



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Frane Pivčević i Matej Rubić

**Utjecaj ometača GNSS signala na navigaciju pomoću
GNSS-a**

Tehničko izvješće

Zagreb, 2025/26.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OMETAČI.....	2
3. ZADATAK.....	5
4. KORIŠTENA OPREMA.....	6
5. MJERENJE.....	9
6. OBRADA OPAŽANIH PODATAKA.....	11
7. ANALIZA OPAŽANIH PODATAKA.....	14
7.1 TOPCON HIPER SR GNSS PRIJAMNIK.....	14
7.2 HUAWEI MOBILNI TELEFON.....	21
7.3 iPhone.....	26
8. ZAKLJUČAK.....	28
9. LITERATURA.....	29
10. POPIS SLIKA.....	29
11. POPIS TABLICA.....	30

1. UVOD

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) danas predstavljaju temeljnu tehnologiju za određivanje položaja, navigaciju i vremensku sinkronizaciju u brojnim civilnim i profesionalnim primjenama. Njihova uporaba posebno je raširena u geodeziji, prometu, kartografiji, sigurnosnim sustavima te u svakodnevnoj navigaciji pomoću mobilnih uređaja. Razvojem pametnih telefona GNSS tehnologija postala je široko dostupna, čime se značajno povećala ovisnost korisnika o točnosti i pouzdanosti satelitskog pozicioniranja.

Unatoč visokoj razini razvijenosti GNSS sustava, satelitski signali koji se koriste za pozicioniranje izrazito su slabi te kao takvi podložni različitim oblicima degradacije. Uz prirodne izvore pogrešaka poput ionosferskih i troposferskih utjecaja, refleksija signala (multipath) i zaklonjenosti horizonta, sve veći problem predstavljaju namjerni izvori smetnji, odnosno ometači GNSS signala. Ometači, poznati i kao GNSS jammeri, emitiraju signal u istom frekvencijskom području kao i GNSS sateliti, čime mogu znatno narušiti ili u potpunosti onemogućiti prijam korisnog signala.

Iako su učinci GNSS ometanja relativno dobro istraženi u kontekstu profesionalnih GNSS prijemnika, znatno je manje istraživanja usmjereno na utjecaj ometača na GNSS prijemnike ugrađene u mobilne uređaje. Takvi prijemnici, zbog ograničenja u konstrukciji antene, broja frekvencija i dostupnih korekcija, potencijalno su osjetljiviji na ometanje, što može imati ozbiljne posljedice za pouzdanost navigacije u stvarnim uvjetima.

Cilj ovog seminarskog rada je ispitati i analizirati utjecaj ometača GNSS signala na točnost i stabilnost pozicioniranja pomoću mobilnih uređaja, uz usporedbu s profesionalnim GNSS prijemnikom. Ispitivanje je provedeno u realnim terenskim uvjetima, snimanjem unaprijed definiranih trajektorija na različitim udaljenostima od ometača, pri čemu su opažanja provedena s uključenim i isključenim ometačem. Dobiveni podaci obrađeni su i analizirani s ciljem utvrđivanja razlika u ponašanju profesionalnih i potrošačkih GNSS prijemnika u uvjetima ometanja.

2. OMETAČI

GNSS ometači su uređaji koji koriste slabost GNSS sustava tako što emitiraju radiofrekvencijske signale u istim frekvencijskim pojasevima koje koriste GNSS sateliti. Time povećavaju razinu šuma na prijammniku. Prijammnik tada teže razlikuje korisni signal od smetnji. Čak i mali ometači mogu imati velik učinak. Osnovni mehanizam djelovanja ometača je smanjenje omjera signal–šum. Kada taj omjer padne ispod određene razine, prijammnik više ne može pouzdano pratiti satelite te dolazi do gubitka signala. Broj praćenih satelita se smanjuje. GNSS rješenje postaje nestabilno, čak se u nekim slučajevima pozicija u potpunosti gubi.

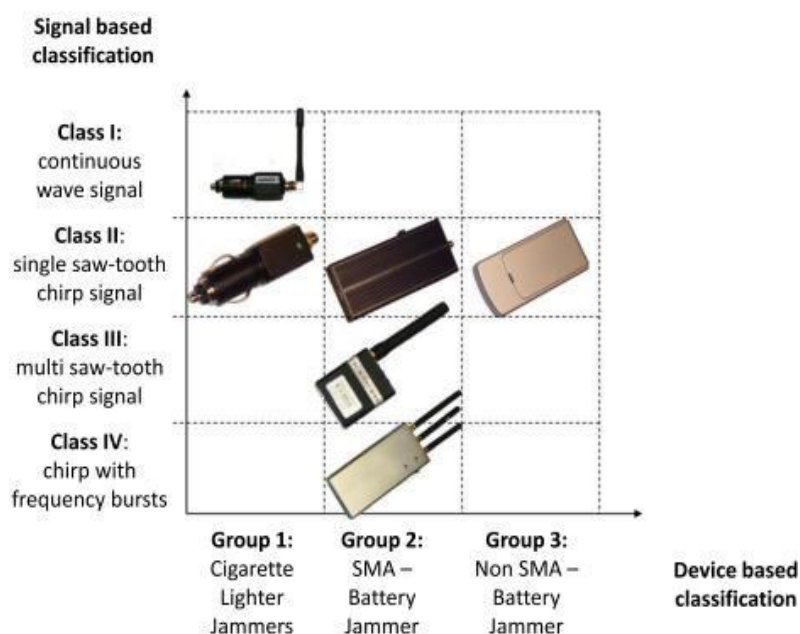
Podjela ometača(Slika 1) se temelji prema obliku kućišta i propagacijom signala(Hulina, 2018).

Podjela s obzirom na signal:

1. Kontinuirani valni signal
2. Jednostruki 'saw-tooth chirp' signal
3. Višestruki 'saw-tooth chirp' signal
4. 'chirp' signal s frekvencijskim naletom

Podjela obzirom na oblik kućišta:

1. Upaljači za cigarete; uređaj je dizajniran da bude priključen u automobilsku utičnicu namijenjenu za upaljač cigareta s naponom od 12V
2. SubMiniature version A (SMA), minijatura baterija za ometanje; uređaj napaja baterija povezana s vanjskom antenom kroz SMA priključak
3. Ne-SMA baterije; uređaj napaja baterija i koristi integrirani sustav antena za prijenos



Slika 1 Vrste ometača

Iako se ove dvije podjele podrazumijevaju kod većine ometača, treba uzeti sljedeće aspekte u obzir (Hulina,2018):

- jednofrekventni u odnosu na višefrekventne ometače; ometači mogu simultano utjecati na nekoliko GNSS područja,
- jedna antena u odnosu na višestruke antene; neki ometači opremljeni su s nekoliko antena kako bi emitirali signale u različitim frekvencijskim područjima,
- jednostruki sustav u usporedbi s višestrukim sustavima: neki ometači istovremeno utječu na GNSS i druge komunikacijske sustave kao što su Globalni sustav za mobilnu komunikaciju (GSM) i Universal Mobile Telecommunications System (UMTS).

Kod ometanja kontinuiranim valnim signalom signal je vrlo uskog frekvencijskog raspona, ali velike snage. Postoje i uskopojasni ometači koji zahvaćaju širi dio spektra. Najproblematičniji su širokopojasni ometači koji pokrivaju cijeli GNSS frekvencijski pojas jer je njihovo ometanje je najteže ukloniti.

Ometanje također može biti namjerno i nenamjerno. Nenamjerno ometanje može nastati zbog drugih elektroničkih uređaja ili prirodnih pojava, dok namjerno ometanje uključuje svjesno djelovanje. U tom kontekstu razlikuju se jamming, spoofing i meaconing. U ovom projektu fokus je na jammingu, to je oblik ometanja kojim se GNSS usluga uskraćuje (Vidulin et al., 2013.).

Učinci ometača ovise o više čimbenika. Najvažniji su snaga ometača i udaljenost od prijamnika. U otvorenom prostoru ometači mogu djelovati i na većim udaljenostima, često znatno većim od onih koje navode proizvođači. Posebno su pogođeni sateliti s nižim elevacijama jer su im signali slabiji i lakše se izgube.

Kod statičkih mjerenja ometanje se vidi kroz veću raspršenost koordinata. Položaj „luta“ oko stvarne točke. Preciznost se smanjuje. Ako je ometanje jače, dolazi do prekida mjerenja. Profesionalni GNSS prijamnici mogu se dulje nositi sa smetnjama, no ni oni nisu potpuno otporni.

Kada se prijamnik nalazi u gibanju, situacija postaje još složenija. Kinematička mjerenja zahtijevaju stalan i stabilan prijam signala. Ometanje taj kontinuitet narušava. Koordinate počinju naglo skakati i fiksno rješenje se gubi. Prijamnik prelazi u lošiji način rada nakon čega često dolazi i do prekida zapisa.

Jedan od najjasnijih pokazatelja ometanja je trajektorija gibanja. Umjesto glatke linije pojavljuju se lomovi i nepravilnosti. Putanja može biti iskrivljena ili nepotpuna. Takve promjene lako se uočavaju te je zbog toga je analiza trajektorije vrlo korisna metoda za detekciju ometanja.

Udaljavanjem od ometača učinak se smanjuje. Ipak, oporavak nije uvijek potpun. Kod slabijih prijamnika pogreške položaja mogu ostati povećane te stabilnost rješenja može i dalje biti narušena.

GNSS prijammnici u mobilnim telefonima posebno su osjetljivi. Imaju male antene. Obrada signala im je ograničena. Zbog toga ometanje kod njih uzrokuje brži gubitak pozicije i veće pogreške. Profesionalni prijammnici u pravilu se bolje nose sa smetnjama, ali ni oni nisu imuni.

Ometanje se može prepoznati analizom GNSS podataka. Uočava se pad omjera signal–šum. Broj satelita se smanjuje. Rješenje postaje nestabilno. Trajektorija pokazuje nepravilnosti. Kombinacija tih pokazatelja omogućuje pouzdanu detekciju ometanja.

GNSS ometači predstavljaju ozbiljan problem u pozicioniranju, čak i mali uređaji mogu imati velik utjecaj. Učinci su posebno izraženi kod kretanja i kod mobilnih prijammnika. Zbog toga je važno razumjeti kako ometači djeluju i kako se njihovi učinci mogu prepoznati u stvarnim mjerenjima.

Obrana od ometanja satelitske navigacije temelji se na činjenici da su navigacijski signali vrlo slabi i osjetljivi na vanjske smetnje. Zbog toga su razvijene različite tehnike koje imaju za cilj prepoznati ometanje i umanjiti njegov utjecaj na pozicioniranje. Jedan od osnovnih pristupa je obrada primljenog signala, pri čemu se primjenjuju filtri koji smanjuju ili uklanjaju smetnje na određenim frekvencijama. Na taj se način može poboljšati kvaliteta signala i omogućiti stabilniji rad prijammnika(Kuusniemi, 2012.).

Važan dio obrane je i pravodobno prepoznavanje ometanja. To se postiže praćenjem promjena u kvaliteti signala, kao što su nagli pad snage ili pojava nestabilnosti u izračunatoj putanji gibanja. Takve promjene često jasno upućuju na prisutnost ometača i omogućuju sustavu da reagira na vrijeme. Dodatnu otpornost pruža korištenje više satelitskih sustava i više frekvencijskih pojaseva, jer ometač tada mora djelovati znatno šire kako bi imao isti učinak(Dević, 2021.).

U slučajevima kada je prijam satelitskog signala privremeno onemogućen, sustav se može osloniti na druge senzore poput inercijalnih mjernih jedinica. Kombiniranjem tih podataka moguće je nastaviti navigaciju i tijekom razdoblja ometanja(Kuusniemi, 2012.).

U novije vrijeme sve se više primjenjuje i umjetna inteligencija. Posljednja istraživanja pokazuju da se strojno učenje i duboko učenje mogu koristiti za prepoznavanje anomalija u GNSS signalu i razlikovanje legitimnih od lažnih ili ometenih podataka. Takvi modeli obično se treniraju na značajkama signala i mogu pružiti vrlo visoku stopu detekcije (Ghanbarzade, Soleimani 2025.).

Istraživanja pokazuju da ne postoji jedno univerzalno rješenje za obranu od ometača. Najbolji rezultati postižu se kombinacijom više različitih metoda, koje zajedno povećavaju otpornost sustava i pouzdanost satelitske navigacije u realnim uvjetima (Kuusniemi,2012).

3. ZADATAK

Zadatak seminarskog rada sastoji se od ispitivanja i analize utjecaja ometača GNSS signala na točnost i stabilnost pozicioniranja GNSS prijavnika ugrađenih u mobilne telefone. Testiranje je provedeno u realnim uvjetima na otvorenom prostoru.

Formirane su dvije trajektorije na različitim udaljenostima od ometača, koje su opažane s isključenim i uključenim ometačem. Na taj način dobivena je trajektorija i podaci opažanja u normalnim uvjetima te s prisutnim ometanjem. Uz dva mobilna telefona korišten je i profesionalni GNSS prijemnik. Na taj način svaka je trajektorija snimana dva puta sa po tri GNSS prijemnika/uređaja.

Na mobilnim uređajima korištene su aplikacije koje omogućuju snimanje rute – kinematičko GNSS pozicioniranje te uz to omogućuju preuzimanje podataka o snimanju u formatima pogodnim za kasniju obradu i analizu.

U okviru projekta bilo je potrebno:

- Snimiti zadane trajektorije bez ometača sa sva tri GNSS prijemnika,
- Postaviti ometač u centar trajektorija,
- Snimiti zadane trajektorije s uključenim ometačem sa sva tri GNSS prijemnika i
- Obraditi i analizirati dobivene rezultate opažanja.

Cilj zadatka je utvrditi utjecaj ometača na navigaciju i pozicioniranje s mobilnim uređajima, ali i sa profesionalnim GNSS prijemnicima. Na osnovu dobivenih podataka obavljena je analiza i usporedba snimljenih trajektorija bez i sa ometačem. Uspoređivane su vrijednosti DOP-a, RMS-a i broja vidljivih satelita, ovisno o obliku i količini izlaznih podataka koje nam daje GNSS prijemnik. Također obavljeno je i uspoređivanje odstupanja snimanih trajektorija s ometačem od idealne trajektorije.

4. KORIŠTENA OPREMA

Za snimanje zadane trajektorije korištena su tri GNSS prijemnika, od kojih jedan profesionalni, a druga dva ugrađena u mobilne uređaje. U projektu je korišten Topcon HiPer SR GNSS prijamnik koji podržava više satelitskih sustava i velik broj kanala za praćenje signala (Tablica 1). Korišten je zajedno s kontrolerom FC-5000 (Slika 2).

Tablica 1: Specifikacije Topcon HiPer SR

Broj kanala	226
Signali	GPS: L1, L2, L2C GLONASS: L1, L2 SBAS: L1 C/A, WAAS, MSAS, EGNOS, GANGAN QZSS: L1 C/A (GALILEO i BEIDOU nadogradnja)
Točnost pozicioniranja [RMS]	RTK (L1 + L2): H: 10 mm + 0,8 ppm V: 15 mm + 1,0 ppm Statika/brza statika (L1 + L2): H: 3 mm + 0,4 ppm V: 5 mm + 0,6 ppm DGPS: H: 0,4 m, V: 0,6 m SBAS: H: 1,0 m, V: 1,5 m
Memorija	2 GB
Napajanje	Do 20 sati rada
Ažuriranje GNSS mjerenja	Do 10 Hz
Masa	850 g – osnovni model
	925 g – prošireni model
Dimenzije	150 x 150 x 64 mm
RTK veza	LongLink – 300 m



Slika 2 Topcon HiPer SR i kontroler FC-5000

Uz profesionalni GNSS prijemnik korištena su i dva mobilna telefona, iPhone 15 i Huawei, s pripadajućim aplikacijama za praćenje ruta. Prije izlaska na teren odabrane su aplikacije korištene za logiranje GNSS podataka. Prilikom odabira vođeno je računa da nam aplikacije daju najpovoljnije podatke za daljnju obradu i usporedbu s podacima snimljenim profesionalnim GNSS prijemnikom.

Na iPhoneu je korištena aplikacija „Location Tracker“ koja omogućuje snimanje trajektorije i izvoz podataka u .csv, .gpx i .kml formatu ali bez podataka o broju satelita, DOP-u i ostalim statističkim podacima o opažanju.

Mobilni telefon Huawei korišten je uz aplikaciju „GnssLogger“ koja logira raw GNSS podatke te omogućuje izvoz podataka u obliku NMEA poruke koja se može raspakirati na RINEX i podatke u CSV formatu. Iz CSV-a može se vrlo lako rekonstruirati trajektoriju (pozicije po vremenu). Podržava više konstelacija, ovisno o uređaju.

Za provedbu terenskog dijela projekta korišten je ometač s ugrađenom baterijom i 5 vanjskih antena. Prema specifikacijama (*Tablica 2*) specifikacijama, ovaj ometač osim GPS signala ometa i GLONASS, LoJack i WIFI signale. LoJack je sustav praćenja vozila s ciljem da se vozilo identificira u slučaju krađe pomoću malog prijemnika trajno ugrađenog u vozilo. Uređaj ima bateriju kapaciteta 8 Ah, sustav hlađenja s ventilatorom, upotrebljiv je i za vrijeme punjenja, a baterija izdrži 3 sata. Slika prikazuje korišteni ometač.

Tablica 21: Specifikacije ometača

Snaga	Do 4,2 W	
Radna frekvencija	LoJack	173 MHz
	GPS i GLONASS L2	1220 – 1260 MHz
	GPS L3 i L4	1370 – 1380 MHz
	GPS i GLONASS L1	1570 – 1620 MHz
	GPS L5	1170 – 1180 MHz
	WiFi	2400 – 2500 MHz
Antene	5 x 2,5 dbm <i>High Gain Omni-directional</i>	
Domet	2 – 30 m	
Dimenzije	177,5 x 76,5 x 36,5 mm	
Napajanje	AC (100 – 240 V), DC (12 V)	
Masa	1,2 kg	
Radna temperatura	-20° C do +50° C	
Vlažnost	5% - 95%	
Priključak	SMA tipa	
Snaga baterije	8000 mA / H	

Slika 3 prikazuje korišteni ometač.



Slika 3: Korišteni ometač

5. MJERENJE

Mjerenje je provedeno u ponedjeljak 15.12.2025. godine u razdoblju od 11:30 do 12:30 po lokalnom vremenu (UTC + 1). Zadane trajektorije nalaze se u blizini Geodetskog fakulteta, na Gimnazijskom igralištu i nogostupu u njegovoj okolini (*Slika 4*). Manja trajektorija definirana je kao atletsko trkalište na igralištu, dok je veća kao nogostup u okolnim ulicama te prolaz kroz gimnazijsko dvorište. Ometač je postavljen na centar igrališta s tim da je položaj ometača prethodno snimljen s GNSS prijemnikom.



Slika 4: Zadane trajektorije

Mjerenje je obavljeno na način da je prvo snimljena mala trajektorija bez, a zatim sa ometačem, a poslije nje velika trajektorija na isti način. Snimanje je obavljeno sa sva tri GNSS uređaja istovremeno. Kod snimanja vođeno je računa da se gibamo po približno istoj trajektoriji kako bi kasnije mogli usporediti odstupanja trajektorije sa ometačem od one snimljene bez.

Snimanje pojedine trajektorije obavljano je u isto vrijeme sa sva tri prijemnika, po čitavoj trajektoriji sa istom početnom i završnom točkom. Interval pohrane podataka postavljen je na 1 sekundu.

Mala trajektorija snimana je od 11:46:09 do 11:50:01 bez ometača, dok je s aktivnim ometačem snimana od 11:52:16 do 11:56:36. Velika trajektorija snimana je od 11:59:37 do 12:06:36 bez ometača, dok je s ometačem snimana od 12:22:19 do 12:29:04. Tijekom snimanja velike trajektorije bez ometača s androidom došlo je do problema s internetom ona je naknadno snimljena od 12:13:11 do 12:19:32.

6. OBRADA OPAŽANIH PODATAKA

Opažani podaci preuzeti su u formatima zadanim aplikacijom.

Podaci prikupljeni korišten Topcon HiPer SR GNSS prijarnikom izvezeni su .txt i OBS formatu. U tekstualnoj datoteci osim opažanih točaka dani su i podaci o broju vidljivih satelita, DOP-u, RMS-u te ostali statistički podaci bitni za daljnju analizu i usporedbu.

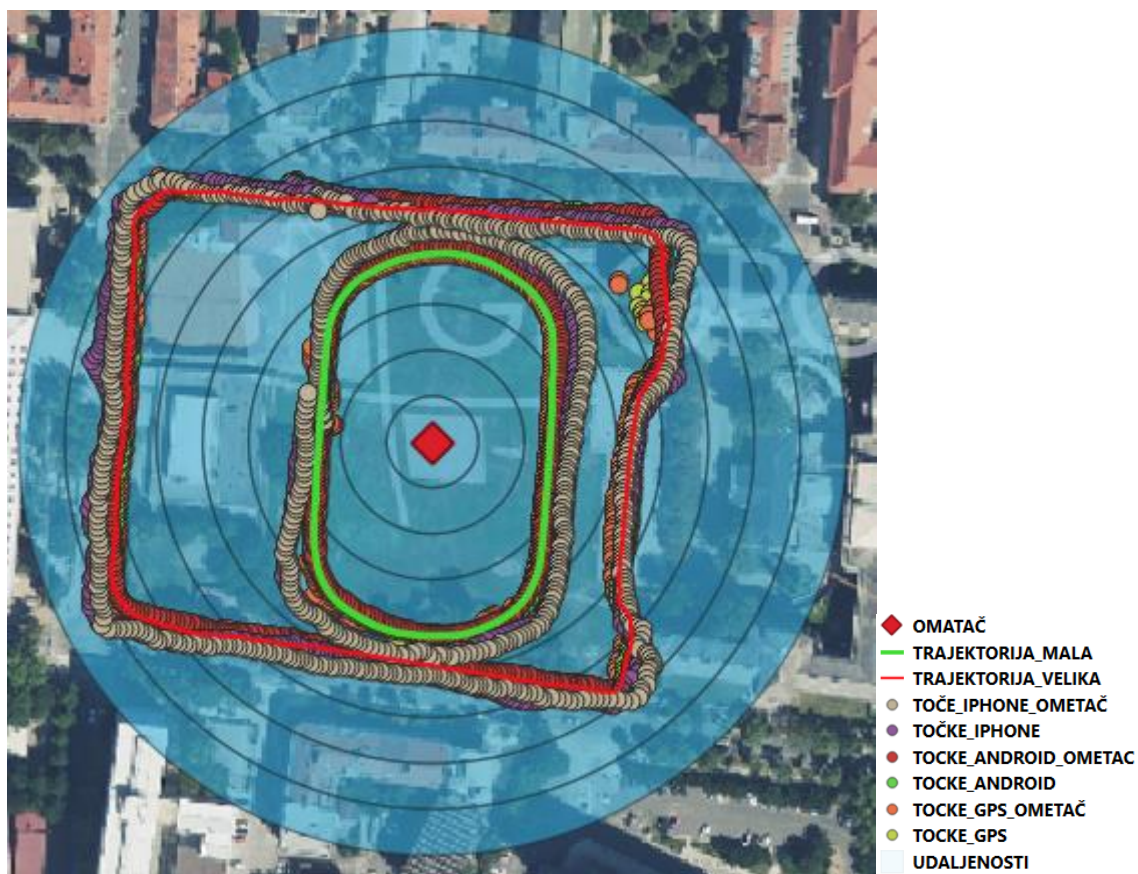
Podaci prikupljeni Huawei mobilnim uređajem izvezeni su u .nmea formatu. Preuzeti podaci raspakirani su korištenjem Internet aplikacije „NMEA Analyser „ (URL 1) na .gpx datoteku te .csv datoteku koja sadrži podatke o broju satelita i DOP-u. Kako je interval snimanja četiri puta u sekundi izbrisani su svi duplikati s obzirom na vrijeme s tim da su podaci o mjerenju unutar te jedne sekunde uglavnom jednaki.

Podaci prikupljeni iPhone mobilnom uređajem izvezeni su u .gpx format te ne sadrže nikakve informacije o broju satelita, DOP-u ni drugim statističkim mjerama kvalitete.

Za mjerenja svakog GNSS uređaja međusobno su uspoređivani dostupni podaci za snimanje sa i bez ometača. Kako podatke opažane iPhoneom nije bilo dostupnih podataka na osnovu kojih bi proveli analizu na taj način, određena su odstupanja trajektorije snimane s aktivnim ometačem od idealne trajektorije za snimanja svim uređajima. Kao idealna trajektorija odabrana je ona snimljena Topcon HiPer SR GNSS prijarnikom uz blage korekcije na osnovu preklapanja s DOF-om.

Tako su za snimanja obavljena profesionalnim GNSS uređajem i androidom i pripadajućom aplikacijom tablično i grafički prikazani statistički pokazatelji na osnovu kojih je vidljivo eventualno postojanje blackout zone, broj vidljivih satelita sa uključenim i isključenim ometačem u odnosu na almanah, utjecaj na PDOP, HRMS i VRMS.

Obrada podataka obavljena je korištenjem softvera MS Excel, a podaci o almanahu preuzeti su s portala „gnssplaning“ (URL 2) koji omogućuje pregled podataka o broju vidljivih satelita i zdravlju satelita za određeno područje i u određenom vremenu. Podaci za vrijeme mjerenja ručno su preuzeti u Excel te je prikazan broj vidljivih satelita sa aktivnim i neaktivnim ometačem u odnosu na almanah. Također za daljnju obradu potrebni su i podaci o udaljenosti snimljenih točaka od ometača. Stoga su snimljene trajektorije učitane u QGIS, za svaki mjerni uređaj posebno. Također učitani su i ostali podaci mjerenja kao atributi. S obzirom na vrijeme mjerenja odvojeni su podaci snimani s isključenim ometačem od onih s aktivnim. Kako bi mogli obavljati dalju analizu s obzirom na udaljenosti od ometača, koja najviše utječe na njegov utjecaj na GNSS prijarnike, konstruirane su koncentrične kružnice koje dijele opažane točke u zone s obzirom na udaljenosti (*Slika 5*).



Slika 5: Podaci učitani u QGIS

Na taj način odabirane su točke koje se nalaze u određenoj zoni te korištenjem QGIS alata *Statistical Summary* dohvaćani su statistički podaci iz atributne tablice koji su uneseni u Excel tablice na osnovu kojih se provodi daljnja analiza. Prikazani parametri ovisili su o dostupnosti podataka pa tako za oba uređaja nisu prikazani isti pokazatelji.

Kako za podatke prikupljene iPhone mobilnim uređajima nisu dostupni nikakve statističke mjere kvalitete obavljena je analiza odstupanja mjerenje s aktivnim ometačem od idealne trajektorije, kako za iPhone mjerenja tako i za ostala dva. Podaci snimanja također su učitani u QGIS te su odvojeni oni snimani s ometačem od onih bez. Idealna trajektorija konstruirana je na osnovu snimanja profesionalnog GNSS prijemnika uz blage korekcije na osnovu DOF-a , posebno za područje male trajektorije koje je zaklonjeno krošnjama.

Od podataka snimanja s aktivnim ometačem konstruirane su linijske trajektorije naredbom *Points to path* koja spaja točke s obzirom na vrijeme snimanja. Korištenjem alata *Points along geometry* duž iscrtanih trasa gibanja generirane su točke na međusobnoj udaljenosti od 1 centimetra. Pomoću alata *Distance to nearest hub (points)* dobivene su linije koje spajaju mjerene točke s najbližim točkama duž idealne trajektorije (Slika 6). Duljine tih linija iskorištene su za prikaz standardnog, minimalnog i maksimalnog odstupanja te je grafički prikazan odnos odstupanja s brojem vidljivih satelita.



Slika 6: Udaljenosti snimljenih točaka s aktivnim ometačem od idealne trajektorije

7. ANALIZA OPAŽANIH PODATAKA

Na osnovu obrađenih mjerenih podataka generirane su tablice i grafički prikazi odnosa broja satelita tijekom snimanja s neaktivnim i aktivnim ometačem u odnosu na almanah, utjecaj ometača na PDOP, HRMS i VRMS. Na osnovu udaljenosti od idealne trajektorije određena su odstupanja te njihova ovisnost o broju vidljivih satelita. Za svaki uređaj zasebno analizirane su dostupne vrijednosti mjerenja s isključenim i uključenim ometačem.

7.1 TOPCON HIPER SR GNSS PRIJAMNIK

Podaci snimljeni s Topcon prijemnikom preuzeti su u .obs i .txt formatu te ih kao takve nije trebalo dodatno obrađivati. U .txt datoteci uz koordinate snimanih točaka i vrijeme snimanja dostupni su podaci o broju vidljivih satelita unutar određenog GNSS sustava, PDOP, HRMS, VRMS kao i drugi podaci mjerenja i statističke mjere kvalitete koje su korištene za analizu utjecaja ometača na ovaj prijemnik.

Preuzeti podaci sastavljeni su od svih točaka bez podijele na epohe. Kako se zadatak sastojao od snimanja dviju trajektorija, podaci su podijeljeni prema snimljenim trajektorijama, a uz to i na one snimljene bez i uz aktivan ometač. Trajektorije su imenovane kao mali i veliki krug radi lakšeg prepoznavanja. Na osnovu izdvojenih podataka napravljena je prikaz odnosa broja satelita, PDOP-a te HRMS svih epoha (*Tablica 3*).

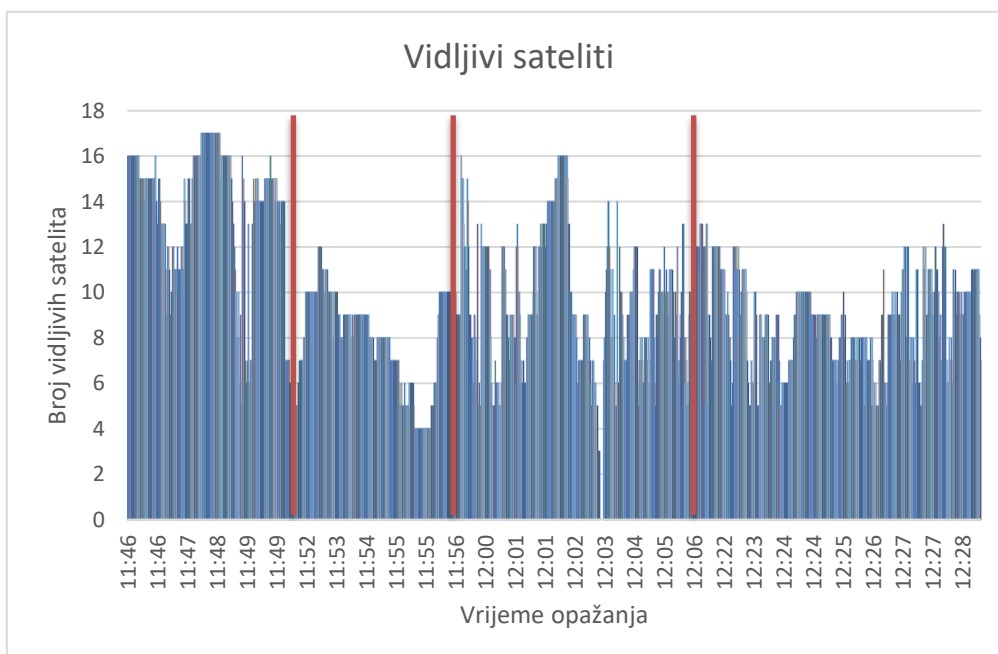
Tablica 3: Podaci mjerenja i statističke mjere kvalitete

MJERENJE (EPOHA)	VRIJEME [h]	BR. TOČAKA	MIN SAT.	MAX SAT.	MIN PDOP	MAX PDOP	FIXED	FLOAT	STANDALONE	MIN HRMS	MAX HRMS
UKUPNO	0:22	1231	0	17	1.606	29.986	563	162	506	0.003	21.033
MALI KRUG	0:04	227	5	17	1.63	3.02	215	7	5	0.004	2.166
MALI KRUG -OMETAČ	0:04	253	3	12	2.454	29.986	141	17	95	0.003	13.834
VELIKI KRUG	0:07	367	0	16	1.606	13.547	162	72	132	0.005	6.525
VELIKI KRUG- OMETAČ	0:07	384	5	13	1.714	16.998	45	66	273	0.007	21.033

Iz priložene tablice vidljivo je kako vrijeme opažanja i male i velike trajektorije bez ometača i s ometačem traju podjednako, a uz to otprilike jednak je i broj snimljenih točaka. Minimalni broj satelita kod malog kruga manji je za onu epohu u kojoj je korišten ometač što upućuje na njegovo djelovanje. Ali kod velikog kruga minimalni broj satelita jednak je 0 kod snimanja bez ometača dok je s ometačem jednak 5. Do takve inverzije najvjerojatnije dolazi zbog zaklonjenosti južnog dijela velike trajektorije kod koje je tijekom snimanja došlo do prekida signala te dio trajektorije nisu snimljene točke. Maksimalni broj satelita kod obadvije trajektorije veći je kod snimanje bez ometača. Vrijednosti PDOP-a također su veće za epohe opažane s aktivnim ometačem. Kvalitetna mjerenja zahtijevaju čisti horizont, ali i niske vrijednosti PDOP-a. Što je DOP niži to je točnost i pouzdanost veća. Smatra se da je PDOP dobar ako iznosi manje od 6 (Bačić 2014). Tako se od svih mjerenja maksimalni PDOP javlja kod snimanja malog kruga s ometačem, kada se prijemnik nalazi najbliže ometaču te ga od njega ne dijele nikakve prepreke. Korišteni prijemnik dijeli rješenja na *Fix*, *Float* i *Standalone* – fiksno, plivajuće i samostalno (bez ikakvih korekcija). Na osnovu statusa može se ustanoviti

utjecaj na korišteni VPPS CROPOS sustav. Tako kod snimanja malog kruga, kod kojeg je čist horizont, imamo najviše fiksnih rješenja uz nekoliko plivajućih i samostalnih. Također u ovoj epohi koristi se i maksimalan broj satelita. Kod aktivnog ometača malo se povećava broj plivajućih, dok se broj samostalnih značajno povećava. Uz to broj korištenih satelita nešto je manji. Kod velikog kruga slična je situacija s tima da imamo značajno veći broj samostalnih rješenja u odnosu na fiksne, a posebno kod mjerenja s ometačem. Mogući uzrok toga je česta zaklonjenost horizonta na toj trajektoriji. Maksimalne vrijednosti HRMS kod opažana s aktivnim ometačem značajno su veće u odnosu na one bez ometača.

Topcon prijemnik opaža samo GPS i GLONASS signale satelita te grafički prikazan ukupan broj opažanih satelita u donosu na vrijeme opažanja (*Slika 7*). I bez poznavanja trajanja pojedinih epoha na grafu se daju jasno razlučiti opažanja s neaktivnim i aktivnim ometačem. Crvenim linijama prikazane su granice epoha. Tako prva epoha koja traje do 11:50, a radi se o snimanju malog kruga bez ometača, ima maksimalnih 17 opažanih satelita, što je maksimum za cijelo opažanje. Kod druge epohe kada je aktiviran ometač broj satelita naglo pada te se kreće od maksimalno 12 do minimalno 3. U trećoj epohi broj opažanih satelita naglo raste te je u globalu veći nego kod opažanja s aktivnim ometačem. Broj vidljivih satelita kreće se od 0 do 16. Vidljivo je kako u dijelu u drugoj polovini sesije nije vidljiv niti jedan satelit, a radi se o dijelu trase s južne strane koja je zaklonjena krošnjama i zgradama. Kod četvrte epohe, snimanja velike trajektorije s ometačem, vidljiv je pad broja vidljivih satelita u odnosu na prethodnu epohu. Broj satelita kreće se od 5 do 13, ali bez naglih skokova i padova u odnosu na prethodne dvije epohe. Također minimalni broj satelita veći je u odnosu na snimanje malog kruga s aktivnim ometačem što upućuje na smanjenje utjecaja ometača s povećanjem udaljenosti.



Slika7: Broj vidljivih satelita

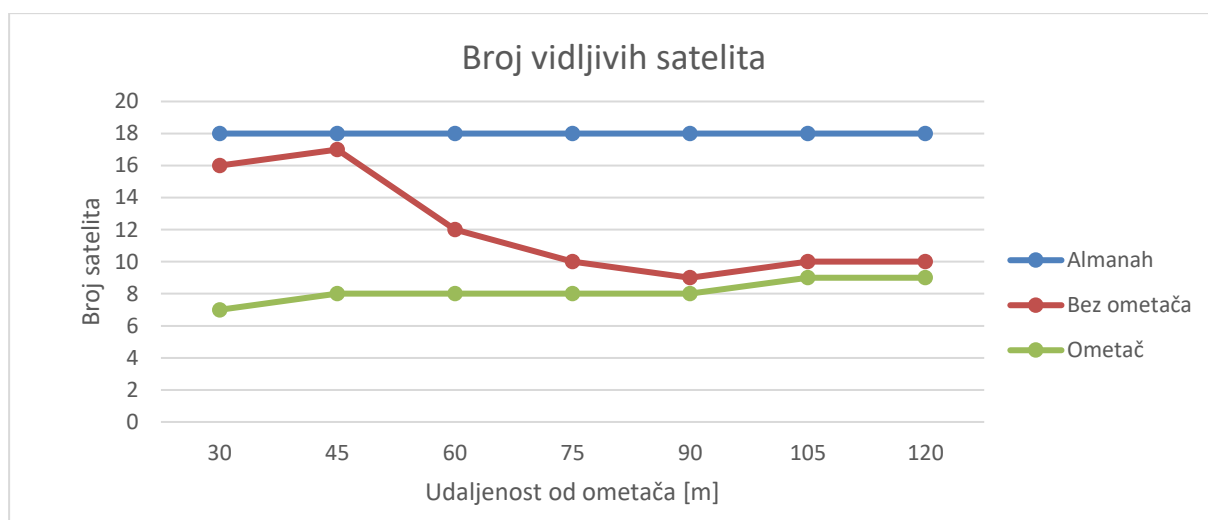
Daljnja analiza provedena je korištenjem podataka almanaha. Uspoređen je broj opažanih satelita s onima koji bi trebali biti opažani prema almanahu u ovisnosti o udaljenosti od ometača (Tablica 4). U tu svrhu konstruirane su koncentrične kružnice s centrom u opažaču na međusobnoj udaljenosti od 15 m s tim da se najbliža točka ometaču nalazi na udaljenosti od 30 m. Korištenjem Internet servisa za planiranje GNSS opažanja preuzeti su podaci almanaha za razdoblje i lokaciju snimanja. Korištenjem QGIS-a odabirane su točke unutar svake od zona udaljenosti te su iz atributnih tablica upisivane prosječne vrijednosti broja satelita za svaku zonu.

Tablica 4: Broj opažanih satelita i dostupnih prema almanahu

UDALJENOST [m]	ALMANAH			MJERENJE			MJERENJE_OMETAČ		
	GPS	GLONASS	UKUPNO	GPS	GLONASS	UKUPNO	GPS	GLONASS	UKUPNO
30	10	8	18	9	7	16	5	2	7
45	10	8	18	10	7	17	6	2	8
60	10	8	18	7	5	12	5	3	8
75	10	8	18	6	4	10	5	3	8
90	10	8	18	6	3	9	5	3	8
105	10	8	18	6	4	10	5	4	9
120	10	8	18	6	4	10	5	4	9

Iz tablice je vidljivo kako je broj opažanih satelita kod neaktivnog ometača konstantno veći od onog s aktivnim ometačem, ali uvijek manji od almanaha. Posebno je to vidljivo na većim udaljenostima, koje teoretski ne bi trebale imati utjecaja kod neaktivnog ometača, ali s većim udaljenostima približavamo se drvoredu koji zaklanja horizont i smanjuje broj vidljivih satelita. Na grafičkom prikazu (Slika 8) jasno se uočava kako je najmanji broj opažanih satelita kod opažanja s aktivnim ometačem na manjim udaljenostima. Tako na udaljenostima od 30 do 45 metara kod opažanja bez ometača broj satelita je najbliži onima po almanahu, dok povećanjem udaljenosti od ometača krivulje broja vidljivih satelita sa i bez ometača postaju praralelne sa po jednim satelitom više za snimanje bez ometača. To je dokaz pada učinkovitosti ometača s povećanjem udaljenosti od nejga.

Iz grafa i tablice također je vidljivo da nema blackout zone, bar u području od 30 do 120 metara udaljenosti od ometača. Vidljiv je značajan utjecaj ometača, posebno na manjim udaljenostima. Povećanjem udaljenosti smanjuje se i utjecaj. Provedena analiza slaže se sa specifikacijama ometača koje navode da je doseg ometača od 2 do 30 m u kojima ometač najvjerojatnije u potpunosti pregazi GNSS signale s tim da njegov utjecaj pada s povećanjem udaljenosti.



Slika 8: Broj opažanih satelita i dostupnih prema almanahu

Uz broj satelita provedena je i analiza utjecaja ometača s obzirom na udaljenost na PDOP, HRMS i VRMS. U *Tablici 5* PDOP-a značajno manje kod običnog opažanja u odnosu na opažanje s ometačem. Također vidljivo je da se vrijednosti smanjuju s povećanjem udaljenosti što dokazuje da ometači povećavaju vrijednosti PDOP-a. Vrijednosti HRMS-a i VRMS-a također su veće kod opažanja s ometačem što upućuje na utjecaj ometača na horizontalnu i vertikalnu točnost. Vrijednosti se mijenjaju neovisno o udaljenosti.

Tablica 5: Ujecaj na PDOP, HRMS i VRMS

UDALJENOST [m]	MJERENJE					MJERENJE S OMETAČEM				
	PDOP	HRMS	VRMS	SOLUTION	MAX SATELITA	PDOP	HRMS	VRMS	SOLUTION	MAX SATELITA
30	1.791	0.005	0.011	FIXED	17	5.476	2.096	6.516	FIX/ST	10
45	1.792	0.005	0.01	FIXED	17	4.673	1.310	4.393	FIX/ST	10
60	2.716	0.487	0.958	FIX/FL/ST	16	5.720	2.641	7.678	FIX/FL/ST	12
75	3.016	1.703	3.954	FIX/FL/ST	16	4.261	2.913	6.595	FIX/FL/ST	12
95	3.367	1.705	3.686	FIX/FL/ST	16	3.672	2.321	4.901	FIX/FL/ST	12
105	2.985	0.745	1.839	FIX/ST	13	3.845	1.906	4.318	FIX/FL/ST	13
120	2.861	4.775	2.035	FIX/FL/ST	12	3.482	2.595	5.718	FIX/FL/ST	12

Korištenjem softvera RTK LIB i aplikacije RTK Plot iz RINEX opažanja dohvaćene su i vizualizirane vrijednosti SNR-a tijekom opažanja i elevacije satelita. SNR (engl. *Signal-to-noise ratio*) je mjera za omjer signala i šuma koja uspoređuje razinu željenog signala s razinom šuma. SNR se obično izražava u decibelima (dB). U RINEX datoteci SNR vrijednosti označene su sa S1 i S2, s obzirom jesu li pohranjene na L1 ili L2 nosaču (*Hulina 2018.*). Učitavanjem .obs datoteke u RTK Plot vizualizira se SNR i elevacija s obzirom na nosač na kojem su pohranjeni.

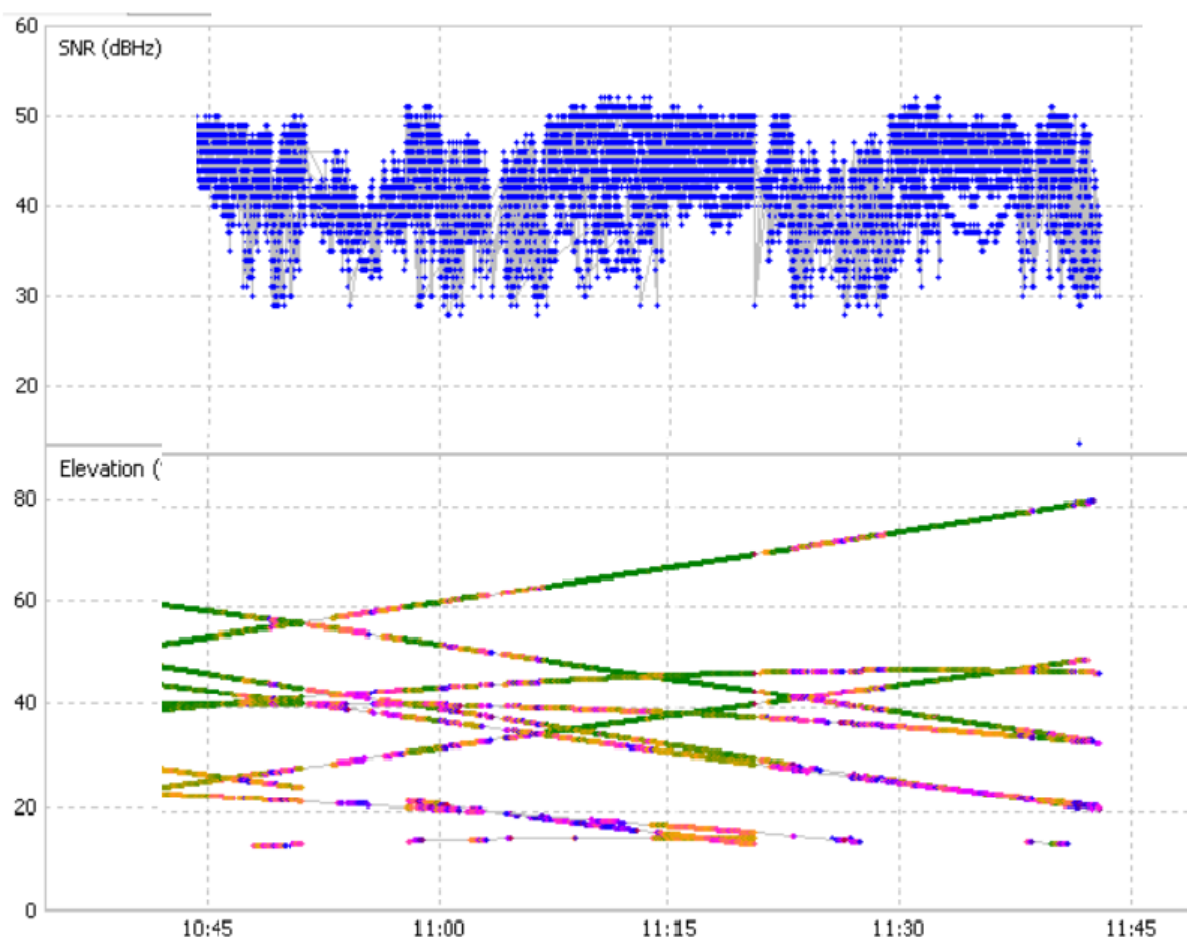
Tako na *Slici 7* vidimo SNR pohranjen na L1 nosaču i pripadajuću elevaciju. Skala vremena dana je u UTC dok je mjerenje obavljeno po UTC+1. Stoga je prema UTC-u mala trajektorija

snimana je od 10:46:09 do 10:50:01 bez ometača, dok je s aktivnim ometačem snimana od 10:52:16 do 10:56:36. Velika trajektorija snimana je od 10:59:37 do 11:06:36 bez ometača, dok je s ometačem snimana od 11:22:19 do 11:29:04.

Iz priloženih grafikona vidljiva je ujednačenost SNR-a tijekom snimanja male trajektorije bez ometača. Vrijednost SNR-a pada s početkom rada ometača. Također vidljiv je i prekid opažanja satelita elevacije do 30°.

Nadalje vidljiv je velik ali kratkotrajan pad SNR-a oko 11:05 kada se obavlja snimanje velike trajektorije bez ometača. U tom trenutku sniman je dio na križanju Kačićeve i Klaićeve ulice te dolazi do prekida signala što je vidljivo i kod elevacija. Naime dolazi do prekida veze sa satelitima svih elevacija.

Uvidom u graf jasno je kada se obavlja sljedeće opažanje s aktivnim ometačem. Nakon razdoblje kontinuirane vrijednosti SNR-a na oko 50 dBHz on naglo pada u 11:20 te konstantno mijenja vrijednosti od 40 do 50 dBHz pa sve dok traje snimanje s aktivnim ometačem. Također tijekom snimanja s aktivnim ometačem dolazi do prekida opažanja sa satelitima elevacije do 30°.



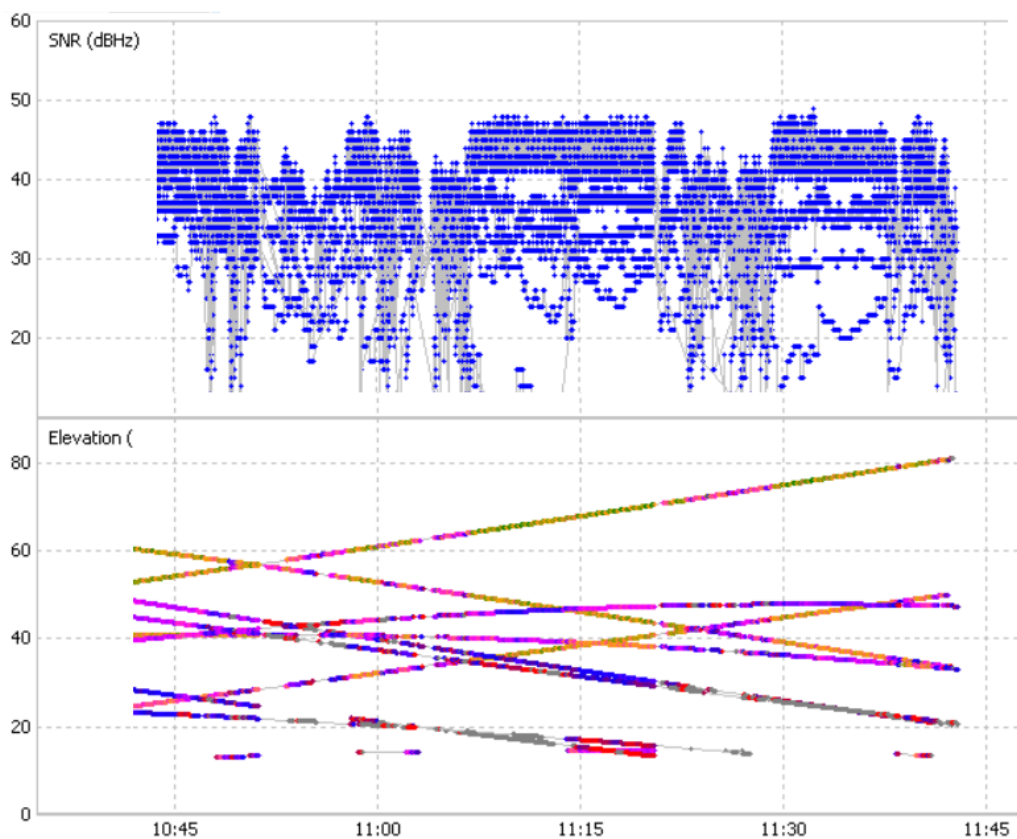
Slika 9: SNR na L1 nosaču i elevacija

Na *Slika 10* prikazane su vrijednosti SNR-a pohranjene na L2 nosaču i pripadajuće elevacije satelita tijekom cijelog razdoblja opažanja. Vremenska skala dana je u UTC, dok je mjerenje provedeno po UTC +1, stoga su vremenski intervali snimanja isti kao i kod prikaza na L1 nosaču.

Iz grafikona je vidljivo da su vrijednosti SNR-a na L2 nosaču općenito niže u odnosu na one na L1 nosaču, što je očekivano zbog slabijeg signala L2 frekvencije. Tijekom snimanja male trajektorije bez aktivnog ometača SNR vrijednosti su relativno stabilne, no pokazuju veću varijabilnost nego na L1 nosaču.

S početkom rada ometača dolazi do izraženog pada SNR vrijednosti, uz češće i dulje prekide opažanja, posebno kod satelita nižih elevacija (do 30°). U usporedbi s L1 nosačem, utjecaj ometača na L2 nosač je izraženiji, što se očituje kroz veće oscilacije SNR-a i veći broj prekida signala.

Tijekom snimanja velike trajektorije bez ometača uočavaju se povremeni padovi SNR-a, koji se mogu povezati s prolaskom kroz zaklonjena područja, dok kod snimanja s aktivnim ometačem SNR vrijednosti ostaju nestabilne i pokazuju znatno veće oscilacije tijekom cijelog razdoblja opažanja. Također je vidljivo da tijekom rada ometača dolazi do smanjenog broja opažanih satelita na L2 nosaču, osobito onih s manjim elevacijama do 20° .

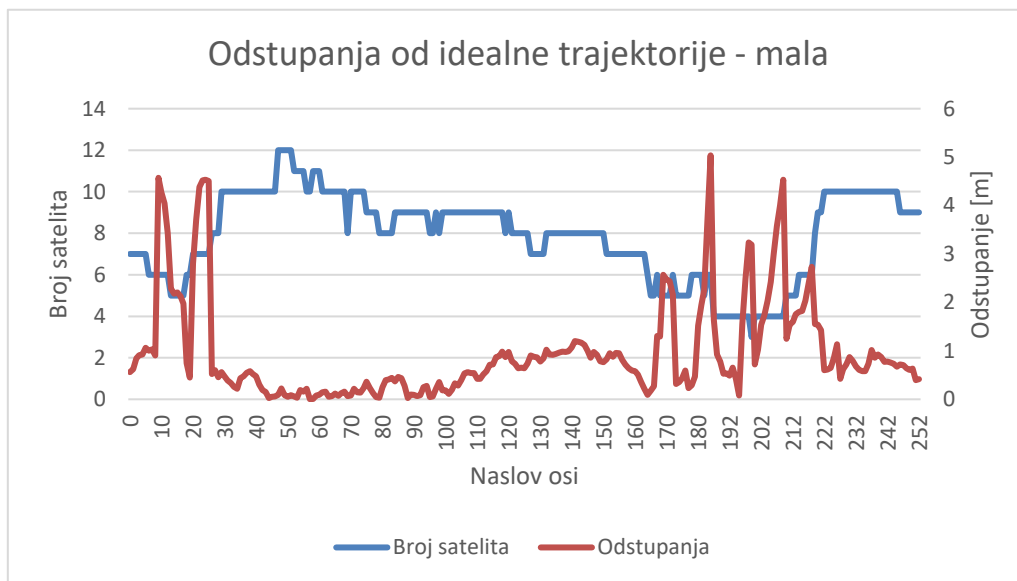


Slika 10: SNR na L2 nosaču i elevacija

Kako podaci opažani iPhone mobilnim telefonom ne pružaju dovoljno informacija za obradu na ovaj način obavljena je analiza odstupanja od idealne trajektorije. Kao idealna trajektorija uzeta je ona snimljena s Topcon GNSS prijemnikom. Na osnovu u QGIS-u generiranih udaljenosti trajektorije snimljene s ometačem od idealne obavljena je analiza. Određeno je standardno odstupanje, minimalna i maksimalna vrijednost odstupanja za malu (Tablica 6) i veliku trajektoriju (Tablica 7) te grafički prikazan odnos odstupanja s brojem opažanih satelita za malu (Slika 11) i veliku trajektoriju (Slika 12).

Tablica 6: Statističke mjere odstupanja male trajektorije

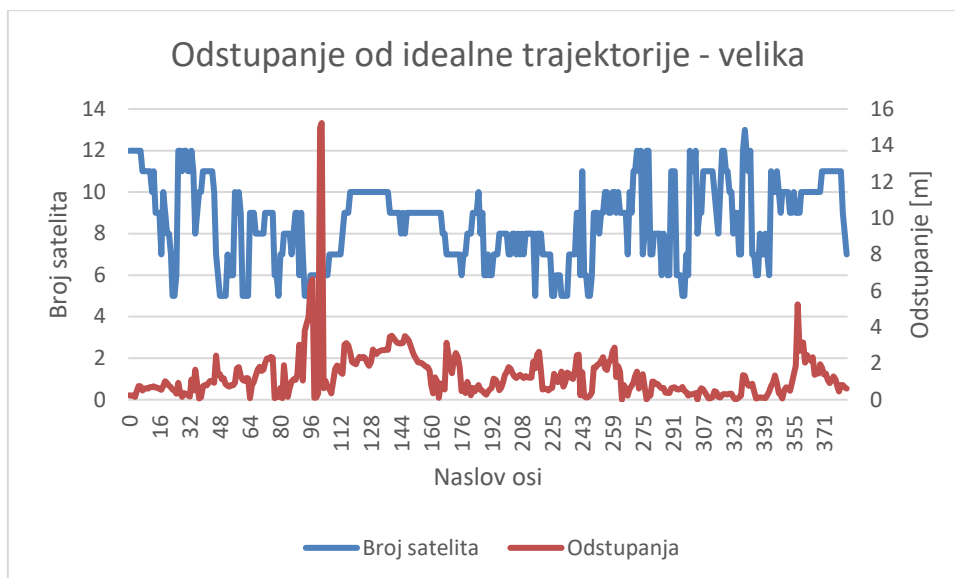
TRAJEKTORIJA	BR. EPOHA	σ_D [m]	MIN _D [m]	MAX _D [m]
MALA	251	1.026	0.003	5.036



Slika 11: Odnos broja satelita i odstupanja za malu trajektoriju

Tablica 7: Statističke mjere odstupanja velike trajektorije

TRAJEKTORIJA	BR. EPOHA	σ_D [m]	MIN _D [m]	MAX _D [m]
VELIKA	381	1.411	0.003	15.230



Slika 12: Odnos broja satelita i odstupanja za veliku trajektoriju

Na osnovu priloženih grafova vidljivo je da je pad tačnosti direktno povezan s padom broja satelita. Kod male trajektorije imamo izražena odstupanja s padom broja satelita što je najvjerojatnije povezano s udaljenošću od ometača. Kod velike trajektorije krivulja odstupanja prati krivulju broja satelita sa velikim skokom odstupanja uslijed za cijelu sesiju neznačajnog pada broja satelita. Vidljivo da i relativno mali pad broja satelita može rezultirati naglim povećanjem odstupanja trajektorije.

7.2 HUAWEI MOBILNI TELEFON

Podaci opažani Huawei mobilnim telefonom prikupljeni su korištenjem aplikacije GnsLogger, koja omogućuje logiranje sirovih GNSS podataka i njihov izvoz u NMEA format. Iz preuzetih podataka raspakirane su .csv datoteke koje sadrže informacije o broju vidljivih satelita i PDOP-u, dok HRMS i VRMS nisu dostupni, a SNR po nosačima nije bilo moguće analizirati na jednak način kao kod profesionalnog GNSS prijemnika zbog nedostatka .obs datoteke.

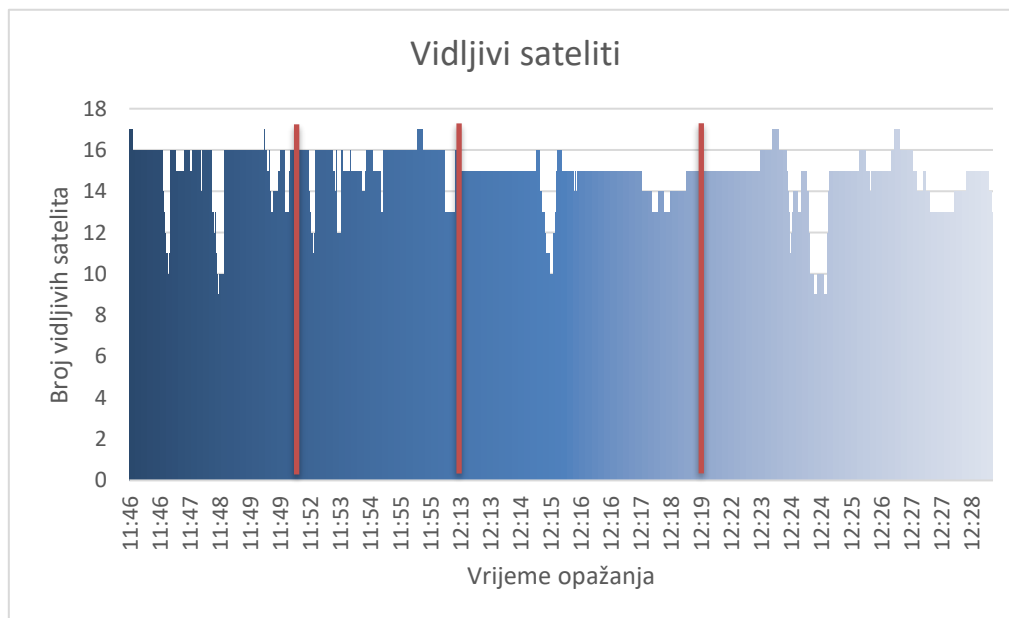
U *Tablica 8* prikazane su osnovne statističke mjere kvalitete opažanja za snimanja s isključenim i uključenim ometačem, odvojeno za malu i veliku trajektoriju. Iz tablice je vidljivo da je broj opažanih satelita u prosjeku manji u odnosu na profesionalni GNSS prijemnik, što je očekivano s obzirom na ograničenja antene i prijemnika ugrađenog u mobilni uređaj. Također je vidljivo da se s aktivnim ometačem smanjuje minimalni i prosječni broj satelita, dok se vrijednosti PDOP-a povećavaju, što upućuje na pogoršanje geometrije satelita i smanjenje kvalitete pozicioniranja.

Tablica 8: Podaci mjerenja i statističke mjere kvalitete

MJERENJE	VRIJEME	BR. TOČAKA	MIN SATELITA	MAX SATELITA	MIN PDOP	MAX PDOP	FIX QUALITI
UKUPNO	0:22	1293	8	17	0.5	1.2	GPS - 1293
MALI KRUG	0:04	233	9	17	0.5	1.2	GPS - 233
MALI KRUG - OMETAČ	0:04	259	11	17	0.5	1.1	GPS - 259
VELIKI KRUG	0:07	382	10	16	0.5	0.8	GPS - 382
VELIKI KRUG- OMETAČ	0:07	419	8	17	0.5	0.9	GPS - 419

Na Slika 13 grafički je prikazan broj vidljivih satelita u odnosu na vrijeme opažanja. Na grafo se s obzirom na broj satelita ne mogu jasno razlučiti epohe snimanja sa i bez ometača. Tijekom snimanja male trajektorije broj satelita oscilira između istih vrijednosti i kod snimanja sa ometačem i kod snimanja bez ometača. Kod velike trajektorije broj satelita je u prosjeku nešto manj, što upućuje na utjecaj zaklonjenosti.

Međutim u čitavom grafu nije jasno vidljiv utjecaj ometača na broj vidljivih satelita.



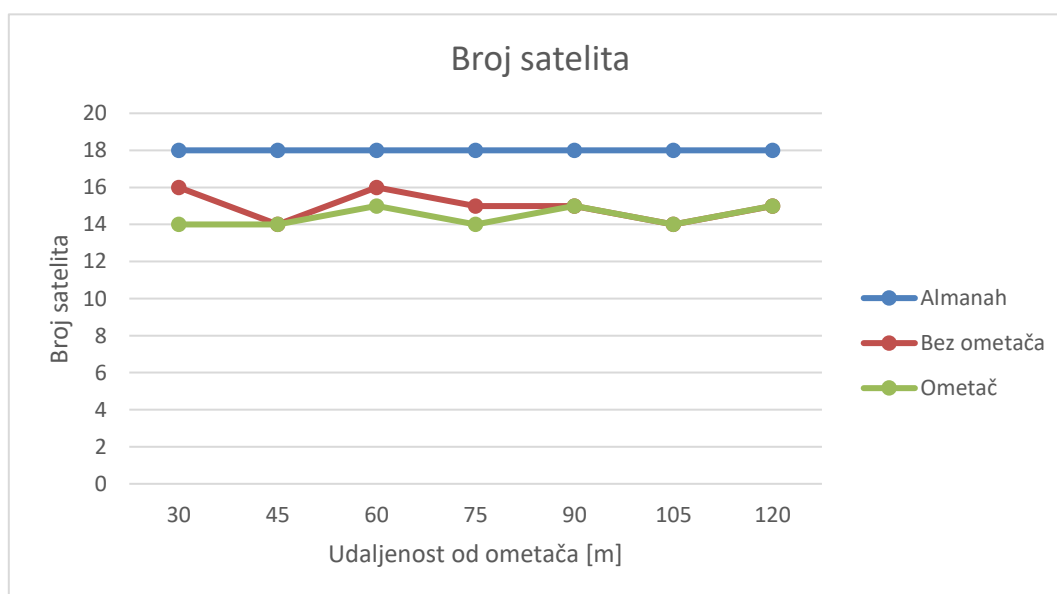
Slika 13: Broj vidljivih satelita

Daljnja analiza provedena je usporedbom broja opažanih satelita s brojem satelita dostupnih prema almanahu. U Tablici 9 prikazan je prosječan broj opažanih satelita unutar pojedinih zona udaljenosti od ometača, zajedno s vrijednostima prema almanahu. Iz tablice je vidljivo da je broj opažanih satelita u svim zonama manji od teorijski dostupnog broja, pri čemu je razlika najizraženija u zonama bližim ometaču. Tako je u zoni od 30 do 75 metara broj satelita manji od onih opažanih sa ometačem, dok je daljnjim udaljavanjem broj jednak.

Tablica 9: Broj opažanih satelita i dostupnih prema almanahu

UDALJENOST [m]	ALMANAH			MJERENJE			MJERENJE_OMETAČ		
	GPS	GLONASS	UKUPNO	GPS	GLONASS	UKUPNO	GPS	GLONASS	UKUPNO
30	10	8	18	10	6	16	9	5	14
45	10	8	18	9	5	14	9	5	14
60	10	8	18	10	6	16	9	6	15
75	10	8	18	10	5	15	10	4	14
90	10	8	18	10	5	15	10	5	15
105	10	8	18	9	5	14	9	5	14
120	10	8	18	10	5	15	10	5	15

Na *Slici 12* prikazan je grafički odnos broja opažanih satelita i broja dostupnih satelita prema almanahu u ovisnosti o udaljenosti od ometača. Na grafu je vidljivo da je kod snimanja s aktivnim ometačem broj opažanih satelita nešto manji, osobito na manjim udaljenostima. Povećanjem udaljenosti od ometača razlika između opažanih satelita sa i bez ometača se smanjuje, što potvrđuje slabljenje utjecaja ometača s udaljenošću. U usporedbi s profesionalnim GNSS prijemnikom, kod mobilnog uređaja uočene su manje oscilacije broja satelita s ometačem od snimanj bez.



Slika 14: Broj opažanih satelita i dostupnih prema almanahu

U *Tablici 10* prikazan je utjecaj ometača na PDOP. Vrijednosti PDOP-a kod mjerenja s ometačem otprilike su jednakih vrijednosti kao i one kod mjerenja bez ometača. Međutim vrijednosti PDOP-a značajno su manje od onih kod profesionalnog GNSS prijemnika te ih treba uzeti s dozom rezerve.

Rješenje za sve točke klasificirano je kao GPS FIX iz razloga što se mobilni uređaji pozicioniraju apsolutno, isključivo iz satelitskih signala.

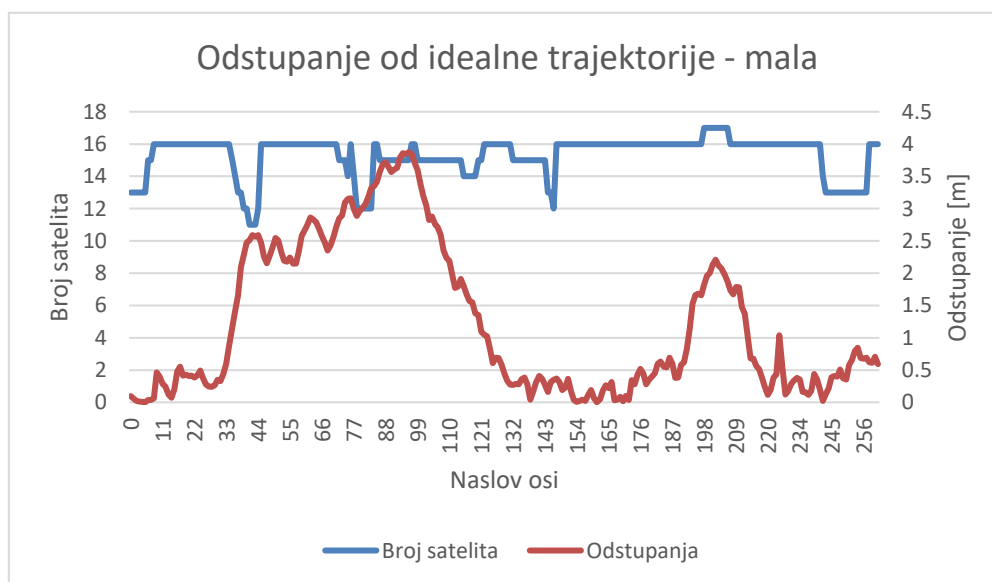
Tablica 10: Utjecaj na PDOP, HRMS i VRMS

UDALJENOST [m]	MJERENJE			MJERENJE S OMETAČEM		
	PDOP	SOLUTION	MAX SATELITA	PDOP	SOLUTION	MAX SATELITA
30	0.518	GPS FIX	17	0.626	GPS FIX	16
45	0.659	GPS FIX	15	0.587	GPS FIX	16
60	0.594	GPS FIX	16	0.602	GPS FIX	16
75	0.514	GPS FIX	16	0.546	GPS FIX	16
95	0.503	GPS FIX	15	0.500	GPS FIX	17
105	0.538	GPS FIX	15	0.545	GPS FIX	17
120	0.517	GPS FIX	15	0.522	GPS FIX	15

Na temelju statističkih mjera odstupanja prikazanih u *Tablici 11* i *Tablici 12* te grafičkih prikaza odnosa broja opažanih satelita i odstupanja na *Slici 13* i *Slici 14*, vidljiv je utjecaj ometača GNSS signala na točnost pozicioniranja mobilnog uređaja Huawei. Pad točnosti djelomično je povezan sa smanjenjem broja vidljivih satelita.

Tablica 11: Statističke mjere odstupanja male trajektorije

TRAJEKTORIJA	BR. EPOHA	σ_D [m]	MIN _D [m]	MAX _D [m]
MALA	259	1.163	0.002	3.872

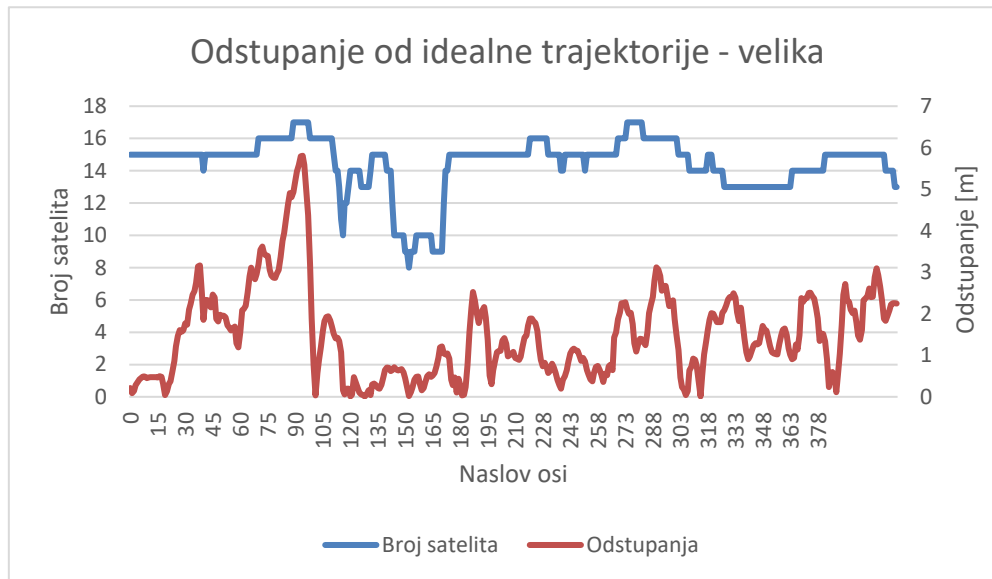


Slika 15: Odnos broja satelita i odstupanja za malu trajektoriju

Kod male trajektorije uočavaju se veća odstupanja u zonama u kojima dolazi do pada broja opažanih satelita, što je očekivano s obzirom na manju udaljenost od ometača. Maksimalna odstupanja manja su u odnosu na ona dobivena profesionalnim GNSS prijemnikom.

Tablica 12: Statističke mjere odstupanja velike trajektorije

TRAJEKTORIJA	BR. EPOHA	σ_D [m]	MIN _D [m]	MAX _D [m]
VELIKA	419	1.094	0.008	5.806



Slika 16: Odnos broja satelita i odstupanja za veliku trajektoriju

Kod velike trajektorije odstupanja su veća nego kod male, s izraženijim skokovima i padovima. Povećanje odstupanja ne može se jasno povezati s padom broja satelita. Odstupanja su manja nego kod profesionalnog GNSS prijemnika te ih treba uzeti s rezervom.

Općenito, rezultati dobiveni Huawei mobilnim telefonom potvrđuju da GNSS ometanje ima značajan utjecaj na mobilne uređaje, pri čemu se taj utjecaj očituje kroz smanjenje broja opažanih satelita, povećanje PDOP-a i veću nestabilnost pozicioniranja. Usporedbom s profesionalnim GNSS prijemnikom vidljivo je da su mobilni uređaji manje osjetljivi na ometanje. Međutim tehničke karakteristike GNSS-a u mobilnim uređajima poput slabije antene, ograničenog broja frekvencija i nedostatka naprednih korekcijskih mehanizama pobuđuju sumnju u relevantnost i okvir u kojem su dane mjere kvalitete dobivene snimanjem sa Huawei mobilnim uređajem.

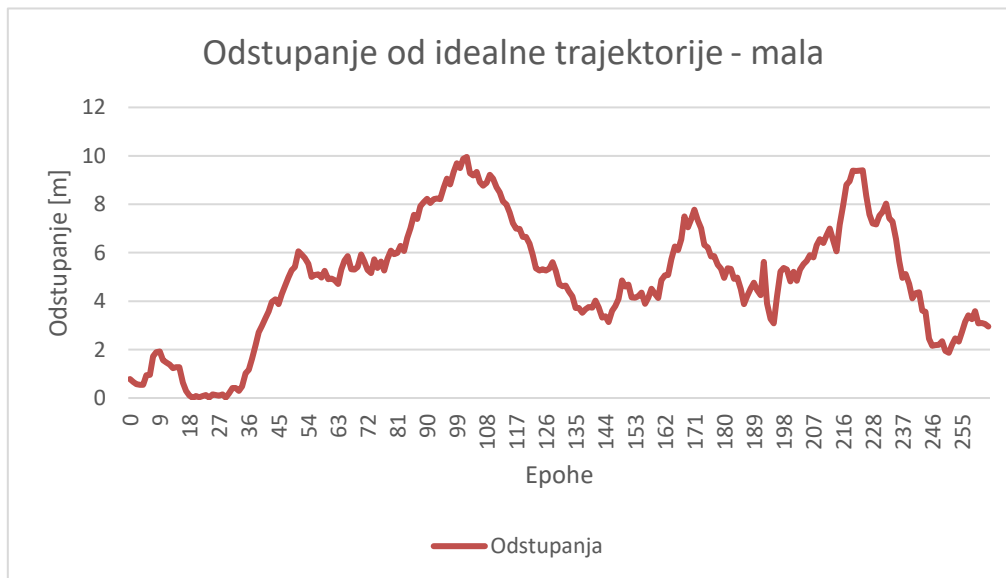
7.3 iPhone

Za razliku od profesionalnog GNSS prijemnika i Huawei mobilnog telefona, iPhone ne pruža dodatne podatke o kvaliteti mjerenja poput broja satelita, DOP-a ili RMS-a, stoga se analiza temelji isključivo na odstupanju snimljene trajektorije od idealne.

Kod male trajektorije (*Tablica 13, Slika 17*) vidljiva su povećana odstupanja u odnosu na idealnu trajektoriju, osobito u dijelovima u kojima je uređaj najbliži ometaču. Maksimalne vrijednosti odstupanja veće su nego kod profesionalnog GNSS prijemnika i Huawei mobilnog telefona. Iako nije moguće izravno povezati odstupanja s brojem opaženih satelita, vidljivo je da dolazi do znatnog pogoršanja stabilnosti trajektorije u prisutnosti ometača.

Tablica 13: Statističke mjere odstupanja male trajektorije

TRAJEKTO	BR. EPOHA	σ_D [m]	MIND [m]	MAXD [m]
MALA	261	2.492	0.004	9.954

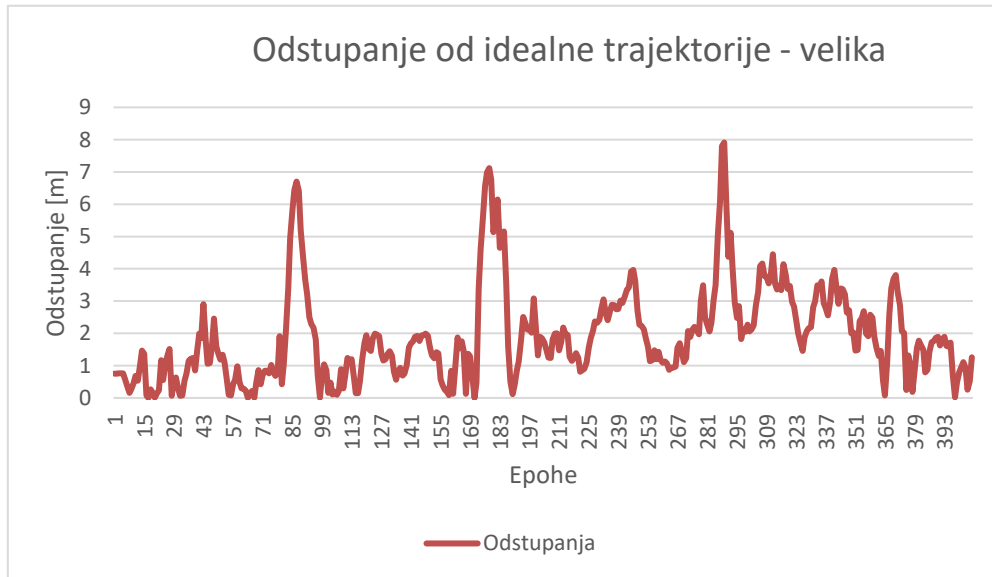


Slika 17: Odnos broja satelita i odstupanja za malu trajektoriju

Kod velike trajektorije odstupanja su u prosjeku manja nego kod male, što se može povezati s većom udaljenošću od ometača i slabijim njegovim utjecajem (*Tablica 14*). Međutim, i ovdje su prisutne izražene oscilacije odstupanja, što ukazuje na nestabilnost pozicioniranja tijekom cijelog snimanja. Promjene odstupanja nisu ravnomjerne (*Slika 18*) te se ne mogu jednoznačno povezati s geometrijom trajektorije ili udaljenošću od ometača, već su vjerojatno posljedica kombinacije ometanja signala i ograničenja GNSS prijemnika ugrađenog u mobilni uređaj.

Tablica 14: Statističke mjere odstupanja velike trajektorije

TRAJEKTO	BR. EPOHA	σ_D [m]	MIND [m]	MAXD [m]
VELIKA	406	1.457	0.001	7.911



Slika 18: Odnos broja satelita i odstupanja za veliku trajektoriju

Dobiveni rezultati pokazuju da iPhone, iako sposoban za relativno precizno GNSS pozicioniranje u normalnim uvjetima, pokazuje osjetljivost na ometanje GNSS signala. Utjecaj ometača očituje se kroz povećana odstupanja i smanjenu stabilnost snimljene trajektorije, pri čemu nedostatak dodatnih pokazatelja kvalitete mjerenja ograničava mogućnost detaljnije analize uzroka tih odstupanja. Unatoč tome, analiza odstupanja jasno potvrđuje negativan utjecaj ometača na GNSS navigaciju iPhone mobilnog uređaja.

8. ZAKLJUČAK

U okviru ovog seminarskog rada provedeno je terensko ispitivanje utjecaja ometača GNSS signala na navigaciju i pozicioniranje pomoću profesionalnog GNSS prijemnika te GNSS prijemnika ugrađenih u mobilne uređaje. Analiza se temeljila na usporedbi mjerenja provedenih s uključenim i isključenim ometačem, pri čemu su promatrani dostupni pokazatelji kvalitete pozicioniranja te odstupanja snimljenih trajektorija od idealne.

Rezultati dobiveni profesionalnim GNSS prijemnikom Topcon HiPer SR jasno su pokazali značajan utjecaj ometača, koji se očitovao kroz smanjenje broja opažanih satelita, povećanje vrijednosti PDOP-a, HRMS-a i VRMS-a te pad omjera signala i šuma (SNR). Utjecaj ometača bio je izraženiji na manjim udaljenostima, dok se s povećanjem udaljenosti njegov učinak postupno smanjivao. Iako nije zabilježena potpuna blackout zona unutar promatranog područja, degradacija kvalitete GNSS mjerenja bila je jasno uočljiva.

Kod mobilnog uređaja Huawei zabilježen je slabiji, ali i dalje prisutan utjecaj ometača. Smanjenje broja opažanih satelita i povećanje PDOP-a bili su manje izraženi nego kod profesionalnog prijemnika, no analiza odstupanja trajektorija pokazala je povećanu nestabilnost i smanjenu točnost pozicioniranja u prisutnosti ometača. Ograničena dostupnost podataka o kvaliteti mjerenja kod mobilnih uređaja otežava detaljniju analizu, što dodatno naglašava razlike između profesionalnih i potrošačkih GNSS sustava.

Za iPhone mobilni uređaj analiza se temeljila isključivo na odstupanjima trajektorije, budući da nisu dostupni dodatni pokazatelji kvalitete GNSS mjerenja. Dobiveni rezultati ukazuju na izraženu osjetljivost iPhone uređaja na ometanje GNSS signala, osobito na manjim udaljenostima od ometača, gdje su zabilježena značajna odstupanja i nestabilnost snimljene trajektorije. Nedostatak podataka o broju satelita i DOP-u ograničava mogućnost potpunog razumijevanja uzroka uočenih odstupanja, no negativan utjecaj ometača je nedvojbena.

Na temelju provedenih ispitivanja može se zaključiti da ometači GNSS signala imaju značajan utjecaj na sve promatrane GNSS prijemnike, pri čemu su mobilni uređaji, unatoč naizgled manjim promjenama pojedinih pokazatelja, osjetljivi na ometanje kroz smanjenu stabilnost i povećana odstupanja pozicioniranja. Dobiveni rezultati potvrđuju potrebu za oprezom pri oslanjanju na GNSS navigaciju u okruženjima u kojima postoji mogućnost namjernog ili nenamjernog ometanja signala te ukazuju na važnost daljnjih istraživanja u području zaštite i robusnosti GNSS sustava.

9. LITERATURA

Bačić, Ž. (2014/2015): Satelitsko pozicioniranje, predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet

Dević, T. (2021): Utjecaj ometača na kinematička GNSS mjerenja / Željko Bačić (mentor); Zvonimir Nevistić (neposredni voditelj), Zagreb, Geodetski fakultet

Ghanbarzade, A., & Soleimani, H. (2025). *GNSS/GPS spoofing and jamming identification using machine learning and deep learning*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.02352>

Hulina, D. (2018) : Ispitivanje utjecaja GNSS ometača / Bačić, Željko ; Šugar, Danijel (mentor); Nevistić, Zvonimir (neposredni voditelj), Zagreb, Geodetski fakultet,

Kuusniemi, H., (2012), Effects of GNSS jammers and potential mitigation approaches, Finnish Geodetic Institute. <https://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2012/un-latvia/ppt/3-14.pdf>

Vidulin, M., Polovina, M. i Grgić, M. (2013). Razvoj i primjena uređaja za ometanje signala GNSS satelita. *Ekscentar*, (16), 76-80. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/103974>

POPIS URL-ova

URL 1: Nmea Analyser: https://swairlearn.bluecover.pt/nmea_analyser

URL 2: GNSS Planning: <https://www.gnssplanning.com/#/settings>

10. POPIS SLIKA

Slika 1 Vrste ometača.....	2
Slika 2 Topcon HiPer SR i kontroler FC-5000	6
Slika 3: Korišteni ometač	8
Slika 4: Zadane trajektorije	9
Slika 5: Podaci učitani u QGIS	12
Slika 6: Udaljenosti snimljenih točaka s aktivnim ometačem od idealne trajektorije	13
Slika 7: Broj vidljivih satelita.....	15
Slika 8: Broj opažanih satelita i dostupnih prema almanahu	17
Slika 9: SNR na L1 nosaču i elevacija.....	18
Slika 10: SNR na L2 nosaču i elevacija	19
Slika 11: Odnos broja satelita i odstupanja za malu trajektoriju.....	20
Slika 12: Odnos broja satelita i odstupanja za malu trajektoriju.....	21
Slika 13: Broj vidljivih satelita.....	22
Slika 14: Broj opažanih satelita i dostupnih prema almanahu	23

Slika 15: Odnos broja satelita i odstupanja za malu trajektoriju.....	24
Slika 16: Odnos broja satelita i odstupanja za veliku trajektoriju.....	25
Slika 17: Odnos broja satelita i odstupanja za malu trajektoriju.....	26
Slika 18: Odnos broja satelita i odstupanja za veliku trajektoriju.....	27

11.POPIS TABLICA

Tablica 1: Specifikacije Topcon HiPer SR	6
Tablica 2: Specifikacije ometača.....	7
Tablica 3: Podaci mjerenja i statističke mjere kvalitete	14
Tablica 4: Broj opažanih satelita i dostupnih prema almanahu	16
Tablica 5: Utjecaj na PDOP, HRMS i VRMS.....	17
Tablica 6: Statističke mjere odstupanja male trajektorije	20
Tablica 7: Statističke mjere odstupanja velike trajektorije	20
Tablica 8: Podaci mjerenja i statističke mjere kvalitete	22
Tablica 9: Broj opažanih satelita i dostupnih prema almanahu	23
Tablica 10: Utjecaj na PDOP, HRMS i VRMS	24
Tablica 11: Statističke mjere odstupanja male trajektorije	24
Tablica 12: Statističke mjere odstupanja velike trajektorije	25
Tablica 13: Statističke mjere odstupanja male trajektorije	26
Tablica 14: Statističke mjere odstupanja velike trajektorije	27

