atletskoj stazi i okolnim ulicama oko točke s ometačem. Mjerenja su provedena u više faza, s isključenim i uključenim ometačem, kako bi se jasno uočile razlike u ponašanju GNSS-a pod utjecajem ometanja. Ispitivači su se najprije kretali duž atletske staze (mali krug) oko ometača pri čemu je ometač bio isključen. Nakon toga provedeno je mjerenje istom trajektorijom uz uključen ometač. Postupak je zatim ponovljen na većoj kružnoj ruti (veliki krug) koja je obuhvaćala ulice u okolici srednjoškolskog igrališta. Po završetku terenskih mjerenja provedena je obrada i analiza prikupljenih podataka.

4.2 Obrada i analiza prikupljenih podataka

Obrada i analiza podataka provedena je u softverima QGIS 3.34.3, RTK LIB i Microsoft Excel. U QGIS-u su provedene prostorne, a u Microsoft Excelu statističke analize. Podaci dobiveni GNSS uređajem bili su dostupni u .txt datoteci te u RINEX formatu (.25o). Putem mobilnih uređaja, odnosno aplikacije GnsLogger, prikupljeni su podaci u .txt i RINEX formatu, a podaci u .nmea formatu naknadno su konvertirani u .gpx format radi mogućnosti vizualizacije u QGIS-u. Podaci prikupljeni pomoću iOS aplikacije LocationTracker bili su dostupni u .gpx i .csv formatu sa koordinatama.

U QGIS je prvo učitana WMS sloj DOF5 preuzet sa Geoportala u odgovarajućoj HTRS96/TM projekciji. Nakon toga je učitana .gpx datoteka sa podacima mjerenja (točkasti sloj) dobivena iz Android uređaja odnosno GNSS Logger aplikacijom. Odmah po učitavanju postala su jasno vidljiva odstupanja između onih trajektorija izmjenjenih za vrijeme kada je ometač bio ugašen i onih izmjenjenih za vrijeme dok je ometač radio (Slika 7). Za određivanje veličine odstupanja korišten je alat *Distance to nearest hub* koji povezuje svako mjerenje s najbližom točkom referentne trase (one izmjerene bez utjecaja ometača). Duljina svake takve linije predstavlja vrijednost odstupanja. Rezultat je linijski sloj koji sadrži udaljenosti odnosno odstupanja izražena u metrima. Nakon toga je dobiveni sloj s odstupanjima izvezen u .csv format i učitana u Excel kako bi poslužio za statističku analizu odstupanja trajektorija od referentnih.



Slika 7. Vizualizacija mjerenih podataka (Android) i odstupanja u QGIS-u

Tablica 1. Odstupanje trajektorije (mali krug) mjerene Android mobilnim uređajem

Odstupanje trajektorije (mali krug), Android	
Broj mjerenih odstupanja	276
Najmanje odstupanje [m]	0,12
Najveće odstupanje [m]	26,80
Prosječno [m]	3,28
Standardno odstupanje	3,66

Tablica 2. Odstupanje trajektorije (veliki krug) mjerene Android mobilnim uređajem

Odstupanje trajektorije (veliki krug), Android	
Broj mjerenih odstupanja	498
Najmanje odstupanje [m]	0,05
Najveće odstupanje [m]	5,85
Prosječno [m]	1,35
Standardno odstupanje	1,06

Usporedbom tablice 1 i tablice 2 jasno je vidljivo kako je odstupanje trajektorije (mjerene pod utjecajem ometača) od referentne (mjerene bez utjecaja ometača) u malom krugu veće od odstupanja u velikom krugu. Takav rezultat upućuje na to da se utjecaj ometača smanjuje s porastom udaljenosti, odnosno da je u neposrednoj blizini ometača puno izraženija degradacija točnosti određivanja položaja.

Obrada i analiza podataka za izračun odstupanja provedena je na jednak način i za podatke prikupljene pomoću iPhone aplikacije LocationTracker, čime je omogućena usporedba rezultata dobivenih različitim uređajima (Slika 8).



Slika 8. Vizualizacija mjerenih podataka (iPhone) i odstupanja u QGIS-u

Tablica 3. Odstupanje trajektorije (mali krug) mjerene iPhone mobilnim uređajem

Odstupanje trajektorije (mali krug), iPhone	
Broj mjerenih odstupanja	262
Najmanje odstupanje [m]	0,05
Najveće odstupanje [m]	7,29
Prosječno [m]	1,70
Standardno odstupanje	1,08

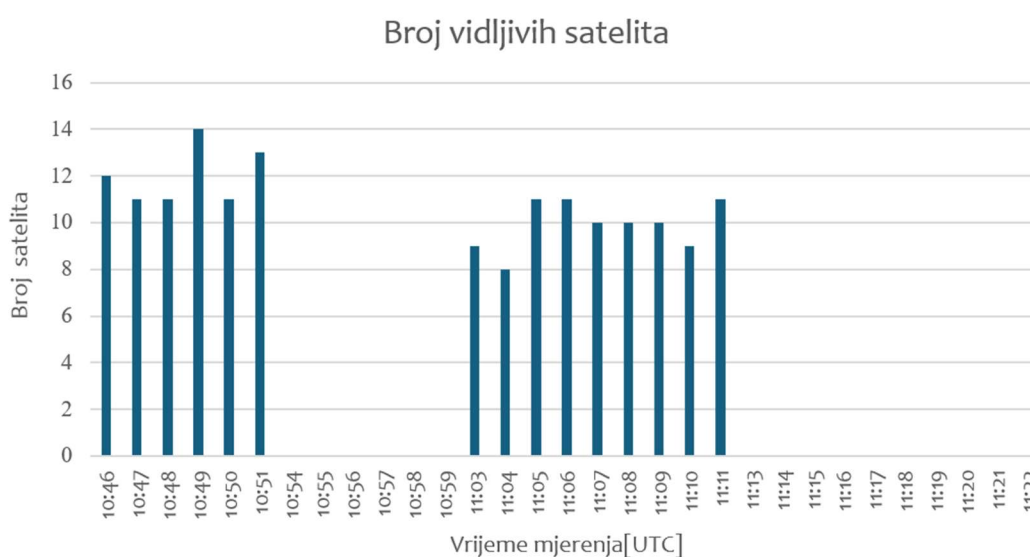
Tablica 4. Odstupanje trajektorije (veliki krug) mjerene Android mobilnim uređajem

Odstupanje trajektorije (veliki krug), iPhone	
Broj mjerenih odstupanja	486
Najmanje odstupanje [m]	0,09
Najveće odstupanje [m]	7,92
Prosječno [m]	1,88
Standardno odstupanje	1,52

Usporedbom tablice 3 i tablice 4 vidljivo je kako je odstupanje trajektorije (mjerene pod utjecajem ometača) od referentne (mjerene bez utjecaja umetača) u malom krugu manje od odstupanja u velikom krugu, ali nije značajno. Takav rezultat upućuje na to da ometač različito djeluje na različite navigacijske uređaje.

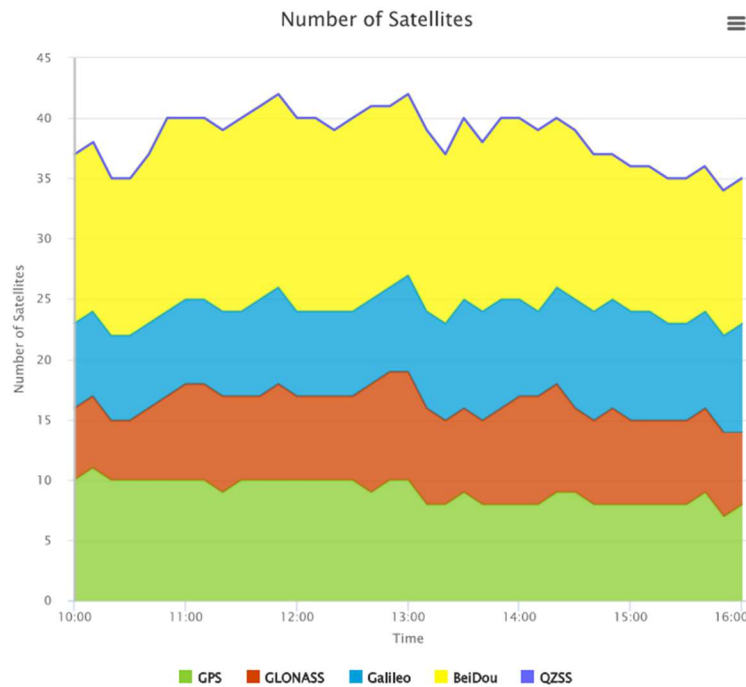
Učitavanjem podataka prikupljenih GNSS uređajem u Excel moglo se zamijetiti kako u vremenu dok je ometač bio upaljen (10:54-10:59 i 11:13-11:22 po UTC) nema nikakvih podataka, odnosno postoji rupa. Riječ je o black-out zoni. Black-out zona je zona unutar koje ometač potpuno blokira prijem GNSS signala na prijemu. U toj zoni prijemnik nije u stanju registrirati odnosno primiti signal niti jednog satelita. Iz grafa (Slika 9) koji prikazuje broj vidljivih satelita za svaku minutu vremena opažanja jasno se može zaključiti kako je ometač potpuno pregazio GNSS signale.

Budući da se na podacima dobivenih GNSS uređajem nije mogla provesti analiza utjecaja ometača na GNSS navigaciju zbog navedene black-out zone, za daljnje analize u nastavku korišteni su RINEX podaci prisutni i u zoni utjecaja ometača, a dobiveni Android uređajem odnosno GNSS Logger aplikacijom.



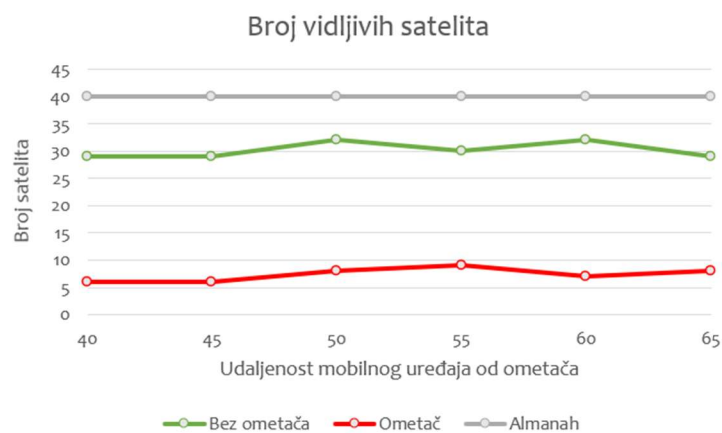
Slika 9. Black-out zona

Kako bi se ispitao utjecaj ometača na broj vidljivih satelita, prvo je potrebno prikazati koliko je satelita trebalo biti vidljivo prema almanahu te dati usporedbu s opažanjem bez ometača i sa ometačem. Podaci almanaha dobiveni su putem online platforme Trimble GNSS Planning u koju je unesen datum i vrijeme mjerenja, lokacija te elevacijska maska. Dobiveni graf (Slika 10) pokazao je kako je za vrijeme opažanja (10:46-11:22 po UTC) trebalo biti otprilike 40 vidljivih satelita.

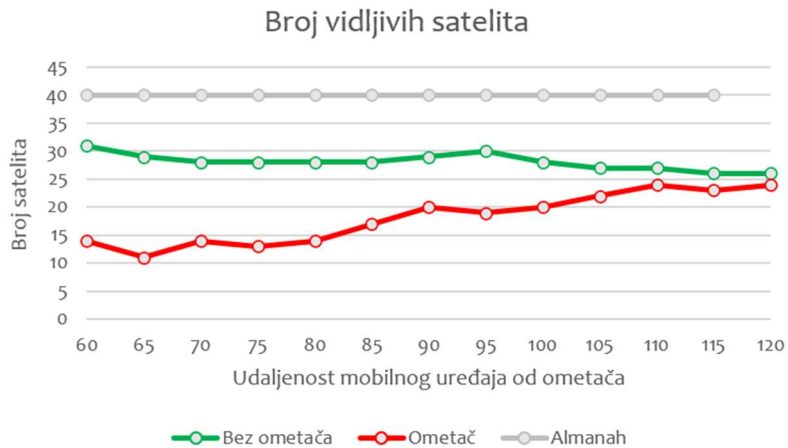


Slika 10. Broj vidljivih satelita prema almanahu (GNSS Planning)

Broj vidljivih satelita s obzirom na udaljenost ometača od prijemnika prikazan je pomoću grafa. Na grafu se može usporediti maksimalan broj vidljivih satelita tijekom korištenja ometača i bez korištenja ometača, te maksimalan broj vidljivih satelita za vrijeme opažanja iz podataka almanaha. Graf je napravljen za mali krug (Slika 11) i za veliki krug (Slika 12) kako bi se značajnije utvrdila uloga udaljenosti u zoni utjecaja ometača.



Slika 11. Usporedba maksimalnog broja vidljivih satelita (mali krug)

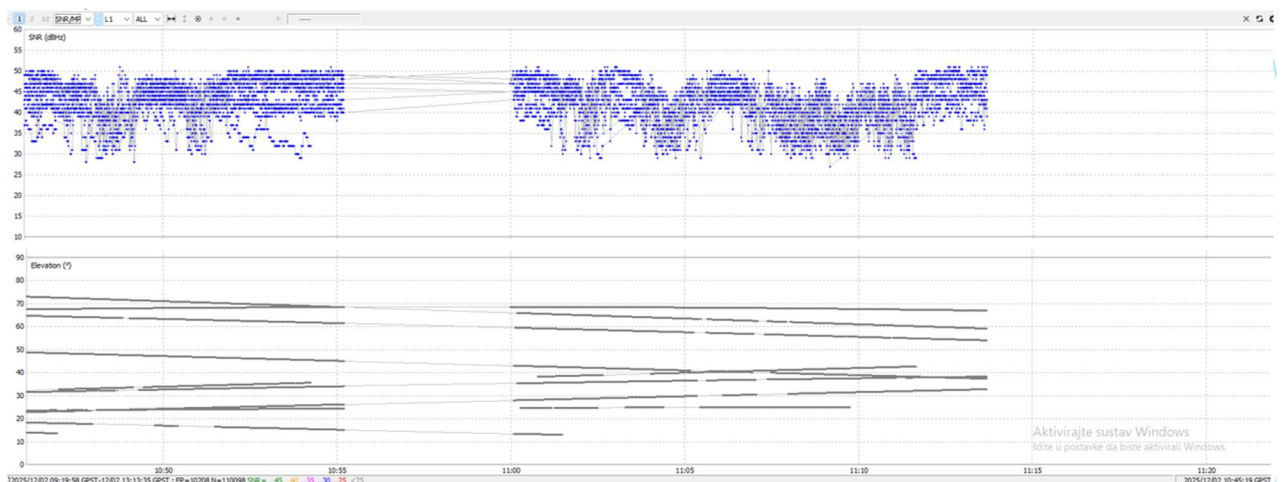


Slika 12. Usporedba maksimalnog broja vidljivih satelita (veliki krug)

Iz prikaza se jasno može potvrditi kako je broj vidljivih satelita najmanji pod utjecajem ometača i kako se povećanjem udaljenosti od ometača povećava i broj vidljivih satelita.

Omjer signala i šuma SNR (Signal to noise ratio) je mjera koja uspoređuje jačine željenog signala s razinom pozadinske buke. Mjeri se u decibelima. Visoki SNR označava da je signal mnogo jači od šuma, što znači da stroj može točno otkriti i izmjeriti željeni parametar. Nasuprot tome, nizak SNR implicira da je šum relativno visok u usporedbi sa signalom, što otežava razlikovanje pravog signala od pozadinske buke. To može dovesti do netočnih mjerenja, nedosljednih rezultata i na kraju nepouzdanih zaključaka [8].

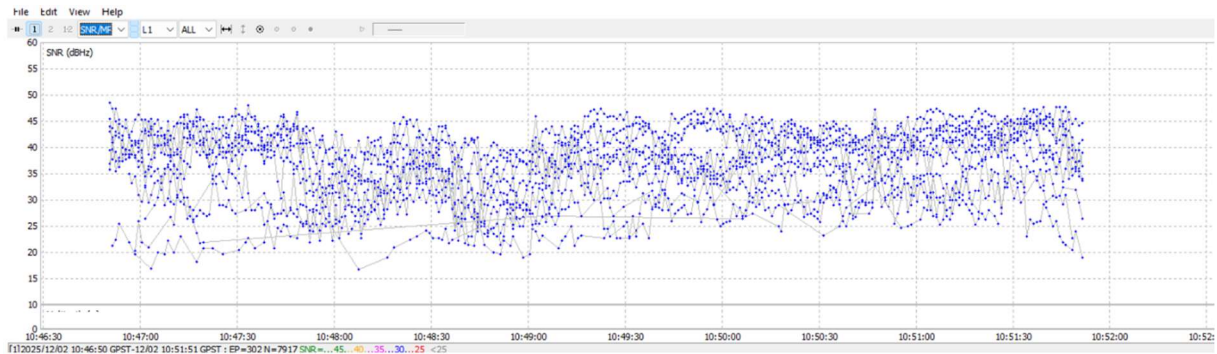
RINEX datoteka poslužila je također i za analizu SNR vrijednosti zapisanoj u određenom trenutku registracije. U aplikaciju RTK Plot softvera RTK LIB učitani su .obs i .o datoteke dobivene GNSS uređajem kako bi se mogle vizualizirati i interpretirati vrijednosti SNR-a i elevacije tijekom opažanja. Analiza odnosa SNR-a i elevacije pokazuje da su GNSS sateliti na nižim elevacijama ostvaruju niže i nestabilnije SNR vrijednosti što upućuje na povećanu degradaciju signala. (Slika 13). Unutar black-out zone nema pohrane podataka pa tako nema ni zabilježenih SNR vrijednosti.



Slika 13. SNR i elevacija (GNSS uređaj)

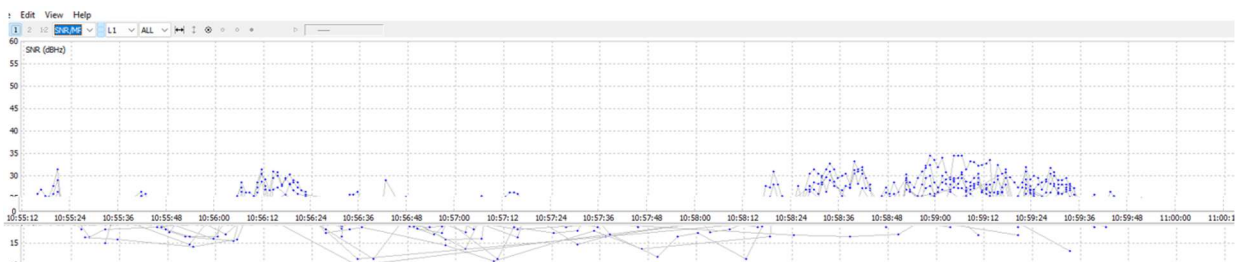
Dodatno, u aplikaciji RTKPlot učitane su .obs (RINEX) datoteke prikupljene pomoću Android aplikacije GnsLogger za mali i veliki krug sa uključenim i isključenim ometačem radi detaljnije analize utjecaja ometanja na kvalitetu GNSS mjerenja.

Analiza podataka za mali krug bez prisutnosti ometača (Slika 14) pokazala je da se zabilježene SNR vrijednosti nalaze u rasponu koji omogućuje stabilan i pouzdan GNSS prijam, bez značajnijih prekida signala.



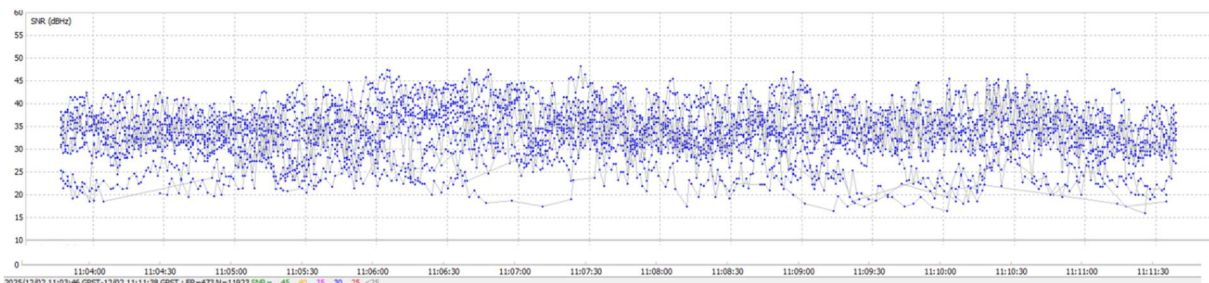
Slika 14. SNR u slučaju malog kruga s isključenim ometačem (Android uređaj)

Nasuprot tome, u slučaju malog kruga s uključenim ometačem (Slika 15) uočena je izražena degradacija SNR vrijednosti, što upućuje na znatno narušavanje kvalitete GNSS prijama uslijed djelovanja ometača.



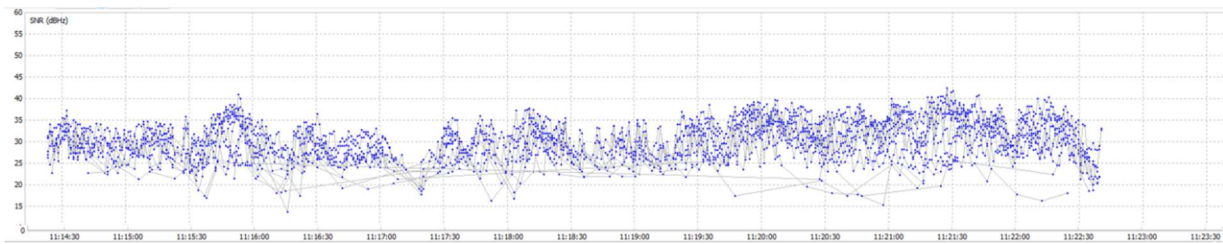
Slika 15. SNR u slučaju malog kruga s uključenim ometačem (Android uređaj)

Kod velikog kruga bez prisutnosti ometača (Slika 16) SNR se uglavnom zadržava unutar stabilnih vrijednosti za pouzdan GNSS prijam pri čemu nisu uočeni značajniji poremećaji signala.



Slika 16. SNR u slučaju velikog kruga s isključenim ometačem (Android uređaj)

Međutim, pri uključenom ometaču (Slika 17) dolazi do povećanog pada i degradacije SNR vrijednosti, što ukazuje na negativan utjecaj ometača i smanjenu kvalitetu GNSS prijema, iako manje izraženu nego u slučaju malog kruga.



Slika 17. SNR u slučaju velikog kruga s uključenim ometačem (Android uređaj)

Također, analiziran je utjecaj ometača na DOP (Dilution of Precision) vrijednosti. U seminaru naglasak je stavljen na HDOP vrijednosti (Horizontal Dilution of Precision) koje su prikupljene aplikacijom GNSS Logger (podaci su dobiveni u .csv datoteci konvertiranjem .nmea datoteke u GPS Visualizer-u). HDOP (Horizontal Dilution of Precision) opisuje utjecaj geometrije GNSS satelita na točnost određivanja horizontalnog položaja. Niže HDOP vrijednosti upućuju na povoljan raspored satelita i veću pouzdanost pozicioniranja, dok više vrijednosti označavaju lošiju geometriju satelita i smanjenu točnost [9]. Uspoređene su HDOP vrijednosti u uvjetima bez ometanja i u prisutnosti ometača na području malog te velikog kruga.

Tablica 5. HDOP vrijednosti bez utjecaja ometača (mali krug)

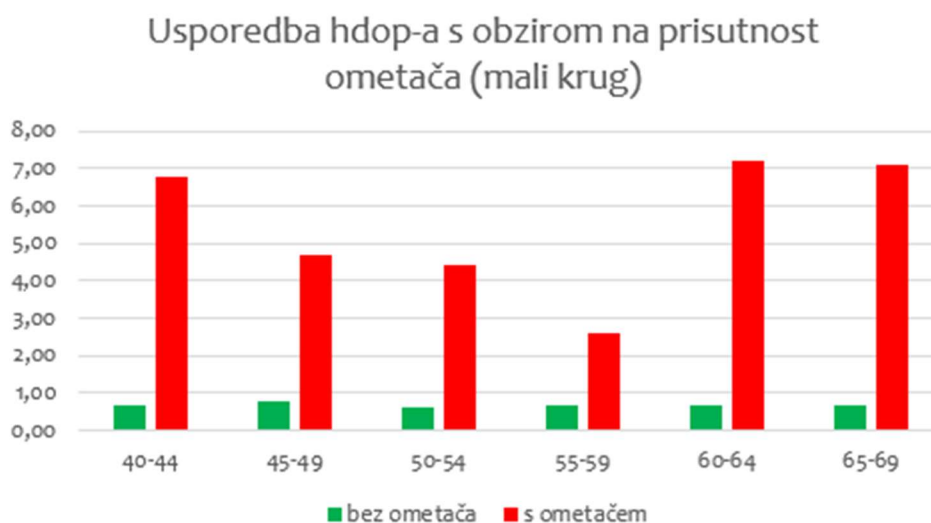
Udaljenost [m]	HDOP [max]	Broj vidljivih satelita[max]
40-44	0,70	37
45-49	0,8	38
50-54	0,6	38
55-59	0,7	39
60-64	0,7	39
65-69	0,7	38

Tablica 6. HDOP vrijednosti s utjecajem ometača (mali krug)

Udaljenost [m]	HDOP [max]	Broj vidljivih satelita[max]
40-44	6,80	17
45-49	4,7	14
50-54	4,4	14
55-59	2,6	14
60-64	7,2	17
65-69	7,1	19

U Tablici 5. uočljive su vrijednosti HDOP-a ispod 1 što ukazuje na to da je bez utjecaja ometača raspored satelita bio povoljan, dok je u Tablici 6. HDOP vrijednost došla do čak 7,2 što ukazuje na znatno smanjenu točnost. Usporedbom tablica 5. i 6. može se zaključiti kako broj vidljivih satelita znatno opada porastom HDOP vrijednosti za vrijeme upaljenog ometača. U tabličnom prikazu ne može se sa sigurnošću reći kako s obzirom na udaljenost od ometača vrijednost

HDOP-a opada jer je najveća vrijednost zabilježena upravo pri najvećoj udaljenosti. Slika 18. prikazuje vizualnu usporedbu HDOP vrijednosti s obzirom na prisutnost ometača.



Slika 18. Usporedba HDOP vrijednosti u malom krugu

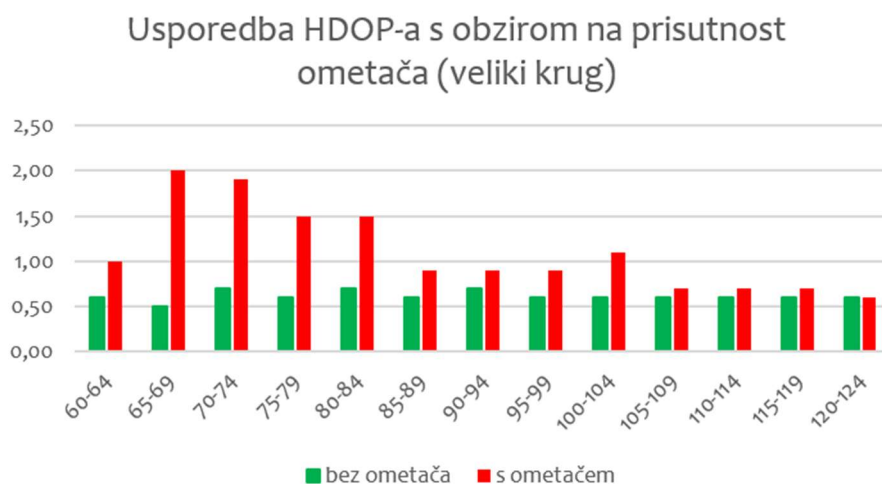
Tablica 7. HDOP vrijednosti bez utjecaja ometača (veliki krug)

Udaljenost [m]	HDOP [max]	Broj vidljivih satelita [max]
60-64	0,60	39
65-69	0,5	34
70-74	0,7	37
75-79	0,6	31
80-84	0,7	31
85-89	0,6	33
90-94	0,7	39
95-99	0,6	37
100-104	0,6	31
105-109	0,6	29
110-114	0,6	30
115-119	0,6	28
120-124	0,6	29

Tablica 8. HDOP vrijednosti s utjecajem ometača (veliki krug)

Udaljenost [m]	HDOP [max]	Broj vidljivih satelita[max]
60-64	1,00	19
65-69	2	21
70-74	1,9	22
75-79	1,5	21
80-84	1,5	24
85-89	0,9	22
90-94	0,9	25
95-99	0,9	27
100-104	1,1	26
105-109	0,7	25
110-114	0,7	27
115-119	0,7	25
120-124	0,6	27

U Tablici 7. uočljive su vrijednosti HDOP-a ispod 1 što ukazuje na to da je bez utjecaja ometača geometrija satelita bila dobra, dok je u Tablici 8. HDOP vrijednost bila najviša (2) na udaljenosti od 65 do 69 m od ometača što ukazuje na lošiju geometriju satelita. Na udaljenosti od 85 m pa do najviše udaljenost od 124 m HDOP vrijednost je u granicama koje označavaju dobru geometriju satelita. Usporedbom tablica 7. i 8. može se zaključiti kako broj vidljivih satelita znatno opada porastom HDOP vrijednosti za vrijeme upaljenog ometača, no te razlike u broju vidljivih satelita su znatno manje pri većim udaljenostima tako na udaljenosti iznad 120 m od ometača razlika je samo u 2 vidljiva satelita. U tabličnom prikazu može se primijetiti kako povećanjem udaljenosti od ometača opada i HDOP vrijednost što znači da je sa većom udaljenošću od ometača bila omogućena i bolja geometrija satelita Slika 19. prikazuje vizualnu usporedbu HDOP vrijednosti s obzirom na prisutnost ometača.



Slika 19. Usporedba HDOP vrijednosti u velikom krugu

5. ZAKLJUČAK

Terenska ispitivanja utjecaja ometača GNSS signala pokazala su koliko su satelitski navigacijski sustavi osjetljivi na namjerne smetnje. Korištenjem prijenosnog višepojasnog ometača JAX-121A-12B u neposrednoj blizini uređaja, primjećena je potpuna blokada GNSS signala, stvarajući tzv. black-out zone u kojima prijemnik ne može registrirati ni jedan satelit. U tim uvjetima GNSS uređaj Topcon HiPer SR nije mogao zabilježiti podatke, dok su mobilni uređaji i dalje bilježili pozicije, ali s izraženim odstupanjima, što pokazuje da različiti uređaji različito reagiraju na ometanje.

Analiza prikupljenih podataka pokazala je da je utjecaj ometača izraženiji na manjim udaljenostima, dok se s povećanjem udaljenosti od ometača kvalitetna dostupnost satelitskog signala postupno obnavlja. To je vidljivo kroz povećanje broja vidljivih satelita, poboljšanje SNR vrijednosti i smanjenje HDOP vrijednosti pri većim udaljenostima. Male razlike u rezultatima između mobilnih uređaja i GNSS prijavnika upućuju na to da suvremeniji ili višepojasni uređaji bolje podnose djelomično ometanje, dok stariji sustavi mogu značajno degradirati svoju točnost i pouzdanost. Također, treba istaknuti da odabrana trajektorija mjerenja po ulicama oko srednjoškolskog igrališta (veliki krug) nije bila u potpunosti optimalna zbog prisutnosti drveća i parkiranih automobila što je dodatno utjecalo na kvalitetu prijema GNSS signala. Automobili, vegetacija, a posebno krošnje i lišće, može uzrokovati slabljenje signala, multipath i smanjenje kvalitete prijema, čime se smanjuje broj vidljivih satelita te pogoršavaju SNR i HDOP vrijednosti. Stoga dio odstupanja u rezultatima ne proizlazi isključivo iz djelovanja ometača, nego i iz prirodnih prepreka u okolini.

Rezultati mjerenja također potvrđuju da ometanje može uzrokovati netočno pozicioniranje i pogrešno određivanje vremena, što u praksi može dovesti do ozbiljnih posljedica, od pogrešnih navigacijskih informacija do ugrožavanja sigurnosti ljudi i kritičnih sustava. Iako ometači često djeluju na ograničenom području, njihova jednostavna izvedba i dostupnost povećavaju rizik za civilnu GNSS primjenu.

Kako bi se smanjio negativan utjecaj ometanja, važno je koristiti moderne višepojasne prijemnike, primjenjivati softverske metode za detekciju neželjenih signala te planirati korištenje GNSS-a s dodatnim provjerama pouzdanosti. Terenska ispitivanja, poput onih provedenih u ovom radu, potvrđuju da laboratorijska testiranja ne mogu u potpunosti replicirati stvarne uvjete i da se otpornost sustava najbolje procjenjuje u realnim okruženjima.

Zaključno, rezultati rada pokazuju da, iako GNSS sustavi u normalnim uvjetima pružaju visoku točnost i pouzdanost, njihova ranjivost na namjerno ometanje ne smije se zanemariti. Razumijevanje utjecaja ometača, primjena zaštitnih mjera i kontinuirano praćenje sigurnosti GNSS-a ključni su za pouzdano pozicioniranje i navigaciju u svakodnevnoj primjeni.

Popis literature

- [1] Geodesy Science, "GNSS", 2024. (<https://geodesy.science/item/gnss/>)
- [2] Bačić, Ž. (2025/2026): Integrirani sustavi u geomatici, predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
- [3] Kako Jammertest jača otpornost GNSS-a: terenska provjera za ESA, Galileo i EGNOS u borbi protiv ometanja, Karlobag.eu, znanstveni portal, (<https://karlobag.eu/znanost/kako-jammertest-jaca-otpornost-gnss-a-terenska-provjera-za-esa-galileo-i-egnos-u-borbi-protiv-ometanja-6439d>)
- [4] M. Vidulin, M. Polovina i M. Grgić, „Razvoj i primjena uređaja za ometanje signala GNSS satelita“, Ekscentar, br. 16, str. 76–80, 2013.
- [5] Hulina, D. (2018.): Ispitivanje utjecaja GNSS ometača
- [6] Dević, T. (2021.): UTJECAJ OMETAČA NA KINEMATIČKA GNSS MJERENJA
- [7] "GNSS jamming, spoofing detection and Jammertest 2025, Andøya," u-blox Technical Blog, 2025. (<https://www.u-blox.com/en/blogs/tech/gnss-jamming-spoofing-detection-jammertest-2025-andoya>)
- [8] Koji su omjeri signala i šuma uređaja za završno ispitivanje:
(<https://hr.kenmachine.com/blog/what-are-the-signal-to-noise-ratios-of-a-finishing-test-machine-1651116.html>)
- [9] HDOP: ([https://novotech.com/pages/horizontal-dilution-of-precision-hdop#:~:text=Horizontal%20Dilution%20of%20Precision%20\(HDOP\)%20is%20a,factors**%20Urban%20canyons%2C%20dense%20foliage%2C%20and%20topography](https://novotech.com/pages/horizontal-dilution-of-precision-hdop#:~:text=Horizontal%20Dilution%20of%20Precision%20(HDOP)%20is%20a,factors**%20Urban%20canyons%2C%20dense%20foliage%2C%20and%20topography))

Popis slika

Slika 1. Prikaz jamminga i spoofinga.....	3
Slika 2. Korišteni ometač	4
Slika 3. Test 1	5
Slika 4. Test 2.....	6
Slika 5. Test 3.....	7
Slika 6. Topcon Hiper SR i kontroler.....	8
Slika 7. Vizualizacija mjerenih podataka (Android) i odstupanja u QGIS-u.....	9
Slika 8. Vizualizacija mjerenih podataka (iPhone) i odstupanja u QGIS-u	11
Slika 9. Black-out zona	12
Slika 10. Broj vidljivih satelita prema almanahu (GNSS Planning)	13
Slika 11. Usporedba maksimalnog broja vidljivih satelita (mali krug).....	13
Slika 12. Usporedba maksimalnog broja vidljivih satelita (veliki krug).....	14
Slika 13. SNR i elevacija (GNSS uređaj).....	14
Slika 14. SNR u slučaju malog kruga s isključenim ometačem (Android uređaj).....	15
Slika 15. SNR u slučaju malog kruga s uključenim ometačem (Android uređaj)	15
Slika 16. SNR u slučaju velikog kruga s isključenim ometačem (Android uređaj).....	15
Slika 17. SNR u slučaju velikog kruga s uključenim ometačem (Android uređaj)	16
Slika 18. Usporedba HDOP vrijednosti u malom krugu	17
Slika 19. Usporedba HDOP vrijednosti u velikom krugu	18

Popis tablica

Tablica 1. Odstupanje trajektorije (mali krug) mjerene Android mobilnim uređajem	10
Tablica 2. Odstupanje trajektorije (veliki krug) mjerene Android mobilnim uređajem	10
Tablica 3. Odstupanje trajektorije (mali krug) mjerene iPhone mobilnim uređajem.....	11
Tablica 4. Odstupanje trajektorije (veliki krug) mjerene Android mobilnim uređajem	12
Tablica 5. HDOP vrijednosti bez utjecaja ometača (mali krug).....	16
Tablica 6. HDOP vrijednosti s utjecajem ometača (mali krug)	16
Tablica 7. HDOP vrijednosti bez utjecaja ometača (veliki krug).....	17
Tablica 8. HDOP vrijednosti s utjecajem ometača (veliki krug)	18