SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEODETSKI FAKULTET

Tomislav Dević

UTJECAJ OMETAČA NA KINEMATIČKA GNSS MJERENJA

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET

Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. 1_349_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

IZJAVLJUJEM

Ja, **Tomislav Dević**, (JMBAG: 0007179640), rođen dana 9.11.1997. u Novoj Gradiški, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana _____ _____

Potpis studenta / studentice

I. AUTOR	
Ime i prezime:	Tomislav Dević
Datum i mjesto rođenja:	9. studenog 1997., Nova Gradiška, Republika Hrvatska
II. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	Utjecaj ometača na kinematička GNSS mjerenja
Broj stranica:	115
Broj tablica:	17
Broj slika:	160
Broj bibliografskih podataka:	7 + 38 URL-a
Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Mentor:	prof. dr. sc. Željko Bačić
Komentor:	
Voditelj:	Zvonimir Nevistić, mag. ing. geod. et geoinf.
III. OCJENA I OBRANA	
Datum zadavanja teme:	15.02.2021.
Datum obrane rada:	20.09.2021.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	prof. dr. sc. Željko Bačić
	prof. dr. sc. Drago Špoljarić
	doc. dr. sc. Danijel Šugar

Zahvala

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Željku Bačiću i voditelju mog diplomskog rada, asistentu Zvonimiru Nevistiću što su mi pružili svu potrebnu opremu za realizaciju ovoga rada i uvelike pomogli oko praktičnog dijela. Hvala im na iznimnoj predanosti, strpljenju te savjesnom i stručnom vođenju ovoga diplomskog rada.

Zahvaljujem se kolegi Ediju Smolčaku, doc. dr. sc. Lorisu Redovnikoviću i zaposlenicima tvrtke Geocentar radi posudbe potrebne opreme, koji su na taj način proširili ovo istraživanje, a time i saznanja koja ovaj rad sadrži.

Hvala prijateljima što su mi uljepšali studentski život.

I naravno, hvala mojoj obitelji na pomoći i podršci u svakom segmentu mog studiranja. Hvala ujaku i njegovoj obitelj što su uvijek bili blizu.

Utjecaj ometača na kinematička GNSS mjerenja

***Sažetak*:**

Globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) predstavljaju glavni alat za pozicioniranje i navigaciju u današnjem svijetu i na osnovu njih su, pored izvornih usluga, razvijeni brojni komercijalni i nerijetko kritični servisi koji pružaju dodatne usluge povećane točnosti i pouzdanosti. Kako se GNSS zasniva na elektromagnetskim signalima odaslanim sa satelita i registriranih od strane prijamnika isti su izloženi prirodnim i umjetnim smetnjama koje mogu biti slučajne ili namjerne. Namjerno ometanje prijema GNSS signala danas je lako moguće i dostupno. Razlozi namjernog ometanja mogu biti vojne, komercijalne, sigurnosne (teroristički) ili osobne (zaštita privatnosti) prirode. I dok vojske svijeta razvijaju tehnike zaštite od ometanja signala za vlastite potrebe, takav slučaj nije uobičajen kod civilnih korisnika ovakvih sustava što predstavlja problem. U ovom radu, koji predstavlja nastavak i proširenje istraživanja kolegice Dore Huline iz 2018. godine u kojem je ispitan utjecaj ometača na statička GNSS mjerenja, ispitivan je utjecaj ometača na statička i kinematička GNSS mjerenja različitih tipova GNSS prijamnika. Pored teorijskih osnova posvećenih pregledu postojećih vrsta i tehnika ometanja GNSS signala, dan je pregled postojećih uređaja koji služe za ometanje signala i tehnika zaštite od navedenih ometanja. U praktičnom dijelu ispitan je utjecaj dva ometača na različite tipove GNSS prijemnika (tri geodetska, dva GIS, dva navigacijska u mobitelima, jednog u bespilotnoj letjelici i jednog INS/GNSS uređaja) pri čemu su bilo ometači ili GNSS uređaji bili u mirovanju ili pokretu te su podaci obrađeni statički ili kinematički. Na kraju je ispitan utjecaj ometača na bespilotnu letjelicu (UAV) prilikom polijetanja i tijekom leta koristeći kontroler za upravljanje letjelicom. Za obradu i analizu mjerenja korišten je programski paket Trimble Business Center 5.30, a za grafičku interpretaciju rezultata Microsoft Excel. Analiza rezultata pokazala je jasnu razliku djelovanja ometača na različite vrste GNSS prijemnika. Isto tako, postoji razlika između dva korištena ometača, prvenstveno u dometu djelovanja. Mali ometač koji koristi napajanje automobila posjeduje višestruko veći domet utjecaja od složenijeg velikog ometača koji ima integriranu bateriju. Analiza pokazuje i tehnološki razvoj prijemnika koji se očituje u povećanoj otpornosti na ometanje signala. Prijemnici u mobilnim telefonima također ne pokazuju značajan utjecaj na djelovanje ometača ukoliko se isti ne nalazi u njima neposrednoj blizini. Ovo potvrđuje činjenicu da je, zbog načina filtriranja signala, utjecaj ometača na jednostavne i jeftinije prijemnike često slabiji nego na složene precizne prijemnike. Rezultat provedenog istraživanja, sažetog u Zaključku, je spoznaja kako ometači u pojedinim (testiranim) situacijama djeluju na pojedini prijemnik i koje su moguće posljedice korištenja takvih ometača.

Ključne riječi: *GNSS, INS, jamming, ometači, spoofing*

Influence of jammers on kinematic GNSS measurements

***Abstract*:**

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) represent the main tool for positioning and navigation in today's world and based on them, in addition to the original services, numerous commercial and often critical services have been developed that provide additional services of increased accuracy and reliability. As GNSS is based on electromagnetic signals transmitted from satellites and registered by receivers, they are exposed to natural and artificial disturbances that can be intentional or unintentional. Intentional interference of GNSS signal reception is easily possible and available today. Reasons for intentional interference may be of a military, commercial, security (terrorist) or personal (privacy) nature. And while the world's armies are developing signal interference protection techniques for their own needs, such a case is not common for civilian users of this system, which is a problem. In this paper, which is a continuation and extension of the research of a colleague Dora Hulina from 2018., in which the influence of jammers on static GNSS measurements was examined, the influence of jammers on both static and kinematic GNSS measurements of different types of GNSS receivers was examined. In addition to the theoretical foundations dedicated to reviews of existing types and techniques of GNSS signal interference, an overview of existing devices used for signal interference and protection techniques against these interferences is provided. In the practical part, the influence of two jammers on different types of GNSS receivers (three geodetic, two GIS, two navigational in mobile phones, one in an unmanned aerial vehicle and one INS / GNSS device) was examined. The data is processed statically or kinematically. Finally, the effect of the jammer on the unmanned aerial vehicle during take-off and during flight was examined using a controller to control the UAV. Trimble Business Center 5.30 software package was used for processing and analysis of measurements, and Microsoft Excel was used for graphical interpretation of results. The analysis of the results showed a clear difference in the effect of jammers on different types of GNSS receivers. Likewise, there is a difference between the two jammers used, primarily in the range of action. A small jammer that uses car power has a much longer range of impact than a more complex large jammer that has integrated battery. The analysis also shows the technological development of the receivers, which is manifested in increased resistance to signal intereference. Receivers in mobile phones also do not show a significant impact of the jammer if the jammer is not in their immediate vicinity. This confirms the fact that, due to the way signals are filtered, the interference effect on simple and cheaper receivers is often weaker than on complex precise receivers. The result of the research, summarized in the Conclusion, is the knowledge of how jammers in individual (tested) situations affect individual receiver and what are possible consequences of using such jammers.

Keywords: *GNSS, INS, jamming, jammers, spoofing*

Popis korištenih kratica:

BPL	hrv. *Bespilotna letjelica*
C/A	engl. *Coarse Acquisition*
C/N_0	engl. *Carrier-to-noise-density ratio*
CROPOS	engl. *CROatian POsitioning System*
CRPA	engl. *Controlled Reception Pattern Antenna*
DC	engl. *Direct Current*
DOP	engl. *Dilution Of Precision*
DPS	hrv. *Diferencijalni servis pozicioniranja*
EGNOS	engl. *European Geostationary Navigation Overlay Service*
GAGAN	engl. *GPS Aided GEO Augmented Navigation*
GDOP	engl. *Geometric dilution of precision*
GLONASS	rus. *GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*
GNSS	engl. *Global Navigation Satellite System*
GPS	engl. *Global Positioning System*
GPPS	hrv. *Geodetski precizni servis pozicioniranja*
GPRS	engl. *General Packet Radio Service*
HDOP	engl. *Horizontal dilution of precision*
HTRS96/TM	hrv. *Hrvatski terestrički referentni sustav 96/ Transverse Mercator*
IRNSS	engl. *Indian Regional Navigation Satellite System*
IMU	engl. *Inertial measurement unit*
ITU	engl. *International Telecommunications Union*
JLOC	engl. *Jammer Detection and Location system*
KPI	engl. *Key performance indicators*

MSAS	engl. *MTSAT Satellite Augmentation System*
MTSAT	engl. *Multi-functional Transport Satellites*
NAVIC	engl. *NAVigation with Indian Constellation*
P-(code)	engl. *Precise - code*
PDOP	engl. *Position Dilution Of Precision*
PPD	engl. *Privacy Potection Devices*
PRN	engl. *Pseudorandom noise code*
QZSS	engl. *Quasi-Zenith Satellite System*
RINEX	engl. *The Receiver Independent Exchange Format*
RMS	engl. *Root Mean Square*
RTK	engl. *Real Time Kinematic*
SAD	hrv. *Sjedinjene Američke Države*
SMA	engl. *SubMiniature version A*
SNR	engl. *Signal to noise ratio*
TBC	engl. *Trimble Business Center*
UTC	engl. *Coordinated Universal Time*
UAV	engl. *Unmanned aerial vehicle*
VDOP	engl. *Vertical Dilution Of Precision*
VPPS	hrv. *Visokoprecizni servis pozicioniranja*
VRS	engl. *Virtual Reference Station*
WAAS	engl. *Wide Area Augmentation System*

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. GNSS signal 2
3. Ometanje GNSS signala 4
3.1. Vrste ometanja 4
3.2. Ometači 5
3.3. Razlozi i posljedice ometanja 6
4. Zaštita od ometanja GNSS signala 8
4.1. Zaštita od *jamminga* 8
4.2. Zaštita od *spoofinga* 9
5. Ispitivanje utjecaja GNSS ometača 10
5.1. Planiranje opažanja 11
5.2. Korišteni instrumentarij i softveri 12
5.2.1. GNSS Prijemnici 12
5.2.2. GIS uređaji 16
5.2.3. INS/GNSS uređaj 17
5.2.4. Mobilni uređaji 18
5.2.5. Ometači 19
5.2.6. Korišteni softveri 22
5.3. Tehnike opažanja 23
5.4. RINEX format 24
6. Statička opažanja s ometačem u mirovanju 26
6.1. Opažanje preciznih geodetskih uređaja 27
6.2. Opažanje GIS/GNSS uređaja 44
6.3. Opažanje INS/GNSS uređaja 62
6.4. Opažanje mobilnih telefona 67
7. Statičko opažanje sa ometačima u pokretu 75
7.1. Opažanje preciznih geodetskih uređaja 75
7.2. Opažanje GIS/GNSS uređaja 80
7.3. Opažanje INS/GNSS uređaja 82
7.4. Opažanja mobilnog telefona 84
8. Kinematičko opažanje sa ometačem u mirovanju 86
8.1. Opažanje geodetskih uređaja 86

8.2. Opažanje GIS/GNSS uređaja 93
8.3. Opažanje INS/GNSS uređaja 95
8.4. Opažanje mobilnih telefona 97
9. Ispitivanje utjecaja ometača na bespilotnu letjelicu 99
10. Diskusija 103
11. Zaključak 105
Popis literature 107
Popis mrežnih mjesta 108
Popis slika 110
Popis tablica 116

1. UVOD

Iako je primarno razvijen u vojne svrhe, današnja civilna primjena globalnog navigacijskog satelitskog sustava (GNSS-a) daleko je nadmašila onu vojnu. Sam sustav je u potpunosti digitalan i potpuno kompatibilan s modernim načinima komunikacije. Niska cijena i visoka dostupnost minijaturnih GNSS prijamnika omogućuje ugradnju istih u veliki broj uređaja, a posebno u pametne telefone, tablete i prijenosna računala. Ugrađeni prijemnici omogućuju dovoljno precizno pozicioniranje uređaja za uspješan rad sve većeg broja računalnih programa i aplikacija razvijenih u svrhu zabave i kvalitetnijeg života. Pozicioniranje i navigacija pomoću GNSS-a prisutni u gotovo svim oblicima prometa, kako u cestovnom i željezničkom tako i u zračnom i pomorskom. Razvoj bespilotnih i autonomnih vozila svih vrsta također ovisi o razvoju i integraciji GNSS i drugih senzora. Još neke važnosti GNSS-a su praćenje ljudi, životinja te stvari, usklađivanje vremena, modernizacija industrije i poljoprivrede, pomoć službama spašavanja i naravno precizno pozicioniranje u geodetskim i građevinskim poslovima, no moguće primjene GNSS-a u budućnosti su neizmjerne.

Široka primjena GNSS-a potaknula je razvoj tehnika ometanja GNSS signala, a time i razvoj tehnika zaštite od tih ometanja. Vojske svijeta intenzivno razvijaju tehnike zaštite od neprijateljskog ometanja signala, ali kod civilnih primjena GNSS-a ovdje nastaje problem. Iako su mnoge civilne primjene GNSS-a danas osobito korisne, a neke od njih i od kritične važnosti za ljudske živote, uređaji civilne navigacije nisu niti približno otporni na ometanje signala kao što su to uređaji za vojnu navigaciju. Iako u mnogim državama zakonom zabranjeno, namjerno ometanje GNSS signala posljedica je poznate strukture signala i njegove slabe snage. Upravo zbog toga, izrada jednostavnog ometača, a tako i kupnja jednoga u slobodnoj prodaji ne predstavlja veliki problem. Rezultat ometanja signala je onemogućeno ili pogrešno pozicioniranje, što može imati posljedice na gospodarstvo, okoliš pa čak i ljudske živote.

Ovim radom želi se proširiti spoznaja o utjecaju ometača na različite GNSS uređaje pod različitim uvjetima, stoga su ispitani utjecaji ometača u pokretu i mirovanju na statička i kinematička GNSS opažanja, a ispitano je i djelovanje ometača na prijemnike, kada se između njih nalazi prepreka, kao što je u ovom slučaju nasip. Uređaji na koje su ispitani utjecaji ometača su tri precizna GNSS prijemnika, dva GIS/GNSS uređaja, dva pametna telefona koji posjeduju GNSS prijemnik te INS/GNSS uređaj. S obzirom da su bespilotne letjelice danas široko dostupne i korištene u mnogim profesijama te se njihova primjena bazira na opažanju integriranog GNSS prijemnika pomoću kojega lete po zadanim putanjama, bez potrebe za ručnim upravljanjem, ispitan je utjecaj ometača na gubitak GNSS signala tijekom polijetanja i samog leta kod bespilotnih letjelica. Nakon provedbe svih ciljanih ispitivanja i analize rezultata, sažetak svih značajnih spoznaja priložen je u Zaključku ovoga rada.

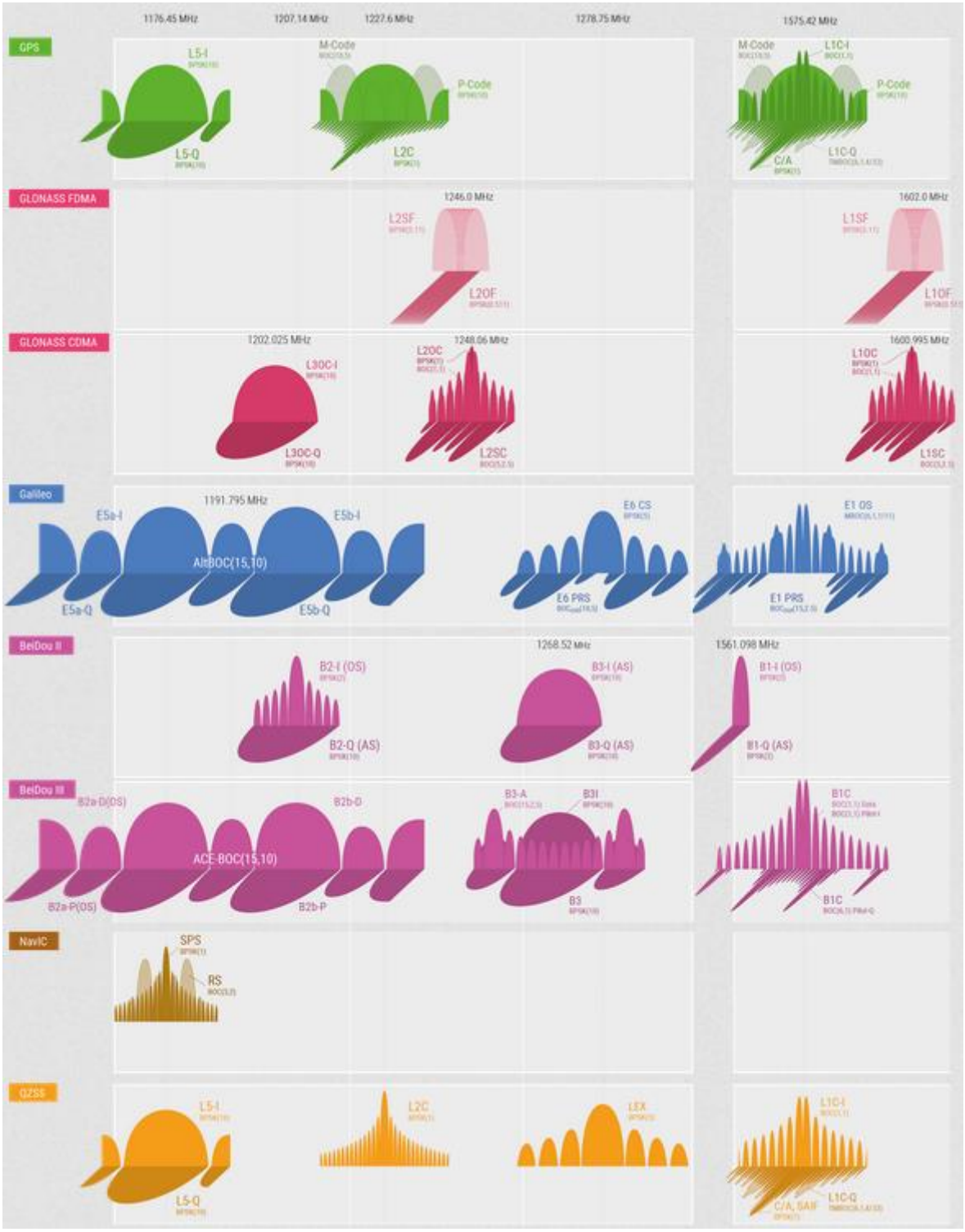
2. GNSS SIGNAL

Najvažnija zadaća operativnog GNSS satelita je odašiljanje frekvencijskih signala bez kojih pozicioniranje ne bi bilo moguće. Komponente GNSS signala su noseći val te na njega modulirani pseudoslučajni šumni kod (engl. *pseudo random noise code* – PRN) i kod podataka (engl. *data code*).

Noseći val GNSS satelita emitira se na zadanoj frekvenciji. Svi GNSS sateliti, neovisno kojoj konstelaciji pripadaju, emitiraju signale u L - frekvencijskom rasponu (engl. band) koji se odnosi na frekvencije između 1 i 2 GHz. To je definirala i Međunarodna unija za telekomunikacije (engl. *International Telecommunications Union*, ITU). Upravo valovi tih frekvencija imaju mogućnost prodiranja oblaka, magle, kiše i vegetacije, no ne i velikih šumskih krošnji i betonskih zgrada (URL 1). Bilo je potrebno mnogo posla i međunarodne suradnje kako bi frekvencije signala satelita različitih konstelacija bile dovoljno bliske da ih sve može primiti jedan prijamnik, a u isto vrijeme dovoljno različite da se signali međusobno ne miješaju (URL 2). Frekvencije nosećeg vala generiraju se cjelobrojnim multipliciranjem fundamentalne frekvencije koju generira oscilator na satelitu. Na primjer, ako kod GPS satelita fundamentalnu frekvenciju, koja iznosi 10,23MHz umanjena za 0,005 Hz u cilju kompenziranja relativističkih efekata, multipliciramo sa 154, 120 ili 115, rezultat su tri noseća vala s oznakama L1, L2 i L5. Slika 1 prikazuje spektar frekvencija GNSS signala za različite konstelacije.

Na noseći val kojega satelit emitira moduliraju se pseudoslučajni šumni kodovi koji omogućuju prijemnicima očitanje sata satelita. Tako usporedbom koda generiranog u satelitu koji dospijeva do prijemnika s kodom generiranim u tom prijemniku, koristeći korelacijske tehnike koda, kao rezultat se dobiva pseudoudaljenost između satelita i prijemnika. Postoji nekoliko vrsta kodova koji se koriste u različitim konstelacijama i signalima. Na primjer, GPS sustav koristi C/A kod (Coarse/Acquisition code) grube točnosti namijenjen za civilnu uporabu, a moduliran je samo na L1 nosaču. Nadalje, precizni P kod (Precise code) za vojne korisnike koji je šifriran W kodom u Y kod, a moduliran na L1 i L2 nosače. Na moderniziranim GPS satelitima druge generacije dodan je i M kod, drugi vojni kod koji pruža bolju sigurnost i otpornost na ometanje signala (URL 3). Osim PRN koda na noseći val se modulira i D kod ili kod podataka, koji nosi navigacijsku poruku, to jest informacije koje satelit šalje prijemniku. To su informacije emitiranih (engl. *broadcast*) efemerida satelita, parametri za korekciju sata satelita, almanah, podatci o zdravlju satelita, ionosferski model za jednofrekventne prijemnike i ostali podatci. Efemeride i parametri sata satelita obično se ažuriraju svaka dva sata dok se almanah ažurira barem jednom u šest dana (URL 4).

Kako bi pozicioniranje bilo uspješno prijemnici obrađuju signale satelita u cilju ponovnog dobivanja pojedinih komponenti tih signala. Iz PRN kodova, kao što je već spomenuto, računa se vrijeme potrebno da signal prijeđe od satelita do prijemnika i na taj način računa se njihova pseudoudaljenost. Mnogo točnije pseudoudaljenosti računaju se iz faznih mjerenja nosećih valova, no problem je što su takva rješenja višeznačna jer je poznata fazna razlika no ne i cjelobrojni podatak faza između satelita i prijemnika (Bačić 2019./20.).



Slika 1. Spektar frekvencija GNSS signala različitih konstelacija (URL 5)

3. OMETANJE GNSS SIGNALA

Svi GNSS sustavi zasnivaju se na primanju radio-frekvencijskih signala emitiranih sa satelita. Ograničena raspoloživa snaga GNSS satelita, ali i udaljenost satelita od Zemlje koja iznosi oko 20 tisuća kilometara uzrok je vrlo slabog signala koji stiže do prijamnika na Zemljinoj površini. Iako su GNSS prijemnici dizajnirani vrlo pametno kako bi uspješno primali i obrađivali signale vrlo slabe snage, problem je u tome što su isti vrlo osjetljivi na radio-frekvencijsko ometanje (URL 6).

3.1. Vrste ometanja

Ometanje GNSS signala može se podijeliti na namjerno i nenamjerno, to jest slučajno ometanje. Nenamjerno radio-frekvencijsko ometanje (eng. radio frequency interference – RFI) može uzrokovati obližnji odašiljač koji zbog nesavršenosti oscilatora ili propusnog filtra odašilje frekvenciju u GNSS spektru (URL 6). Nenamjerno ometanje može biti uzorkovano i djelovanjem ionosfere i ostalim smetnjama uzrokovanim zagušenjem spektra. (Benshoof i Hoey, 2005).

Namjerno ometanje uzrokovano je blokiranjem (engl. *jamming*) ili zavaravanjem (engl. *spoofing*) GNSS signala uz pomoć ometača. Blokator signala, to jest *jammer*, odašilje signale u GNSS frekvencijskom spektru koji nadvladaju izuzetno slabe GNSS signale tako da ih prijemnik ne može pratiti niti prikupljati. Zavaravanje ili *spoofing* je emitiranje lažnih GNSS signala s namjerom da ih prijemnik pogrešno protumači kao istinite signale. Tako GNSS prijemnik prati lažni signal s ciljem da pruži ili barem inducira pogrešno rješenje pozicioniranja, brzine i vremena. Za razliku od prethodno spomenutog blokiranja signala, zavaravajući signal je skriven jer mu je snaga ispod razine šuma te se na taj način uklopi s ostalim GNSS signalima umjesto da ih blokira. Zavaravanje povjerljivih signala zaštićenih kriptografskom zaštitom, poput onih vojnih, na ovaj način gotovo je nemoguće, no niti ovi signali nisu zaštićeni od *meaconinga*. *Meaconing* (masking beacon) znači presretanje i snimanje, te ponovno emitiranje GNSS signala koji su obično veće snage od izvornih. Ukoliko prijemnik prati takve signale neće dati točne podatke pozicioniranja (Rügamer i Kowalewski, 2015). Slika 2 prikazuje ilustrirani primjer rada jednog uređaja za blokiranje i jednog uređaja za zavaravanje GNSS signala.

Slika 2. Jamming (lijevo) i spoofing (desno) GNSS signala (URL 7)

3.2. Ometači

GNSS ometači su uređaji koji odašilju radio-frekvencijske signale u GNSS frekvencijskom spektru te na taj način djelomično ili u potpunosti onemogućavaju pozicioniranje. Zbog relativno jeftine i jednostavne izrade, kao i javno dostupnih nacrta, blokatori (*jammeri*) GNSS signala najdostupnija su vrsta ometača na tržištu. Snaga signala kojeg odašilju takvi ometači prilično je niska, no dovoljno snažna da omete autentične GNSS signale i onemogući pozicioniranje na udaljenosti do čak i nekoliko stotina metara od ometača. Ometači visoke snage, obično korišteni u vojne svrhe, imaju mogućnost blokiranja GNSS signala na vrlo velikim područjima. Uređaji za zavaravanje (*spoofing*) tehnički su složeniji i skuplji od *jammera*, a stoga je i broj zabilježenih slučajeva njihovog korištenja manji (Feixue i dr., 2012).

U svom radu, Borio i dr. (2016) dijele ometače na tri skupine s obzirom na njihovo kućište. Prva skupina su ometači napajani putem 12 voltnog punjača u automobilu. Druga skupina su ometači s ugrađenom baterijom koja je povezana vanjskom antenom putem SMA (SubMiniature version A) priključka, dok je posljednja skupina ometača ne-SMA sustav u kojem je baterija povezana s integriranim sustavom antena.

Drugi način klasifikacije ometača zasniva se na signalu kojeg odašilju. Tako najjednostavniji ometači odašilju kontinuirani val (eng. *Continuous Wave*). *Chirp* ometači odašilju signal čija se frekvencija linearno modulira tijekom vremena. Uskopojasni (engl. *Narrow Band*) ometači koriste uski pojas frekvencijskog spektra na kojem odašilju snažniji signal, dok širokopojasni (engl. *Wide Band*) koriste širok pojas frekvencijskog spektra, ali signal je slabije snage i stoga ih je teško raspoznati i klasificirati. Na kraju, postoje još frekvencijsko-modulirani i puls ometači (Fuente i dr., 2019). Ometači korišteni u praktičnom djelu ovoga rada opisani su u poglavlju 5.2.5.

3.3. Razlozi i posljedice ometanja

Za razliku od slučajnog GNSS ometanja, namjerno ometanje signala izazvano je ljudskim djelovanjem. GNSS ometači najčešće se koriste iz dva razloga. Prvi razlog je uskratiti drugim korisnicima korištenje sustava, a drugi razlog je zaštita osobne privatnosti (Gao i dr., 2016). U kriznim situacijama vojska ili vlada ovlašteni su namjerno, tipično na lokalnoj razini, ometati civilne signale. To rade s ciljem da ograniče uslugu pozicioniranja samo na ovlaštene, to jest vojne korisnike kako bi oslabili neprijateljske sposobnosti. Tijekom posljednjih nekoliko godina takozvani uređaji za zaštitu privatnosti (engl. *Privacy Potection Devices*, PPD) postali su vrlo popularni, a isto tako privukli su pozornost javnosti zbog nekoliko incidenata. Iako je u mnogim državama, uključujući Republiku Hrvatsku, bilo kakvo ometanje radio-frekvencijskih signala zakonom zabranjeno, takve ometače moguće je kupiti preko interneta, počevši od 30 eura za jednostavne ometače koji se napajaju preko baterije automobila, do onih vrlo sofisticiranih s ugrađenom baterijom, koji osim GNSS signala ometaju i mobilne i WIFI signale, a čija je cijena do nekoliko stotina eura (Rügamer i Kowalewski, 2015). U svrhu zaštite privatnosti ove uređaje najčešće koriste profesionalni vozači koji ne žele da ih poslodavac prati ili kradljivci automobila kako automobil ne bi bilo moguće locirati. Europska agencija za globalni navigacijski satelitski sustav pokrenula je projekt *Strike3* s ciljem praćenja smetnji u L1 frekvencijskom spektru u 23 države. Tijekom dvije godine zabilježeno je 450 tisuća smetnji od kojih je 73 tisuće imalo značajan utjecaj na rad GNSS-a. Zaključeno je da su za većinu značajnih ometanja, njih čak 66 tisuća, zaslužni ometači GNSS signala (URL 6). Iz razloga što se *spooferi*, u pravilu, ne koriste kao PPD uređaji te su tehnički složeniji od *jammera*, nije začuđujuće da je broj zabilježenih incidenata zavaravanja signala podosta manji od zabilježenog broja incidenata blokiranja GNSS signala (URL 8).

Postoje brojni primjeri događaja ometanja i zavaravanja GNSS signala. Jedan poznati događaj ometanja zabilježen je u zračnoj luci Newark u New Yorku. Vozač dostavne tvrtke UPS koristio je ometač na autocesti u blizini zračne luke što je rezultiralo učestalim obavijestima o nedostupnosti sustava za pomoć pri slijetanju koji radi na osnovi GPS-a. Iako je vozač, koji nije bio svjestan posljedica ometanja, uhićen, u zračnoj luci Newark svakodnevno se prijavi po nekoliko slučajeva ometanja. Nadalje, zbog vrlo snažnog ometanja GNSS signala od strane Sjeverne Koreje, Južna Koreja uzela je u obzir ideju da se vrati na eLoran sustav. Tako je preko 1000 aviona i 250 brodova iskusilo ometanje GNSS signala unutar 16 dana (URL 8).

Poznati primjer zavaravanja to jest *spoofinga* GNSS signala je iz 2011. godine kada je Iranska vojska uhvatila bespilotnu letjelicu koja je pripadala SAD-u uz pomoć *spoofera*. Napad je bio uspješan jer GNSS prijemnik na letjelici nije koristio vojne signale. Još jedan vrlo značajan primjer je demonstracija *spoofera* kojega je 2013. godine izradilo Sveučilište u Austinu, Texas. Jahta vrijedna 80 milijuna američkih dolara koja koristi GPS kontrolirani autopilot, pod utjecajem spomenutog ometača skretala je sa zadanog kursa iako je sustav prikazivao ravnu putanju. U teoriji, ovakav napad može biti upotrijebljen za otmicu teretnih kontejnera, a moguće je zavarati i globalni financijski sustav čije su transakcije označene GPS vremenom, što potencijalno može dovesti do katastrofalnih posljedica na globalnom tržištu (Rügamer i Kowalewski, 2015). Interes za zavaravanje GNSS signala porastao je pojavom

Pokemon Go igre za pametne telefone iz 2016. godine koja koristi proširenu stvarnost na način da povezuje lokaciju korisnika s pojavom predmeta koji se moraju prikupiti u igri. Motivacija za zavaravanje GNSS signala u ovom kontekstu je prevara pametnog telefona koji daje lokaciju igrača na određenim mjestima, a igrač zapravo ne treba ni napustiti svoj dom (URL 8).

Iako različito djeluju na rad GNSS-a, *jammeri* i *spooferi* GNSS signala mogu uzrokovati katastrofalne posljedice, na gospodarstvo, okoliš pa čak i ljudske živote, kao što je navedeno u primjernima. Kako je ljudska ovisnost o GNSS sustavu sve veća, tako su i opasnosti i loše posljedice neispravnog rada ovog sustava povećane.

4. ZAŠTITA OD OMETANJA GNSS SIGNALA

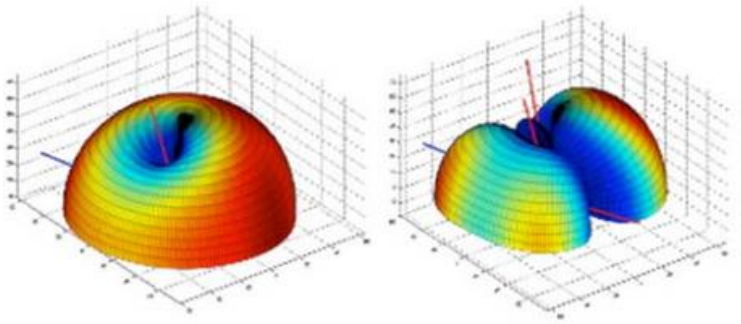
Razvoj GNSS ometača rezultirao je, isto tako, razvojem tehnika i tehnologija zaštite protiv ometanja (engl. *anti-jam)*. Razvijaju se hardveri kao što su napredne antene, te softveri koji obradom podataka signala pomažu smanjiti ili ukloniti utjecaj ometača. Zatim, postoje i razvijaju se mnogi sustavi za otkrivanje ometača te njihovo lociranje i uklanjanje. Primjer takvog sustava je JLOC (*Jamming detection and location*) razvijen od strane tvrtke NAVSYS iz SAD-a. Sustav koristi umrežene GPS prijemnike i druge senzore (koji pružaju podatke o kutu i vremenskoj razlici dolaska podataka) te na taj način detektira i locira prijetnje i obavještava GPS korisnike kad se prijetnja otkrije u određenim područjima (URL 9).

Integracijom GNSS prijemnika s drugim senzorima, to jest, sustavima, kao što je INS, moguće je također detektirati i umanjiti utjecaj ometača. Isto tako, dobro je razmotriti korištenje eLoran sustava, u koliko je dostupan, kao rezervnog sustava za navigaciju u slučaju nedostupnosti GNSS-a (URL 7).

4.1. Zaštita od *jamminga*

Nekoliko načina za smanjenje utjecaja blokatora, to jest *jammera* su razne tehnike filtriranja signala u prijemniku. Filtriranje je posebno djelotvorno za signale izvan GNSS frekvencijskog spektra, no ako frekvencija koju odašilje ometač pripada unutar tog spektra i dalje postoji mogućnost da ometač nadjača filtriranje prijemnika. Takozvani *notch* (usjek, tjesnac) filter najčešće se koristi za suzbijanje utjecaja ometača kontinuiranog vala, a prilagodljivi *notch* filter moguće je koristiti za suzbijanje utjecaja *chirp* ometača ukoliko *chirp* rata ponavljanja nije previsoka. Zanimljivo je da su jeftini prijemnici masovne proizvodnje često otporniji na *chirp* ometače nego profesionalni prijemnici iz razloga što imaju različite *front-end* filtere. Iz tog razloga, profesionalni prijemnici daju preciznija mjerenja, ali su manje otporni na ometanja, što će ovo istraživanje i potvrditi (URL 8).

Još jedan od načina za suzbijanje utjecaja *jammera* je upotreba antena kontroliranog obrasca prijama (engl. *Controlled reception pattern antenas, CRPAs*). Ova tehnologija obrane od ometanja signala potječe još od Hladnog rata. Antene kontroliranog obrasca prijama u pravilu su veće od običnih jer sadrže nekoliko antenskih elemenata i elektronskih sklopova koji služe kao zaštita od ometanja. Ove antene djeluju iskorištavanjem prostorne raznolikosti, to jest, koristeći činjenicu da željeni satelitski signali i neželjeni ometajući signali uglavnom dolaze iz različitih smjerova. Jednostavno objašnjeno, stvara se prostorni filtar koji propušta signale iz određenih smjerova dok ne propušta signale iz drugih smjerova. Da se to postigne ne koristi se jedna antena nego niz antenskih elemenata. Slika 3 prikazuje snagu prijema signala jedne CRPA antene iz svih smjerova gdje plava linija predstavlja signal koji dolazi od satelita, a crvena signal koji dolazi od ometača prema anteni. Na slici lijevo signal ometača dolazi iz jednog smjera, dok na slici desno signal dolazi iz tri smjera. Vidljivo je da antena ne prima signal iz tih smjerova i na taj način izbjegava ometanje GNSS signala (URL 10).



Slika 3. Snaga prijama signala CRPA antene pod utjecajem ometača (URL 10)

Integracija GNSS prijemnika s inercijalnom mjernom jedinicom (engl. *Inertial measurment unit*, IMU) vrlo učinkovito može poslužiti za pozicioniranje ukoliko nestane GNSS signala, a isto tako može poslužiti i ukoliko je GNSS signal blokiran pod utjecajem ometača. Kako je inercijalni navigacijski sustav samoodrživ sustav akcelerometara i žiroskopa, vanjski signali, pa tako i ometači, nemaju nikakav utjecaj na njegov rad te sustav pruža navigacijsko rješenje bez obzira na dostupnost GNSS-a. Neki od tipova integracije GNSS-a i INS-a su labavo, čvrsto i duboko (ultra čvrsto) povezani (Gao i dr., 2016). Tip integracije, to jest arhitektura, razlikuje se po tome kako su korekcije primijenjene na inercijalno navigacijsko rješenje, koje vrste GNSS mjerenja se koriste i kako GNSS oprema podupire INS i integracijski algoritam (Bačić, 2019.).

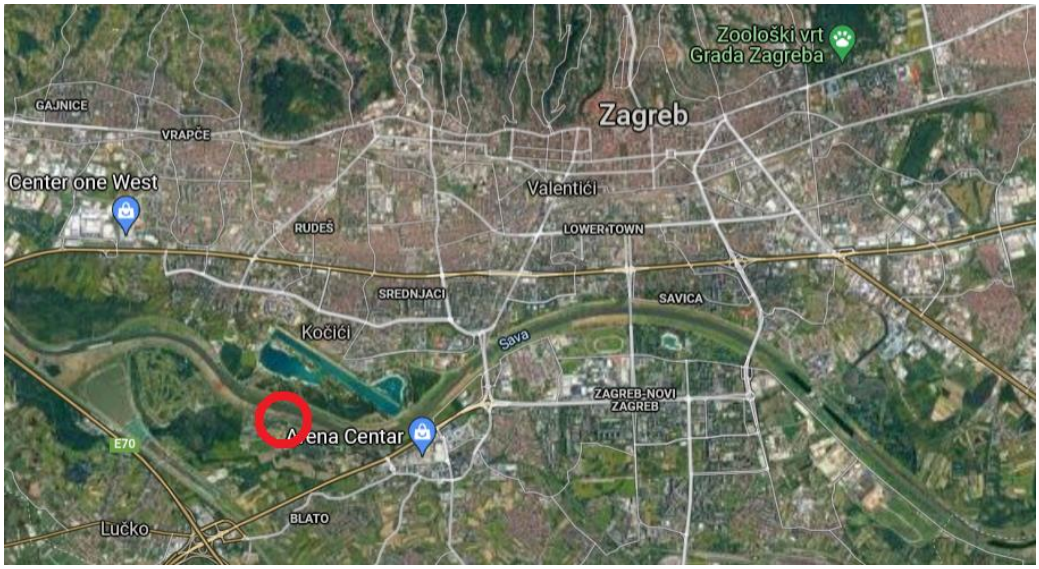
4.2. Zaštita od *spoofinga*

Mjere protiv zavaravanja GNSS signala također mogu biti posebne antene i integracija INS-a i GNSS-a te korištenje eLoran sustava kao rezervnog sustava navigacije. Za otkrivanje jednostavnih napada *spooferom* dovoljno je nadgledanje određenih ključnih indikatora izvedbe (engl. *Key performance indicators,* KPI) kao što su skokovi sata, neočekivani omjeri signala i šuma (eng. *Signal-to-noise ratio*, SNR) ili razlike između kodnih i faznih mjerenja. Nadalje, kriptografske tehnike vrlo su učinkovite jer bez odgovarajućih ključeva i kriptografskih algoritama *spoofer* ne može proizvesti šifrirane signale. Kao primjer, to su vojni kodovi poput GPS P(Y) i M koda ili njima sličan Galileo PRS (*Public reguated service*). Uskoro će Galileo E1 Open Service (otvoreni servis), ponuditi provjeru autentičnosti navigacijskih poruka (engl. *Navigation message authentication*, NMA) što će također dovesti do signala koji se sastoji od nekih dijelova koje *spoofer* ne može generirati (URL 7).

Slične mjere zaštite kao kod *spoofinga* koriste se i za *meaconing*, no iznimka je to što šifrirani signali i navigacijske poruke ne pomažu uvijek kao zaštita od *meaconinga* iz razloga što uređaj za *meaconing*, to jest repetitor, ne treba znati strukturu GNSS signala kojega ponovo emitira. Koliko je prijemnik otporan na ovu, a i druge vrste ometanja ovisi o arhitekturi prijemnika (URL 7).

5. ISPITIVANJE UTJECAJA GNSS OMETAČA

U praktičnom dijelu ovoga rada ispitan je utjecaj dva ometača na nekoliko različitih GNSS prijemnika. Kratak opis i tehničke specifikacije svakog korištenog prijemnika i ometača nalazi se u nastavku poglavlja. Lokacija ispitivanja je Novi Zagreb, jugozapadno od jezera Jarun, između Zagreb Golf Kluba i nedovršene Sveučilišne bolnice (Slika 4). Područje je nenaseljeno i sigurno za korištenje ometača. Sva ispitivanja utjecaja ometača provedena su 8. travnja te 18. i 27. svibnja 2021.



Slika 4. Lokacija provedenih mjerenja (Google Maps)

Ispitivanja su podijeljena na tri dijela što prikazuje Tablica 1, zajedno s podacima o vremenu, metodama opažanja ili korištenim softverima i vrsti izlazne datoteke korištene za obradu podataka. Prvi dio je ispitivanje utjecaja ometača u mirovanju na statička opažanja GNSS prijemnika. Zatim je ispitan utjecaja ometača u pokretu na statičke prijemnike i na kraju, utjecaja ometača u mirovanju na kinematičke prijemnike. U narednim potpoglavljima detaljno je opisano svako ispitivanje, doneseni su zaključci i dani su grafovi koji reprezentativno opisuju utjecaj ometača na pojedini prijemnik. Ovisno o podatcima dobivenim s različitih uređaja, odnosno prijemnika, grafovi prikazuju broj vidljivih satelita, odnos signal-šum, razne DOP vrijednosti ili srednje kvadratne pogreške (eng. *Root mean sqare*, RMS) u ovisnosti o vremenu.

Tablica 1. Pregled provedenih mjerenja

	Statička opažanja Ometač u mirovanju*	Statička opažanja Ometači u pokretu	Kinematička mjerenja Ometač u mirovanju
Trimble R8	8. travanj 2021. Statika (post-process) *.T02* → RINEX	8. travanj 2021. Statika (post-process) *.T02* → RINEX	27. svibanj 2021 RTK (CROPOS) *.htm*, *.csv*
Trimble R12i	8. travanj 2021. Statika (post-process) *.T04* → RINEX	8. travanj 2021. Statika (post-process) .T04 → RINEX	27. svibanj 2021 RTK (CROPOS) *.htm*, *.csv*

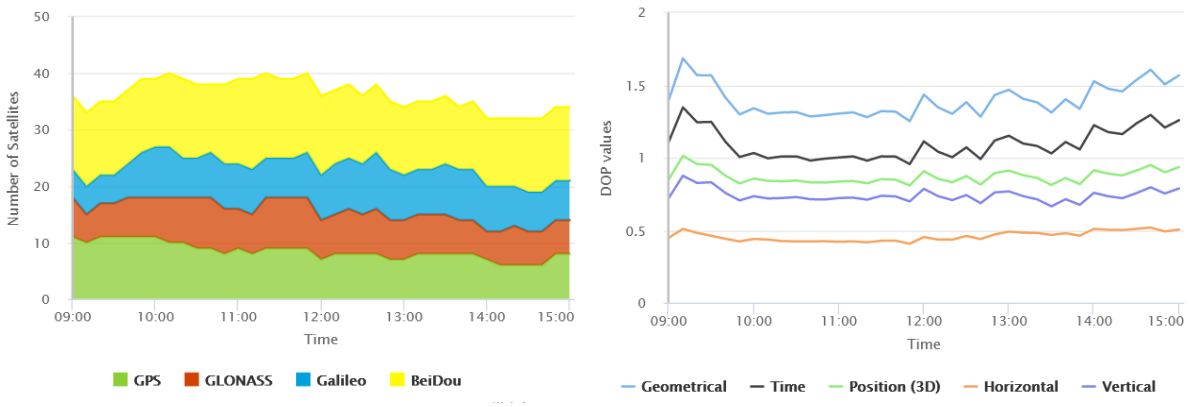
Topcon HiPer SR	8. travanj 2021. Statika (post-process) *.tps* → RINEX	8. travanj 2021. Statika (post-process) *.tps* → RINEX	27. svibanj 2021 RTK (CROPOS) *.txt*
Topcon GMS-2Pro	8. travanj 2021. Statika (apsoultna) *.tps* → RINEX	8. travanj 2021. Statika (apsoultna) *.tps* → RINEX	Bez opažanja
CHCNAV LT700H	8. travanj 2021. *.csv*	8. travanj 2021. *.csv*	8. travanj 2021. *.csv*
INS/GNSS Spatial	8. travanj 2021. Spatial Manager *.anpp* → *.csv*	8. travanj 2021. Spatial Manager *. anpp* → *.csv*	27. svibanj 2021. Spatial Manager *. anpp* → *.csv*
Pametni telefoni	18. svibanj. 2021. Aplikacija Geo++ RINEX	8. travanj 2021. Aplikacija Geo++ RINEX	27. svibanj 2021 Aplikacija Geo++ RINEX

*Napomena: udaljenost ometača i uređaja 10, 20, 50, 100 i 220 metara te iza nasipa (50 metara)

5.1. Planiranje opažanja

Prije ispitivanja provedeno je planiranje GNSS mjerenja na Internet servisu *Trimble GNSS Planing Online* (URL 11). Planiranje se provodi u svrhu određivanja optimalnog vremena ispitivanja što se može zaključiti iz dobivenih grafova te radi usporedbe s dobivenim podacima prilikom izmjere na terenu. Grafovi prikazuju broj vidljivih satelita te vidljivosti pojedinih satelita, njihovu elevaciju i iznos DOP vrijednosti u ovisnosti o vremenu u zadanom vremenskom intervalu. Taj vremenski interval, kao i lokacija i vrijeme opažanja te elevacijska maska i ostale postavke zadaju se unaprijed.

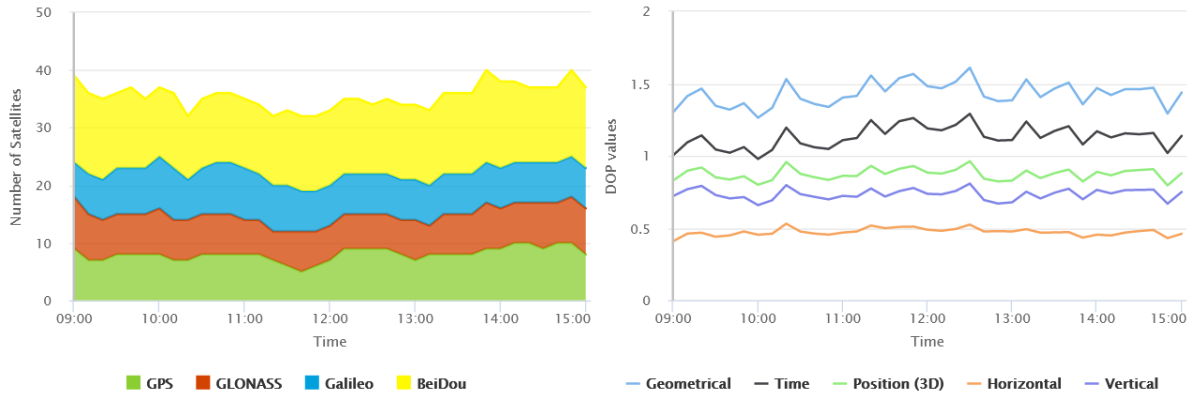
Slika 5 prikazuje graf broja vidljivih satelita i DOP vrijednosti za dan ispitivanja 8. travnja 2021. u vremenskom intervalu od 9:00 do 15:00 sati s elevacijskim maskom od 5°. Sa slike je vidljivo da je vrijednost DOP-a najveća od 9:00 do 10:00 sati i od 14:00 do 15:00.



Slika 5. Broj vidljivih satelita i DOP (8. 4. 2021.)

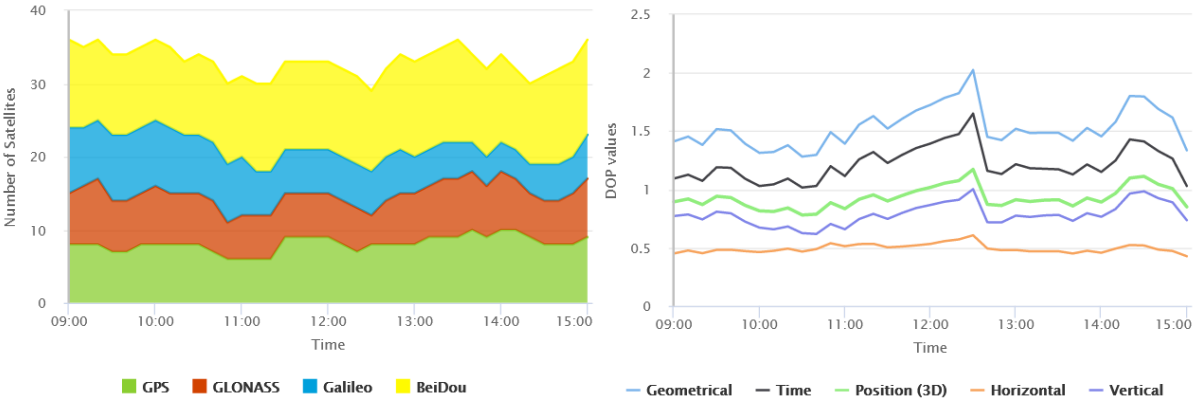
Slika 6 prikazuje graf broja vidljivih satelita i DOP vrijednosti za dan ispitivanja 18. svibnja 2021. u vremenskom intervalu od 9:00 do 15:00 sati s elevacijskim maskom od 5°. Broj

vidljivih satelita najmanji je između 11:00 i 12:00 sati, a DOP vrijednost konstantno se mijenja tijekom vremena.



Slika 6. Broj vidljivih satelita i DOP (18. 5. 2021.)

Slika 7 prikazuje graf broja vidljivih satelita i DOP vrijednosti za dan ispitivanja 27. svibnja 2021. u vremenskom intervalu od 9:00 do 15:00 sati s elevacijskim maskom od 5°. Vrijednost DOP-a iznimno je visoka između 11:00 i 12:30 sati, te između 14:00 i 15:00 sati.



Slika 7. Broj vidljivih satelita i DOP (27. 5. 2021.)

5.2. Korišteni instrumentarij i softveri

Za potrebe praktičnog dijela ovoga rada ispitan je utjecaj ometača na nekoliko različitih uređaja koji posjeduju GNSS prijemnike. Namjene pozicioniranja ovih uređaja sežu od visoko-preciznih opažanja profesionalnih GNSS prijemnika za potrebe geodetskih poslova, do manje preciznih GIS/GNSS uređaja i pametnih telefona za potrebe kartiranja ili navigacije.

5.2.1. GNSS Prijemnici

Tri prijemnika mogu se klasificirati kao precizni geodetski uređaji, a to su Topcon HiPer SR, Trimble R8 i Trimble R12i. Prilikom ispitivanja utjecaja ometača korištena su dva različita Topcon HiPer SR uređaja od kojih je jedan, onaj korišten za statička opažanja, u mogućnosti opažati, osim GPS i GLONASS signala još i Galileo i BeiDou signale satelita. Slika 8 prikazuje

Topcon HiPer SR zajedno sa korištenim kontrolerom FC-5000. Uređaj korišten prilikom kinematičkih mjerenja opaža samo GPS i GLONASS signale satelita. Tablica 2 prikazuje tehničke specifikacije ovoga uređaja. Slika 9 prikazuje Trimble R8 uređaj zajedno s kontrolerom TSC3, a Tablica 3 prikazuje tehničke specifikacije uređaja. Posljednji korišteni precizni GNSS uređaj je Trimble R12i zajedno sa kontrolerom TSC7 (Slika 10), a Tablica 4 prikazuje tehničke specifikacije ovoga uređaja. Kako je ovaj uređaj iz 2021. godine, trenutno je jedan od najnovijih uređaja za geodetske poslove na tržištu. Na službenim stranicama Trimble navodi da ovaj uređaj ima mogućnost opažati sve postojeće i buduće GNSS signale te da koristi naprednu zaštitu protiv ometanja i zavaravanja signala (URL 12).

Slika 8. Topcon HiPer SR (URL 13) i kontroler Topcon FC-5000 (URL 14)

Tablica 2. Tehnička specifikacije uređaja Topcon HiPer SR (URL 15)

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 9. Trimble R8 i kontroler Trimble TSC3 (URL 16)

Tablica 3. Tehničke specifikacije uređaja Trimble R8 (URL 17)

Broj kanala	220
Signali	GPS: L1C/A, L2C, L2E, L5 GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P SBAS: L1C/A, L5
Točnost pozicioniranja [RMS]	RTK: H: 10 mm + 1,0 ppm V: 20 mm + 1,0 ppm Visoko-precizna statika: H: 3,0 mm + 0,1 ppm V: 3,5 mm + 0,4 ppm Statika/brza statika: H: 3,0 mm + 0,5 ppm V: 5,0 mm + 0,5 ppm DGPS: H: 0,25 m + 1ppm V: 0,50 m + 1ppm
Memorija	57 MB interna memorija
Napajanje (baterija)	Do 6 sati
Ažuriranje GNSS mjerenja	Do 20 Hz
Dimenzije	190 x 112 mm
Masa	1,34 kg

Slika 10. Trimble R12i (URL 18) i kontroler Trimble TSC7 (URL 19)

Tablica 4. Tehničke specifikacije uređaja Trimble R12i (URL 20)

Broj kanala	672
Signali	GPS: L1C, L1C/A, L2C, L2E, L5 GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 SBAS (WAAS, EGNOS, GANGAN, MSAS): L1C/A, L5 Galileo: E1, E5A, E5B, E5 AltBOC, E6 BeiDou: B1, B1C, B2, B2A, B2B, B3 QZSS: L1C/A, L1S, L2C, L5, L6 NaviC (IRNSS): L5
Točnost pozicioniranja [RMS]	RTK: H: 8 mm + 0,5 ppm V: 15 mm + 0,5 ppm Visoko-precizna statika: H: 3,0 mm + 0,1 ppm V: 3,5 mm + 0,4 ppm Statika/brza statika: H: 3,0 mm + 0,5 ppm V: 5,0 mm + 0,5 ppm DGPS: H: 0,25 m + 1ppm V: 0,50 m + 1ppm
Trimble inercijalna platforma Kompenzirano mjerenje	RTK + 5 mm + 0,4 mm/° nagiba (do 30°)
Memorija	6 GB interna memorija
Napajanje (baterija)	Do 6,5 sati
Ažuriranje GNSS mjerenja	Do 20 Hz
Dimenzije	119 x 136 mm
Masa	1,12 kg

5.2.2. GIS uređaji

Osim navedenih uređaja za precizno pozicioniranje, utjecaj ometača ispitan je i na dva različita GNSS/GIS uređaja prvenstveno namjenjenih za kartiranje. Prvi uređaj je Topcon GMS-2Pro koji za pozicioniranje koristi GPS i GLONASS signale, a drugi uređaj je CHCNAV LT700H, tablet koji koristi operativni sustav android i ima ugrađenu vanjsku antenu te prima signale svih globalnih navigacijskih satelitskih sustava. Oba uređaja imaju ugrađene kamere i robusne su građe, stoga su u nekoj mjeri otporni na udarce i vodu. Slika 11 prikazuje uređaj Topcon GMS-2Pro, a Tablica 5 tehničke specikfikacije ovoga uređaja. Slika 12 prikazuje uređaj CHCNAV LT700H, a Tablica 6 tehničke specifikacije uređaja.

Slika 11. Topcon GMS-2Pro (URL 21)

Tablica 5. Tehničke specifikacije uređaja Topcon GMS-2Pro (URL 22)

Broj kanala	50
Signali	GPS: L1 GLONASS: L1 WAAS/EGNOS
Memorija	256 MB + SD kartica
Digitalna kamera	2 megapixela
Napajanje (baterija)	Do 7 sati
Ažuriranje GNSS mjerenja	1 Hz

Slika 12. CHCNAV LT700H (URL 23)

Tablica 6. Tehničke specifikacije uređaja CHCNAV LT700H (URL 24)

Broj kanala	184
Signali	GPS: L1C/A, L2C GLONASS: L1OF, L2OF Galileo: E1B/C, E5b BeiDou: B1, B2
Točnost pozicioniranja [HRMS]	RTK: 5cm Autonomno: <1 m
Napajanje (baterija)	12 sati
Digitalna kamera	5 megapixela prednja/ 16 megapixela stražnja
Memorija	64 GB + SD kartica

5.2.3. INS/GNSS uređaj

Utjecaj ometača ispitan je i na INS/GNSS Spatial uređaju tvrtke Advanced Navigation. Kako je uređaj kombinacija GNSS i INS sustava, vrlo je koristan za navigaciju i orijentaciju u bespilotnim letjelicama, robotici, pomorstvu i ostalim oblicima prometa. Razlog integracije je upravo sadržan u komplementarnosti senzora, odnosno u činjenci da INS omogućuje da se situacije kao što je ometanje ili varanje GNSS uređaja prepoznaju ili premoste pomoću opažanja INS senzora. Stoga, u slučaju nestanka ili zavaravanja GNSS signala, uređaj ima mogućnost pozicioniranja koristeći isključivo INS mjerenja, no kroz duži vremenski period bez GNSS korekcija pozicije, točnost pozicioniranja se smanjuje. Stopa registracije GNSS opažanja uređaja iznosi 10 Hz, no u kombinaciji s INS-om, stopa registracije navigacijskih podataka seže do 1000 Hz. Uređaj se napaja i kontrolira putem računala. Slika 13 prikazuje INS/GNSS uređaj Spatial, a Tablica 7 tehničke specifikacije uređaja.

Slika 13. INS/GNSS Spatial (URL 25)

Tablica 7. Tehničke specifikacije uređaja Spatial tvrtke Advanced Navigation (URL 25)

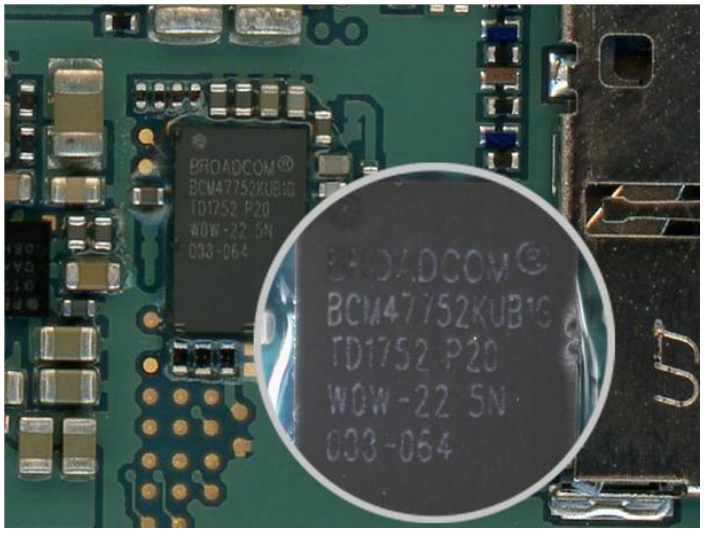
Signali	GPS: L1 GLONASS: L1 BeiDou: L1
Senzori	Akcelerometri, žiroskopi, magnetometar Senzor tlaka GNSS prijemnik
Ažuriranje GNSS mjerenja	10 Hz
Točnost pozicioniranja	Autonomno: H: 2,0 m V: 3,0 m RTK: H: 0,02 m V: 0,03 m PPK: H: 0,01 m V: 0,02 m
Točnost brzine	0,05 m/s

5.2.4. Mobilni uređaji

Primjena svih prethodno navedenih GNSS uređaja primarno je vezana za pozicioniranje i navigaciju, stoga su GNSS prijamnici tih uređaja kvalitetnije izrade i veće preciznosti od jeftinih GNSS prijemnika koji se ugrađuju u pametne telefone i ostale uređaje kojima je pozicioniranje samo dodatna mogućnost. Stoga je utjecaj ometača ispitan i na GNSS prijemike dva pametna telefona, Samsung Galaxy S9+ i Samsung Galaxy A71 (Slika 14). Galaxy S9+ sadrži minijaturni prijemnik Broadcom BTC47752 (Slika 15), koji ima mogućnost prijema samo L1 frekvencijskih signala GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou konstelacija. Prijemnik sadrži dva procesora za obradu dolazećih GNSS signala i integraciju GNSS senzora s ostalim senzorima poput žiroskopa, akcelerometara i magnetometara (URL 26). Inforamcije o

prijemniku u pametnom telefonu Samsung Galaxy A71 na internetu nisu dostupne, no prijemnik također prikuplja signale GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou konstelacija samo u L1 frekvencijskom rasponu.

Slika 14. Samsung Galaxy S9+ (lijevo)(URL 27) i Samsung Galaxy A71 (desno)(URL 28)



Slika 15. Broadcom BCM47752 (GNSS prijemnik iz uređaja Samsung Galaxy S9+)(URL 26)

5.2.5. Ometači

Za potrebe ispitivanja korištena su dva ometača. Oba ometača su *chirp* tipa. Prvi ometač manjih dimenzija (u nastaku mali ometač) može se kupiti preko interneta već za osam američkih dolara. U opisu stoji kako efektivno spriječava GPS satelite od pozicioniranja i praćenja te na taj način štiti osobnu privatnost. Ometač ne spriječava normalnu upotrebu mobilnih telefona i ostalih elektronskih uređaja, malih je dimenzija i visoke snage. Slika 16 prikazuje mali ometač, a Tablica 8 ostale specifikacije uređaja. U tehničkim specifikacijama piše da ovakav ometač blokira frekvencije od 1500 – 1600 MHz što znači da blokira GPS, GLONAS i QZSS u L1 frekvencijskom pojasu, te Galileo E1 i BeiDou B1.

Slika 16. Mali ometač

Tablica 8. Tehničke specifikacije malog ometača (Hulina, 2018)

Snaga	0,3 W
Radna frekvencija	1500 – 1600 MHz
Domet	Oko 5 – 15 m
Napajanje	Auto-upaljač (12 – 24 V)
Dimenzije	10 x 7 x 2 cm
Masa	23 grama
Radna temperatura	-30°C - 60°C
Relativna vlažnost	5% - 95%

Drugi ometač većih je dimenzija (u nastavku veliki ometač), s ugrađenom baterijom i pet vanjskih antena. U tehničkim specifikacijama (Tablica 9) stoji da 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 tri sata. Slika 17 prikazuje veći ometač korišten za praktični dio istraživanja.

Slika 17. Veliki ometač

Tablica 9. Tehničke specifikacije velikog ometača (Hulina, 2018.)

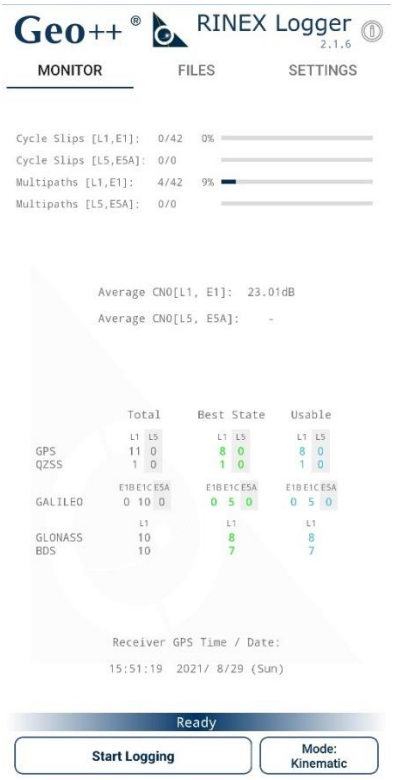
Snaga	Do 4,2 W	
Radna frekvencija	LoJack GPS i GLONASS L2 GPS L3 i L4 GPS i GLONASS L1 GPS L5 WiFi	173 MHz 1220 – 1260 MHz 1370 – 1380 MHz 1570 – 1620 MHz 1170 – 1180 MHz 2400 – 2500 MHz
Antene	5 x 2,5 dbm *High Gain Omni-directional*	
Domet	2 – 30 m	
Dimenzije	177,5 x 76,5 x 36,5 mm	
Napajanje	AC (100 – 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	

5.2.6. Korišteni softveri

Za naknadnu obradu prikupljenih GNSS podataka korišten je programski paket Trimble Business Center (TBC), verzija 5.30. To je CAD (eng. *Computer-aided design*) softver koji služi za obradu, odnosno uređivanje, procesiranje i grafički prikaz podataka visoko-točnih GNSS opažanja i drugih mjerenja vezanih uz geodetske poslove. U softver su učitani neobrađeni GNSS podaci statičkih opažanja, prikupljeni preciznim geodetskim GNSS prijemnicima, a rezultati obrade su koordinate točaka i izvješća koja sadrže korisne podatke .

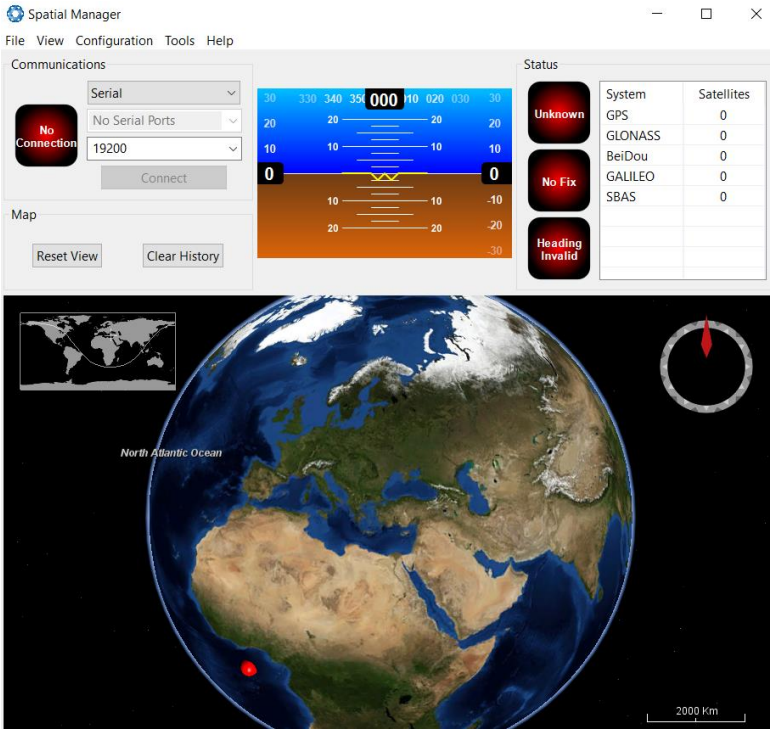
Microsoft Excel je računalni program za tablično računanje. Najčešće se koristi za rješavanje problema matematičkog tipa pomoću tablica i polja koje je moguće povezivati različitim formulama, te izradu jednostavnijih baza podataka i grafičkih prikaza iz podataka (URL 29). Program je korišten za računanje i organiziranje podataka opažanja te stvaranje grafova priloženih u diplomskom radu.

Geo++ je aplikacija za pametne telefone koja služi za pohranjivanje podataka GNSS opažanja. Opažanja se pohranjuju u RINEX datoteku u verziji 3.04, a interval opažanja je jedna sekunda. Aplikacija prikazuje broj vidljivih satelita svake konstelacije, prosječni omjer nosač/šum, GPS vrijeme i datum te broj satelita na koje djeluje *cycle slip* i *multipath*. Sesija, to jest pohranjivanje podataka započinje pritiskom na tipku *Start logging* te prestaje pritiskom *Stop logging*. Za svaku sesiju aplikacija stvara dvije datoteke, jednu s opažanjima svih vidljivih satelita, a drugu s opažanjima samo najbolje vidljivih satelita. Slika 18 prikazuje izgled aplikacije, a poveznica za preuzimanje je URL 30.



Slika 18. Sučelje aplikacije Geo++ RINEX logger

Spatial Manager 5.8 je računalni program korišten za testiranje, konfiguriranje te pohranjivanje podataka INS/GNSS uređaja Spatial. Program se pokreće pomoću Java platforme, koja također mora biti instalirana na računalu, a preuzet je sa internetske stranice Advanced Navigation (URL 31). Za uspješno USB povezivanje uređaja s računalom preuzet je *D2XX Direct port driver* (URL 32). Povezivanjem s uređajem klikom na gumb poveži (engl. *Connect*) uređaj započinje pohranjivati podatke svih dostupnih senzora. Uređaj pohranjuje u intervalu od jedne sekunde sve dok se veza ne prekine. Softver opažanja sprema u računalo kao *.anpp* datoteku koju je u istom softveru moguće konvertirati u čitljive *.csv* datoteke sa statusom i podatcima senzora koje uređaj posjeduje. Slika 19 prikazuje sučelje ovoga programa.



Slika 19. Sučelje računalnog programa Spatial Manager

5.3. Tehnike opažanja

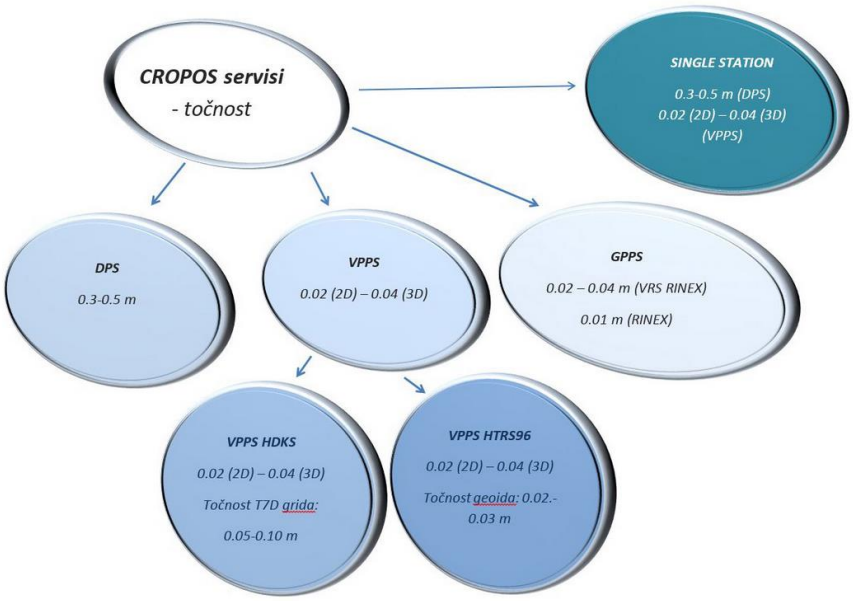
Postoje dva osnovna pristupa GNSS mjerenjima, a to su apsolutni i relativni. Za provedbu apsolutnog mjerenja potreban je samo jedan prijemnik te se metodom prostorne trilateracije, koristeći poznate pseudoudaljenosti između satelita i prijemnika, računa pozicija toga prijemnika. Na ovakav način moguće je dobiti točnost pozicioniranja od nekoliko metara, ovisno o mogućnostima prijemnika i antene.

Mnogo točniji pristup mjerenjima je relativni pristup, za koji je potrebno imati barem dva prijemnika, od kojih se jedan prijemnik nalazi na točki poznatih koordinata i on predstavlja bazu, dok drugi opaža nepoznate točaka i on predstavlja rover. Točnost relativnih mjerenja ovisi o metodi koja je korištena i o međusobnoj udaljenosti baze i rovera, gdje porastom udaljenosti točnost opada. Neke od relativnih metoda su statika, brza statika, kinematika i kinematika u realnom vremenu (engl. *Real Time Kinematic*, RTK). Statičkim metodama opaža se jedna točka kroz neki vremenski interval a pomoću baznog prijemnika računaju se korekcije mjerenja i kao

rezultat dobiva se jednoznačno rješenje, to jest jedan set koordinata, čija točnost može iznositi do nekoliko milimetara. Kod kinematičkih metoda svako mjerenje ima samo jedno rješenje, a razlika klasične kinematike i RTK je rješenje u realnom vremenu koje pruža RTK s točnošću od nekoliko centimetara.

Napretkom tehnologije i razvojem GNSS mreža potreba za baznim prijemnicima je smanjena. U Republici Hrvatskoj tako je uspostavljena Državna mreža referentnih stanica Republike Hrvatske CROPOS. Mreža se sastoji od 33 referentne GNSS stanice na međusobnoj udaljenosti od približno 70 km raspoređenih preko cijele države. Svrha im je prikupljati podatke satelitskih opažanja i računati korekcijske parametre dostupne korisnicima na terenu putem mobilnog interneta. Svi prikupljeni podaci dostupni su korisnicima i prilikom naknadne obrade podataka (engl. *Post-processing*). Za korištenje CROPOS sustava potrebno je imati korisnički račun jer je korištenje sustava dostupno uz novčanu naknadu. Slika 20 prikazuje servise CROPOS sustava i njihove karakteristike.

U praktičnom dijelu ovoga rada CROPOS sustav korišten je prilikom RTK mjerenja kada je ometač u mirovanju, na uređajima Trimble R12i, Trimble R8 i Topcon HiPer SR. CROPOS je korišten i za generiranje virtualnih referentnih stanica (VRS) korištenih prilikom naknadne obrade statičkih mjerenja opažanih preciznim geodetskim GNSS uređajima. Rezultati opažanja ostalih uređaja dobiveni su apsolutnom načinom opažanja.



Slika 20. CROPOS servisi i karakteristike (URL 33)

5.4. RINEX format

RINEX (Receiver Independent Exchange) je format datoteke za razmjenu neobrađenih GNSS opažanja. Format je razvijen 1989. godine, a druga verzija dostupna je od 1993. godine. Razvojem novih konstelacija i uvođenjem novih signala format se nadograđuje. Tako je 2009. godine nastala i treća verzija, a najnovija verzija, RINEX 3.05 nastala u prosincu 2020. (URL 34). U zaglavlju datoteke podatci su verzije i vrste RINEX formata, zatim podatci o datumu,

vremenu, vrsti i visini antene, približnoj poziciji i drugi. Ispod zaglavlja se nalaze podatci pseudoudaljenosti, faza nosećih signala, Doppler mjerenja i omjer signal-šum za svaki opažani satelit ukoliko su podatci prikupljeni. Naknadnom obradom podataka iz RINEX datoteke, softver u kojem se obrađuju podaci koristi korekcije referentnih stanica koje su nepoznate prijemniku u trenutku opažanja i te na taj način računa vrlo precizne koordinate opažanih točaka. U ovom radu korišten je RINEX 3.03 i 3.04 za podatke opažanja uređaja Topcon HiPer SR i GMS-2Pro, Trimble R8, te GNSS opažanja pametnih telefona. Za podatke opažanja Trimble R12i korištena je 2.11 verzija RINEX datoteke, no problem ove verzije je što ne sadrži podatke BeiDou satelita.

Slika 21 prikazuje dio RINEX datoteke koja sadrži opažanja uređaja Topcon HiPer SR. Prvi red prikazuje datum, vrijeme, broj satelita i status epohe, a ispod je popis svih opažanih satelita u epohi (G – GPS, R – GLONASS, E – Galileo i C – BeiDou). U istom retku, pokraj naziva satelita nalaze se podatci opažanja tog satelita, kao što su pseudoudaljenost, cjelobrojna faza, doppler pomak i SNR, za svaki noseći signal. Za prikaz utjecaja ometača na GNSS prijemnike, ukoliko je dostupna RINEX datoteka, korišteni su podatci o broju satelita i prosječnoj snazi, točnije prosječnom SNR-u. SNR vrijednosti za pojedini opažani satelit vidljive su i na slici, u petom stupcu.

```
> 2021 04 08 08 42 10.0000000  0 39
G17  22623464.983   118887110.181 7     -1855.955         47.000    22623464.068   118887110.183 7       45.000
R13  19613810.296   104736647.383 7       501.414         42.000    19613809.791   104736647.390 7       42.000
E21  25099195.590   131897161.010 7     -1793.572         45.000    25099198.360    98494644.424 8    -1339.356
E15  27825747.389   146225288.992 6     -1079.711         38.000    27825752.640   109194235.696 6     -806.278
C05  39277236.634   204526868.954 6       100.730         40.000    39277231.080   158153128.610 7       77.891
G12  21288498.142   111871814.858 7      2407.526         47.000    21288498.036   111871814.858 7       44.000
R04  21478533.186   115016571.726 7      1574.677         45.000    21478533.372   115016571.749 7       45.000
G19  21220303.161   111513448.458 7        35.363         47.000    21220302.250   111513448.460 6       40.000
E04  24538347.465   128949889.128 7      -993.698         45.000    24538349.780    96293752.371 8     -742.047
G15  22126391.337   116274954.573 8     -2941.764         49.000    22126390.744   116274954.573 7       44.000
C19  24016621.512   125060848.672 7      -848.849         44.000
G32  25278593.394   132839909.640 6      3496.244         41.000    25278593.934   132839909.632 4       24.000
C23  25662794.803   133632898.663 7     -2548.628         43.000
R03  20817792.819   111439282.949 7     -2311.196         47.000    20817793.290   111439282.961 7       47.000
E19  26589512.513   139728826.554 6     -3059.101         37.000    26589515.220   104342962.710 6    -2284.393
C28  23396368.368   121831031.502 8      1332.178         48.000
E01  23656260.149   124314485.981 8       288.555         48.000    23656262.060    92832250.112 8       215.480
R22  21190369.155   113115635.353 6       422.651         41.000    21190368.897   113115635.336 6       40.000
C10  39910911.266   207826589.813 6      -733.174         39.000    39910906.080   160704674.873 6     -566.937
C37  22209775.542   115652125.781 8      -874.569         51.000
G25  24623657.113   129398194.527 5      3549.832         32.000    24623655.985   129398194.503 3       20.000
R21  23379791.788   125109986.007 7     -2856.953         47.000    23379791.708   125109986.011 8       48.000
R14  22404957.313   119431022.323 7      2978.868         44.000    22404955.925   119431022.326 7       44.000
G28  24859545.949   130637794.698 5     -2975.670         35.000    24859546.510   130637794.705 3       19.000
C27  24862486.717   129465495.133 7      3366.911         45.000
C08  41263687.874   214870848.248 6      2055.347         36.000    41263681.820   166151749.266 6     1589.324
E13  26533952.915   139436868.779 7      1312.026         42.000    26533956.500   104124981.688 6      979.760
G23  24599540.030   129271447.901 6     -2361.947         36.000    24599538.350   129271447.930 3       18.000
R02  23283664.227   124245441.742 7     -4417.263         42.000    23283663.558   124245441.720 6       41.000
```

Slika 21. Dio RINEX datoteke opažanja

6. STATIČKA OPAŽANJA S OMETAČEM U MIROVANJU

Utjecaj GNSS ometača na statička mjerenja prijemnika Trimble R8, Trimble R12i, Topcon HiPer SR, Topcon GMS-2Pro, INS/GNSS Spatial i CHCNAV LT700H ispitan je 8. travnja 2021., a utjecaj ometača na pametne telefone ispitan je 18. svibnja 2021. Slika 22 prikazuje lokaciju opažanja, zajedno sa položajima ometača i prijemnika te skicom udaljenosti ometača i prijemnika.

Slika 22. Skica položaja prijemnika i ometača prilikom statičkih opažanja

Svi prijemnici, odnosno antena kod INS/GNSS uređaja, postavljeni su na posebno izrađen stativ koji se nalazi na stazi uz cestu (Slika 23), a ispod stativa je zabijen čavlić za slučaj ponavljanja mjerenja.

Slika 23. Stativ sa prijemnicima prilikom statičkih opažanja

Od stativa na kojem se nalaze prijemnici, mjernom vrpcom odmjeravane su udaljenosti od 10, 20, 50, 100 i 220 metara, te udaljenost od 50 metara preko nasipa. Na odmjerenim udaljenostima zabijeni su drveni kolci na kojima se prilikom ispitivanja nalaze ometači. Prema istraživanju kolegice Huline iz 2018. godine, *blackout* zona, odnosno zona u kojoj prijemnici ne prikupljaju niti jedan GNSS signal, iznosi približno 10 metara. Stoga udaljenosti manje od 10 metara u ovom radu nisu ispitane, s iznimkom ispitivanja pametnih telefona. U narednom potpoglavlju opisan je utjecaj nepomičnih ometača na statička mjerenja prijemnika i priloženi su grafički prikazi rezultata.

6.1. Opažanje preciznih geodetskih uređaja

Svaka sesija statičkih opažanja uređaja Trimble R8, Trimble R12i i Topcon HiPer SR, kada su ometači u mirovanju, trajala je 10 minuta. Sveukupno je opažano 12 sesija, po jedna za svaki ometač na udaljenostima prijemnika i ometača od 10, 20, 50, 100 i 220 metara te sesije kada se ometač nalazi iza prepreke, to jest nasipa. Sesije su podijeljene na tri dijela tako da se ometač pali tri minute nakon početka opažanja, uključen je četiri minute, a zatim se bez ometača opaža još tri minute. Kako svaka sesija na taj način ima barem šest minuta opažanja bez ometača, moguće je izračunati koordinate svih opažanih točaka. Uređaji su postavljeni na stativ kako je opisano u prethodnom potpoglavlju te se opažanja istoimenih sesija na svim uređajima provode istovremeno. Interval pohrane statičkih opažanja je 5 sekundi za Trimble R8 i Topcon HiPer SR, a 2 sekunde za Trimble R12i. Važno je i napomenuti da uređaj Trimble R8 opaža samo GPS i GLONASS satelite, dok Trimble R12i i Topcon HiPer SR opažaju GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou signale satelita.

Svaki od korištenih preciznih geodetskih uređaja za statička mjerenja prikupljene neobrađene podatke pruža u različitom formatu. Tako Trimble R8 daje datoteku s ekstenzijom *.T02*, Trimble R12i daje datoteku s ekstenzijom *.T04*, a Topcon HiPer SR neobrađene podatke daje u datoteci s ekstenzijom *.TPS*. Radi daljnje obrade podataka svi neobrađeni podaci konvertirani su u RINEX datoteku opažanja s ekstenzijom *.21O*. Za konverziju datoteka Trimble uređaja u RINEX format korišten je programski paket *Trimble Business Center* (TBC), a za datoteke Topcon uređaja korišten je *TPS to RINEX online converter* (URL 35).

Koordinate opažanih točaka računaju se u naknadnoj obradi koja se provodi u TBC softveru. Ponajprije se s internetskog servisa CROPOS sustava preuzimaju datoteke *.T02* formata, koje sadrže podatke opažanja triju virtualnih referentnih stanica (eng. *Virtual reference station*, VRS), generiranih u blizini područja provedenih mjerenja. Preuzete datoteke sadrže podatke opažanja za datum 8. travnja 2021. od 7 do 12 sati po GPS vremenu, s intervalom opažanja od jedne sekunde. U istom vremenskom intervalu provedena su ispitivanja utjecaja ometača na precizne geodetske prijemnike, stoga je TBC softver, uz pomoć virtualnih referentnih stanica, u mogućnosti izračunati korekcije za provedena opažanja te, kao rezultat, koordinate opažanih točaka s točnošću unutar centimetra. Tablica 10 prikazuje koordinate virtualnih referentnih stanica u HTRS96/TM projekciji.

Tablica 10. Koordinate virtualnih referentnih stanica

Datum i vrijeme opažanja	Naziv točke	E [m]	N [m]	H [m]
8. travnja 2021. 7:00 – 12:00 (GPS)	V251	453617,439	5070465,409	114,442
	V252	454458,389	5070243,085	114,455
	V253	454226,880	5071078,347	114,440

Podaci opažanja svakog korištenog prijemnika obrađeni su u zasebnom projektu TBC softvera. Kreiranjem novog projekta, u postavkama programa, za koordinatni sustav postavlja se HTRS96/TM koji predstavlja službenu kartografsku projekciju Republike Hrvatske. Zatim se datoteke opažanja virtualnih referentnih stanica preuzetih sa CROPOS servisa učitavaju u TBC softver kao točke fiksirane u prostoru. Idući korak je učitavanje RINEX datoteka statičkih GNSS opažanja, a zatim slijedi procesiranje baznih linija. Svaka bazna linija povezuje tri generirane VRS točke sa svim ostalim opažanim točkama. Neovisne bazne linije, koje međusobno povezuju VRS točke potrebno ukloniti iz procesiranja na način da se u softveru odaberu i u svojstvima (engl. *properties*) onemoguće (engl. *disable*).

Procesiranjem baznih linija softver računa korekcijske parametre za svaku opažanu točku koristeći podatke opažanja virtualnih referentnih stanica. Kako svaka virtualna referentna stanica pruža različite korekcije opažanim točkama, tako svaka opažana točka ima tri rješenja koordinata koje se neznatno razlikuju. Ipak, za jednoznačno rješenje koordinata svaka pojedina točka izjednačena je kao mreža u TBC softveru. Mreža se tako sastoji od opažane točke i tri virtualne točke. Tablica 11 prikazuje koordinate opažanja uređaja Trimble R8 nakon izjednačenja. Isto prikazuje Tablica 12 za uređaj Trimble R12i te Tablica 13 za uređaj Topcon HiPer SR. Slika 24 prikazuje grafički prikaz izjednačenih točaka opažanih Trimble uređajima, a Slika 25 je grafički prikaz izjednačenih točaka opažanih uređajem Topcon HiPer SR. Osim točaka koje su opažane prilikom ispitivanja utjecaja ometača, radi usporedbe su u pripadne tablice dodane i koordinate inicijalnih opažanja koja su trajala približno 25 minuta, a u kojima nije korišten ometač. Kao što je vidljivo iz tablica, visinske koordinate bez ometača opažanih točaka, kod uređaja Trimble R8 i Trimble R12i pokazuju značajnu razliku od visinskih koordinata ostalih točaka. Razlog tome je nepoznat, te se u daljnjim istraživanjima nastojati riješiti taj problem.

Tablica 11. Izjednačene koordinate točaka opažane uređajem Trimble R8

Vrijeme opažanja	Udaljenost	E	N	H
9:26 – 9:51	Bez ometača	454080,118	5070818,337	117,278
Mali ometač				
10:42 – 10:52	220 m	454080,107	5070818,331	119,031
11:06 – 11:16	100 m	454080,108	5070818,331	119,041
11:29 – 11:39	50 m	454080,112	5070818,334	119,037
11:51 – 12:01	20 m	454080,111	5070818,337	119,039
12:16 – 12:26	10 m	454080,112	5070818,333	119,037

12:40 – 12:50	50 m (nasip)	454080,109	5070818,330	119,033
Veliki ometač				
10:54 – 11:04	220 m	454080,111	5070818,332	119,040
11:17 – 11:27	100 m	454080,110	5070818,334	119,032
11:40 – 11:00	50 m	454080,113	5070818,335	119,036
12:03 – 12:13	20 m	454080,111	5070818,340	119,038
12:28 – 12:38	10 m	Bez opažanja		
12:51 – 13:01	50 m (nasip)	454080,111	5070818,326	119,033

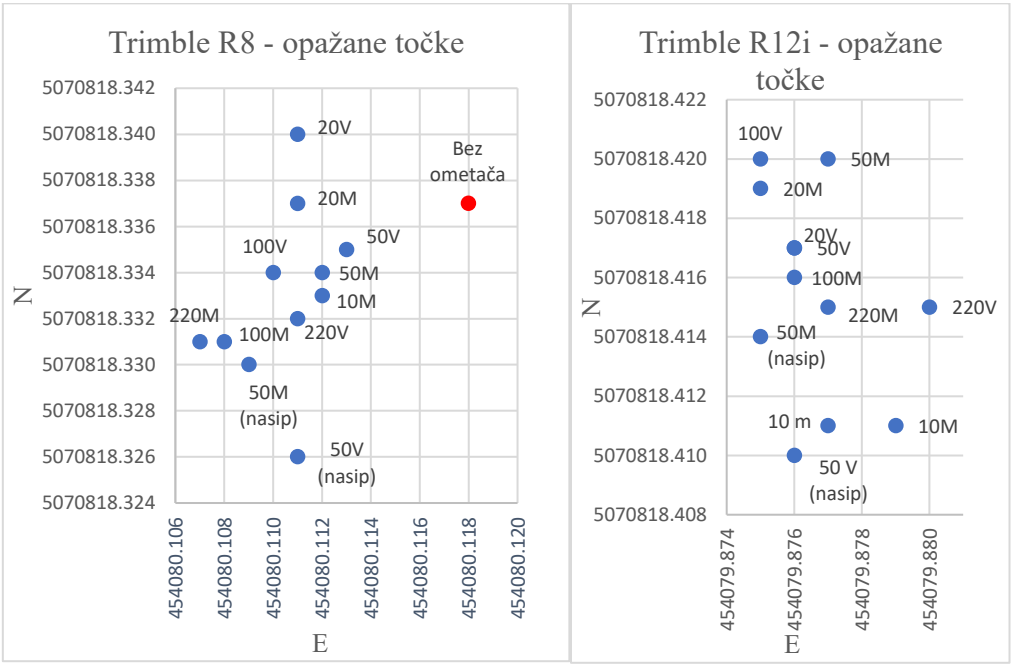
Tablica 12. Izjednčene koordinate točaka dobivene opažanjem uređaja Trimble R12i

Vrijeme opažanja	Udaljenost	E	N	H
9:26 – 9:51	Bez ometača	454079,869	5070818,398	117,203
Mali ometač				
10:42 – 10:52	220 m	454079,877	5070818,415	118,212
11:06 – 11:16	100 m	454079,876	5070818,416	118,209
11:29 – 11:39	50 m	454079,877	5070818,420	118,203
11:51 – 12:01	20 m	454079,875	5070818,419	118,208
12:16 – 12:26	10 m	454079,879	5070818,411	118,213
12:40 – 12:50	50 m (nasip)	454079,875	5070818,414	118,198
Veliki ometač				
10:54 – 11:04	220 m	454079,880	5070818,415	118,215
11:17 – 11:27	100 m	454079,875	5070818,420	118,199
11:40 – 11:00	50 m	454079,876	5070818,417	118,204
12:03 – 12:13	20 m	454079,876	5070818,417	118,212
12:28 – 12:38	10 m	454079,877	5070818,411	118,210
12:51 – 13:01	50 m (nasip)	454079,876	5070818,410	118,197

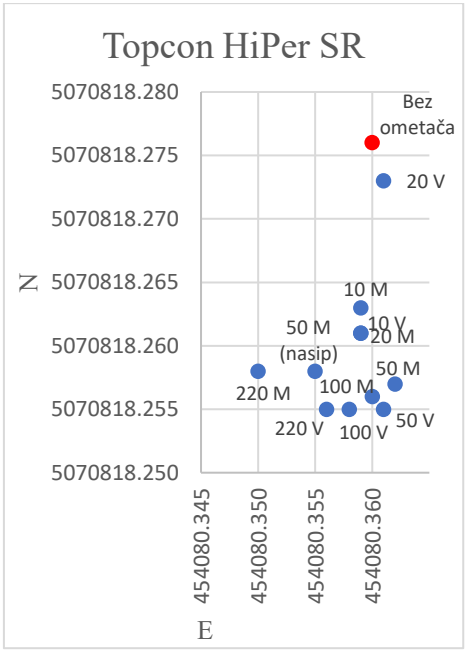
Tablica 13. Izjednčene koordinate točaka dobivene opažanjem uređaja Topcon HiPer SR

Vrijeme opažanja	Udaljenost	E	N	H
9:26 – 9:51	Bez ometača	454080,360	5070818,276	119,106
Mali ometač				
10:42 – 10:52	220 m	454080,350	5070818,258	119,110
11:06 – 11:16	100 m	454080,358	5070818,255	119,117
11:29 – 11:39	50 m	454080,362	5070818,257	119,119
11:51 – 12:01	20 m	454080,359	5070818,261	119,115
12:16 – 12:26	10 m	454080,359	5070818,263	119,115
12:40 – 12:50	50 m (nasip)	454080,355	5070818,258	119,108
Veliki ometač				
10:54 – 11:04	220 m	454080,356	5070818,255	119,119

11:17 – 11:27	100 m	454080,360	5070818,256	119,108
11:40 – 11:00	50 m	454080,361	5070818,255	119,109
12:03 – 12:13	20 m	454080,361	5070818,273	119,120
12:28 – 12:38	10 m	454080,359	5070818,261	119,115
12:51 – 13:01	50 m (nasip)	Nema podataka		

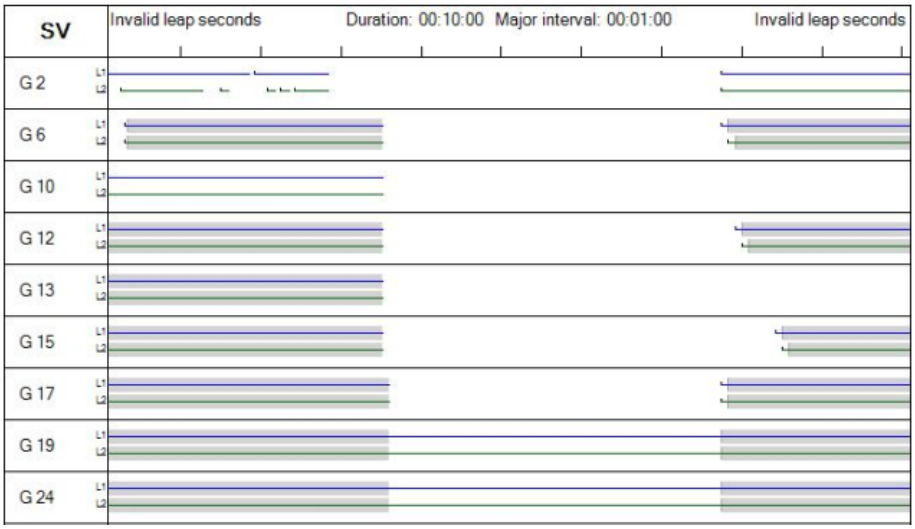


Slika 24. Grafički prikaz izjedančenih točaka opažanih uređajima Trimble R8 (lijevo) i Trimble R12i (desno)



Slika 25. Grafički prikaz izjedančenih točaka opažanih uređajem Topcon HiPer SR

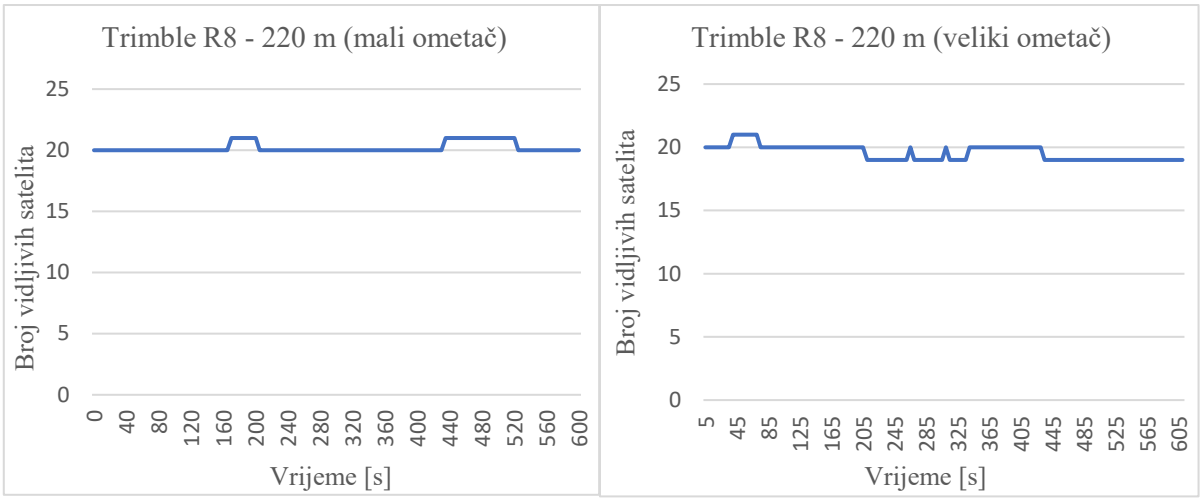
Utjecaj ometača na pojedini GNSS prijemnik može se uspješno interpretirati pomoću grafova koji prikazuju pojedine satelite i njihove signale koje prijemnik opaža tijekom sesije. Ovi grafovi su dostupni u izvješću procesiranja baznih linija u TBC softveru. Kao primjer, Slika 26 predstavlja dio grafa u kojem se jasno vidi utjecaj maloga ometača na Topcon HiPer SR prijemnik, kada su međusobno udaljeni 100 metara.



Slika 26. Dio grafa praćenih signala uređaja Topcon HiPer SR

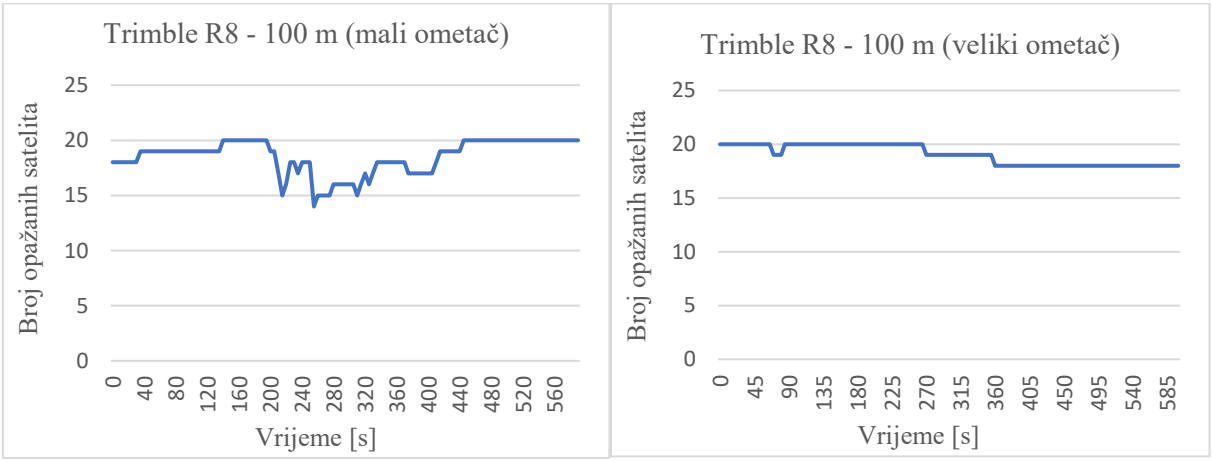
Utjecaj ometača na precizne geodetske instrumente može se interpretirati i ukupnim brojem vidljivih satelita prilikom svakog mjerenja u sesiji. Obrada podataka RINEX datoteka u Microsoft Excel softveru pruža grafički prikaz broja praćenih satelita u odnosu na vrijeme trajanja sesije. U nastavku je, zajedno s grafičkom interpretacijom, protumačen utjecaj oba ometača na svaki pojedini GNSS prijemnik. Važno je napomenuti da je ometač u svim sesijama uključen od treće do sedme minute, odnosno od 180. do 420. sekunde, čiji je utjecaj vidljiv i na većini grafova.

Slika 27 prikazuje broj satelita koje, pod utjecajem malog (lijevo) i velikog (desno) ometača, opaža uređaj Trimble R8 kada je od ometača udaljen 220 metara. Koristeći mali ometač na ovoj udaljenosti prijemnik gubi signal samo G06 GPS satelita čija elevacija iznosi 7°, a isključivanjem ometača prijem signala toga satelita ponovo je uspješan. Veliki ometač uzrokuje kratkotrajne gubitke prijema signala nekoliko satelita čija elevacija iznosi oko 10° ili manje. Kako broj vidljivih satelita konstantno iznosi između 19 i 21, može se zaključiti da oba ometača na ovoj udaljenosti ne pokazuju nikakav značajan utjecaj na Trimble R8 uređaj.



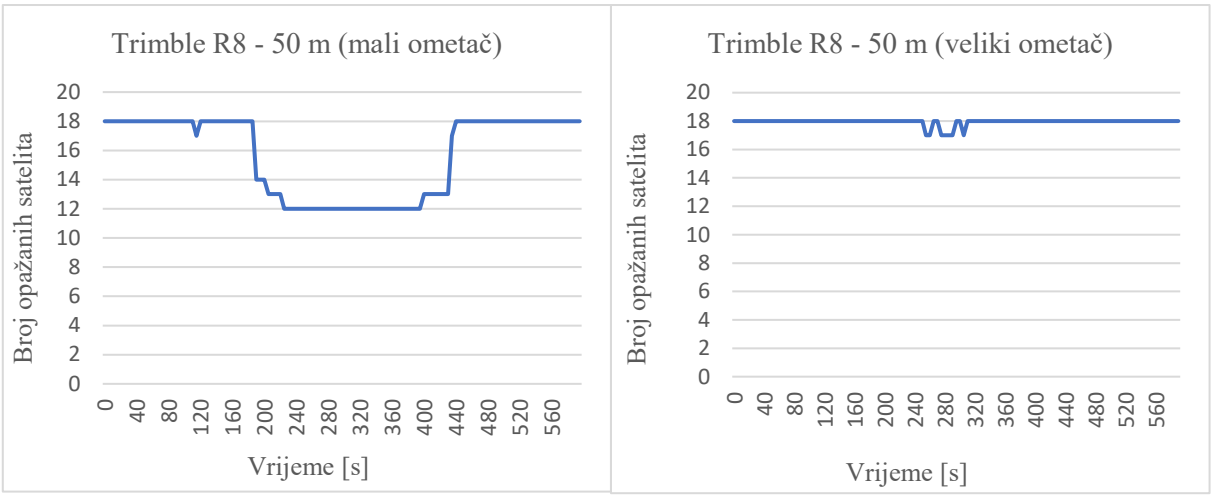
Slika 27. Broj opažanih satelita - Trimble R8 na udaljenosti 220 metara od ometača

Kada su ometači od prijemnika Trimble R8 udaljeni 100 metara, mali ometač utječe na potpuni ili djelomični gubitak prijama signala sa nekoliko satelita čija elevacija ne prelazi 15°. Slika 28 prikazuje broj opažanih satelita tijekom ovih sesija. Od 20 vidljivih satelita prema almanahu, broj opažanih satelita na trenutke pada i na 14, što ne utječe značajno na pozicioniranje. Veliki ometač ne pokazuje nikakav značajan utjecaj na opažanja.



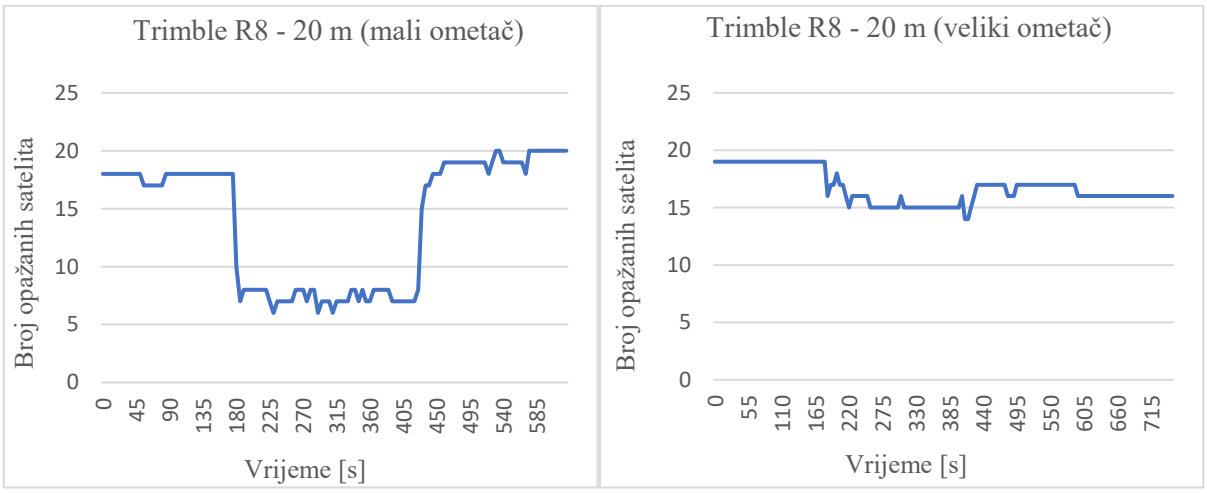
Slika 28. Broj opažanih satelita - Trimble R8 na udaljenosti 100 metara od ometača

Slika 29 prikazuje broj vidljivih satelita koje opaža uređaj Trimble R8, pod utjecajem ometača udaljenih 50 metara od prijemnika. Mali ometač blokira signal šest GPS satelita čija elevacija iznosi manje od 25°, te blokira samo jedan GLONASS satelit elevacije 30° dok su ostali uspješno opažani. Veliki ometač uzrokuje kratkotrajan gubitak signala samo jednog GLONASS satelita, stoga utjecaj toga ometača nije značajan.



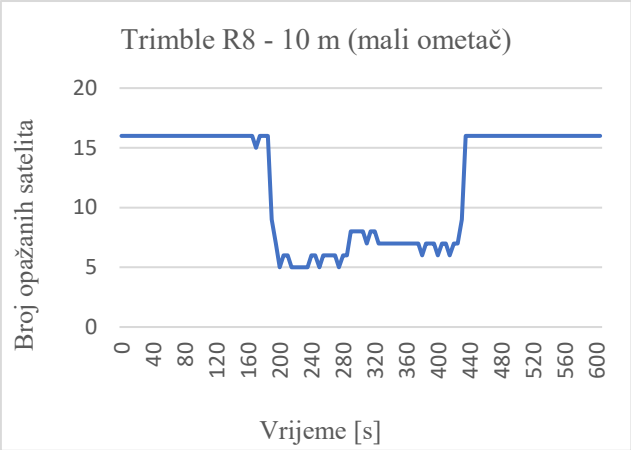
Slika 29. Broj opažanih satelita - Trimble R8 na udaljenosti 50 metara od ometača

Postavljajući mali ometač 20 metara od prijemnika Trimble R8, broj vidljivih satelita s 18, koliko ih je i prema almanahu, pada na 8, a na trenutke i 6 (Slika 30). Iako je ovaj broj satelita dovoljan za pozicioniranje, točnost pozicioniranja je smanjena. Veliki ometač potpuno blokira signale dva satelita, a posebno utječe na još dva satelita, u potpunosti blokirajući samo L2 signale. Stoga, utjecaj velikog ometača nije uvelike značajan za pozicioniranje, iako je očito prisutan.



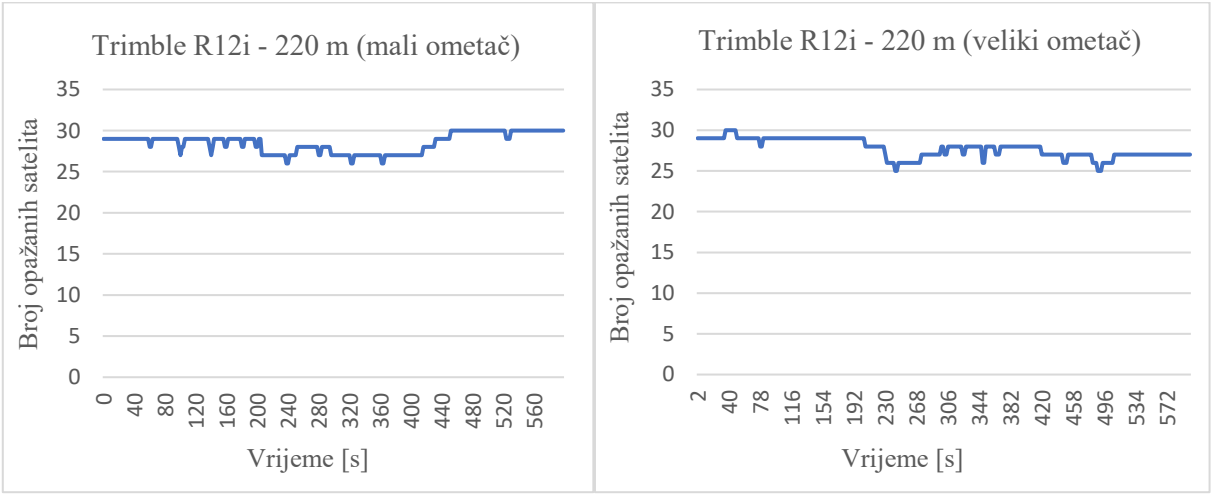
Slika 30. Broj opažanih satelita - Trimble R8 na udaljenosti 20 metara od ometača

Na 10 metara udaljenosti ometača i uređaja Trimble R8, mali ometač uzrokuje pad broja opažanih satelita sa 16, koliko ih je i u almanahu, do najmanje 5 (Slika 31). Svih 5 uspješno opažanih signala pripadaju GLONASS konstelaciji. Veliki ometač uzrokuje prekid *bluetooth* veze prijemnika i kontrolera stoga sesija nije zabilježena.



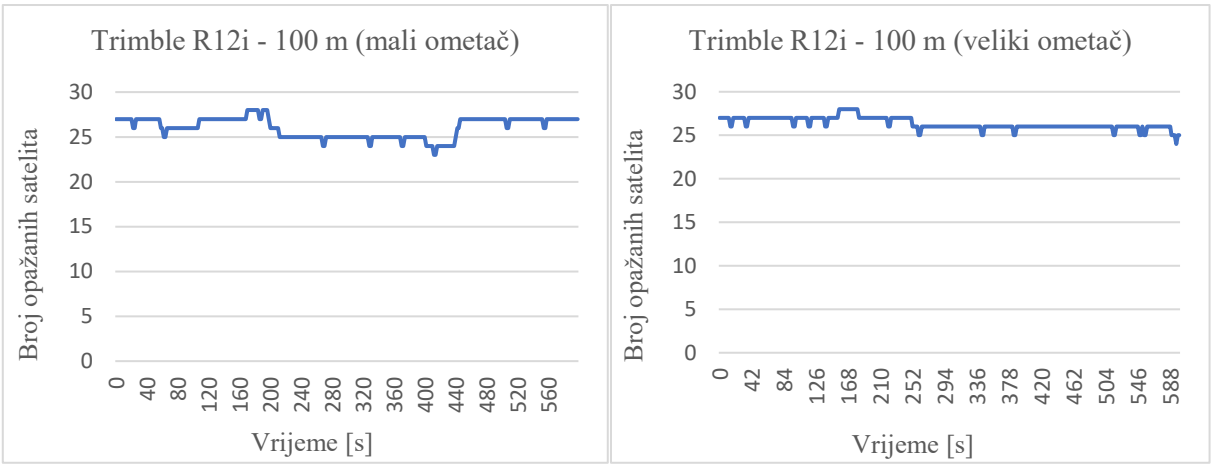
Slika 31. Broj opažanih satelita - Trimble R8 na udaljenosti 10 metara od ometača

Slika 32 prikazuje broj vidljivih satelita koje opaža uređaj Trimble R12i, pod utjecajem 220 metara udaljenih ometača. Utjecaj oba ometača vidljiv je na nekoliko BeiDou satelita niskih elevacija, gdje je B1 noseći val uspješno opažan, dok se signali nosećih valova B2 i B3 djelomično ili u potpunosti gube dok su ometači uključeni. Također je uočljiv utjecaj malog ometača na signale satelita vrlo niskih elevacija od približno 5°. Neovisno o ometačima, uređaj tijekom cijele sesije kratkotrajno gubi signale nekoliko GLONASS satelita iz nepoznatih razloga. Iako je utjecaj velikog ometača na ovaj prijemnik uočljiv, on nije nimalo značajan za pozicioniranje.



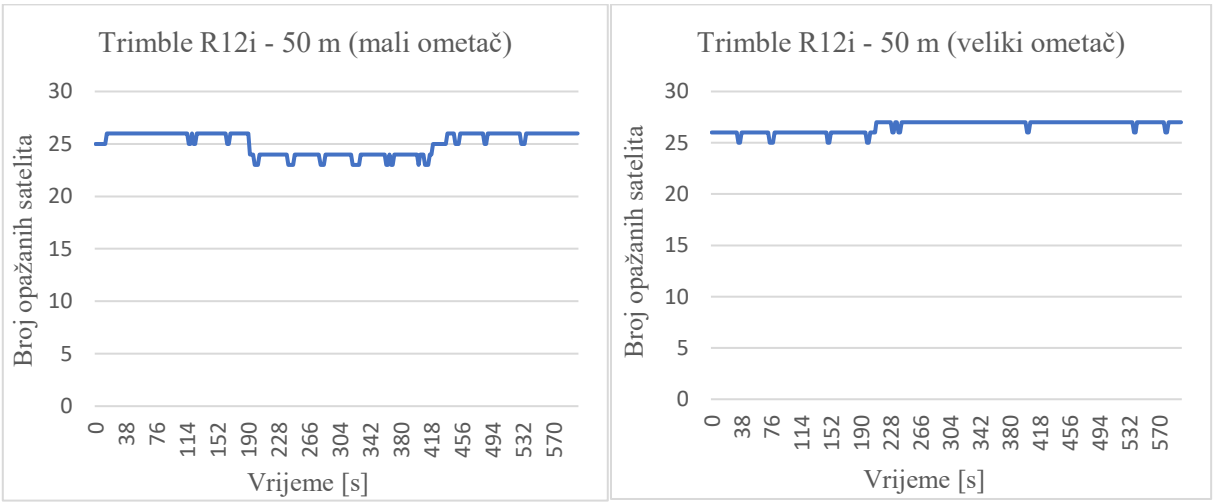
Slika 32. Broj opažanih satelita - Trimble R12i na udaljenosti 220 metara od ometača

Nadalje, Slika 33 prikazuje broj vidljivih satelita koje opaža uređaj Trimble R12i, pod utjecajem 100 metara udaljenih ometača. Mali ometač uzrokuje kratkotrajne gubitke prijema signala malog broja satelita, a ponajviše B3 nosećeg signala emitiranih sa BeiDou satelita. Utjecaj velikog ometača na uređaj je zanemariv.



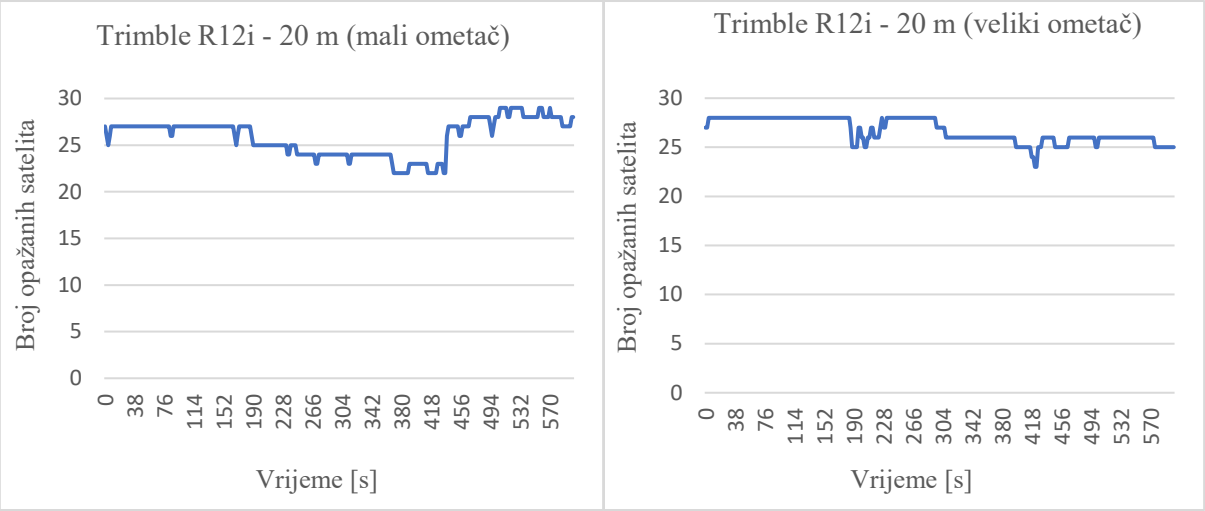
Slika 33. Broj opažanih satelita - Trimble R12i na udaljenosti 100 metara od ometača

Slika 34 prikazuje broj vidljivih satelita koje opaža uređaj Trimble R12i, pod utjecajem ometača udaljenih 50 metara od prijemnika. Mali ometač najviše utječe na signale BeiDou satelita, osobito na B2 i B3 noseće signale. Broj vidljivih satelita neznatno pada, stoga ometač nema značajan utjecaj. Iz grafova je vidljivo da veliki ometač nema skoro nikakav utjecaj na uređaj.



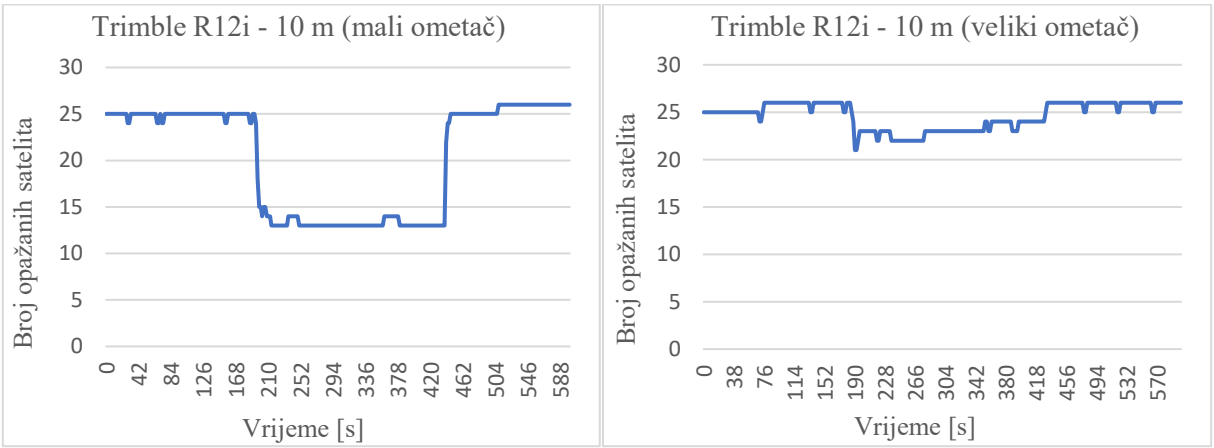
Slika 34. Broj opažanih satelita - Trimble R12i na udaljenosti 50 metara od ometača

Čak i na 20 metara udaljenosti oba ometača od uređaja Trimble R12i, utjecaj ometača nije značajan, što i prikazuje Slika 35, koja predstavlja broj vidljivih satelita u sesiji. Mali ometač uzrokuje samo gubitak B2 i B3 nosećih signala nekoliko BeiDou satelita, dok veliki ometač ponajviše djeluje na L2 signale satelita GPS i GLONASS konstelacija.



Slika 35. Broj opažanih satelita - Trimble R12i na udaljenosti 20 metara od ometača

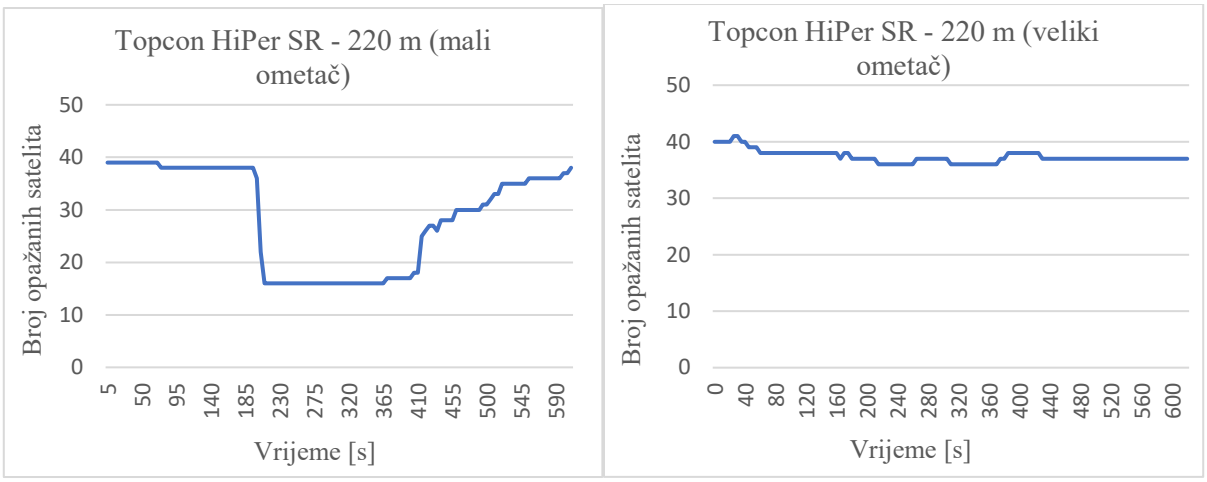
Tek na 10 metara udaljenosti od uređaja Trimble R12i mali ometač pokazuje značajniji utjecaj. Broj opažanih satelita nakon uključenja ometača pada sa 25 na 13, ne uključujući BeiDou satelite (Slika 36), što je i više nego dovoljno za uspješno pozicioniranje. Većina vidljivih satelita imaju relativno visoku elevaciju (40° ili više). Kao i na 20 metara udaljenosti od velikog ometača, veliki ometač na 10 metara udaljenosti od uređaja najviše utječe na gubitak L2, te B2 i B3 signala nosećih valova, no ukupan broj vidljivih satelita neznačajno pada. Veliki ometač uzrokovao je i kratkotrajan gubitak *bluetooth* signala između uređaja i kontrolera no sesija je uspješno zabilježena.



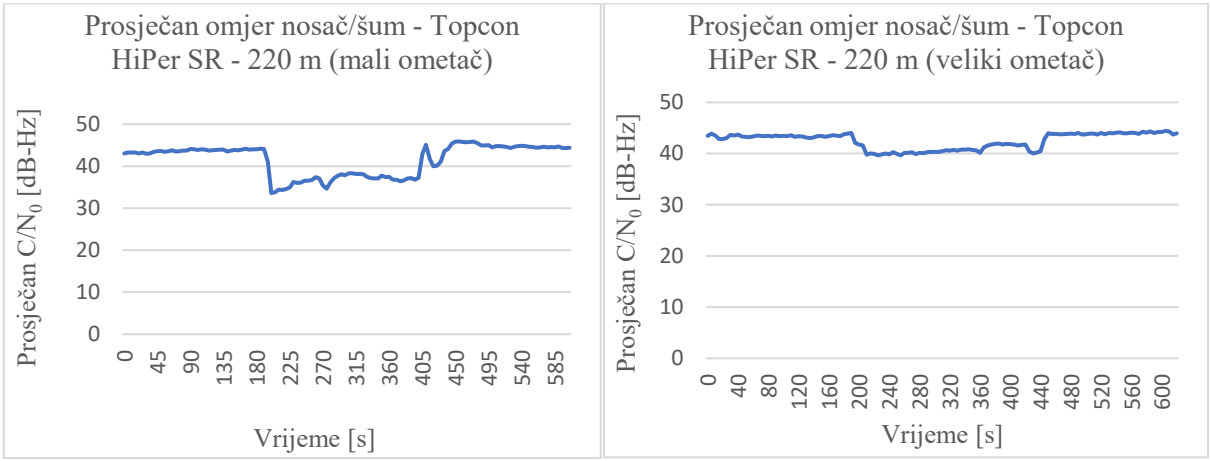
Slika 36. Broj opažanih satelita - Trimble R12i na udaljenosti 10 metara od ometača

Slika 37 prikazuje broj vidljivih satelita, Slika 38 prosječnu snagu signala satelita, koje opaža uređaj Topcon HiPer SR, pod utjecajem 220 metara udaljenih ometača. Iz lijeve slike je vidljivo da je utjecaj malog ometača već i na ovoj udaljenosti vrlo značajan. Broj vidljivih satelita pada sa 38 na 16 u trenu kada se ometač upali. Gubi se signal svih satelita čija je elevacija niža od 35°, no iznimka je GLONASS satelit R13 kojemu se signal gubi već pri elevaciji od 63,5°, dok je R21 satelit elevacije 13° uspješno opažan. Iako smanjen broj vidljivih

satelita ne utječe na mogućnost pozicioniranja, točnost opažanja zasigurno je smanjena. Veliki ometač blokira signale samo dva satelita vrlo niskih elevacija, no njegov utjecaj je zanemariv.

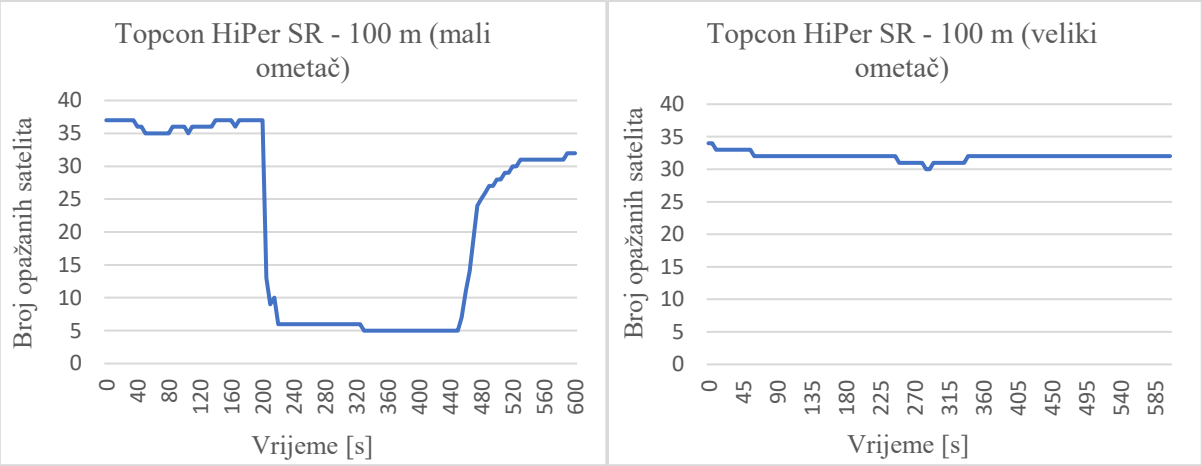


Slika 37. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR na udaljenosti 220 metara od ometača

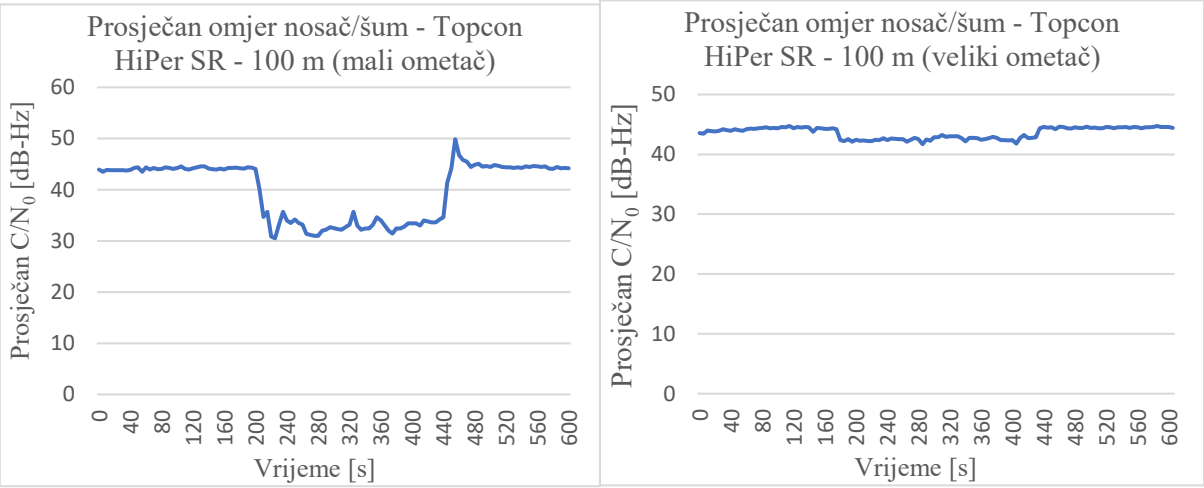


Slika 38. Prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR na udaljenosti 220 metara od ometača

Slika 39 prikazuje broj vidljivih satelita, a Slika 40 prosječnu snagu signala satelita, koje opaža uređaj Topcon HiPer SR, pod utjecajem ometača udaljenih 100 metara od prijemnika. Prilikom uključenja malog ometača broj opažanih satelita pada sa 37 na samo 6, to jest 5. Elevacije svih opažanih satelita iznose 88°, 78°, 61°, 48°, 43° i 30°. Približavanjem malog ometača Topcon HiPer SR prijemniku, uređaj gubi mogućnost opažanja satelita sve viših elevacija. Utjecaj velikog ometača na Topcon prijemnik je zanemariv.

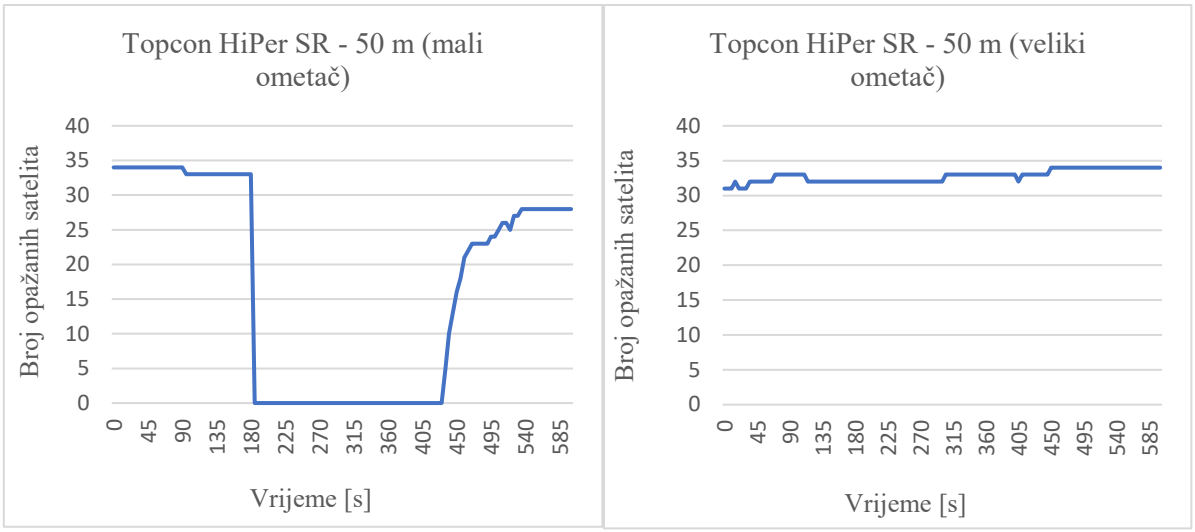


Slika 39. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR na udaljenosti 100 metara od ometača

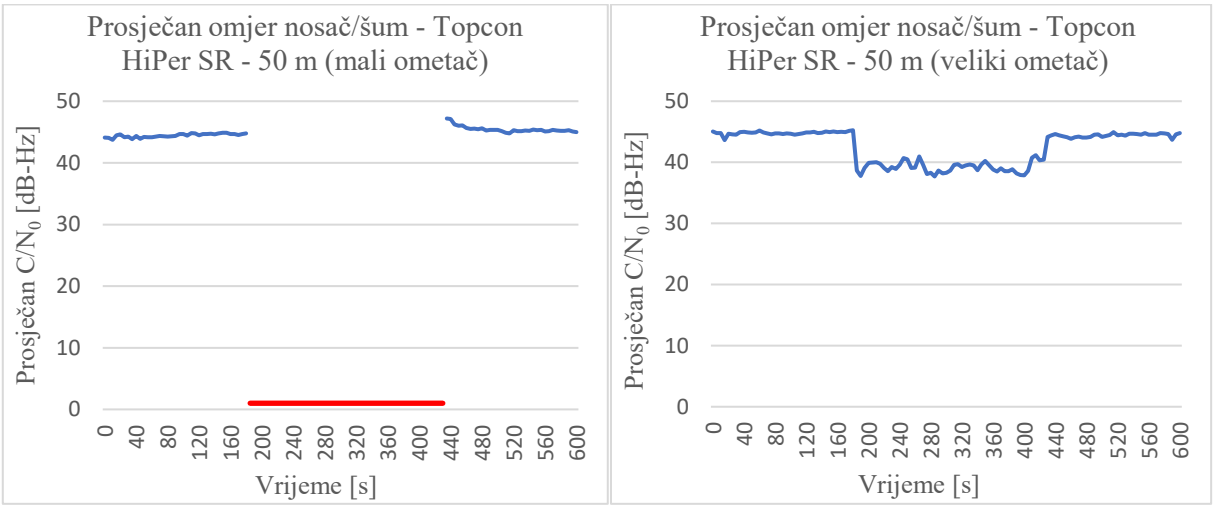


Slika 40. Prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR na udaljenosti 100 metara od ometača

Slika 41 prikazuje broj vidljivih satelita, a Slika 42 prosječnu snagu signala satelita, koje opaža uređaj Topcon HiPer SR, pod utjecajem ometača udaljenih 50 metara od prijemnika. Jasno je vidljivo da, pod utjecajem maloga ometača, uređaj nije u mogućnosti opažati signale sa satelita, dok veliki ometač ne pokazuje nikakav značajan utjecaj na isti uređaj osim neznatnog smanjenja snage primljenih signala.

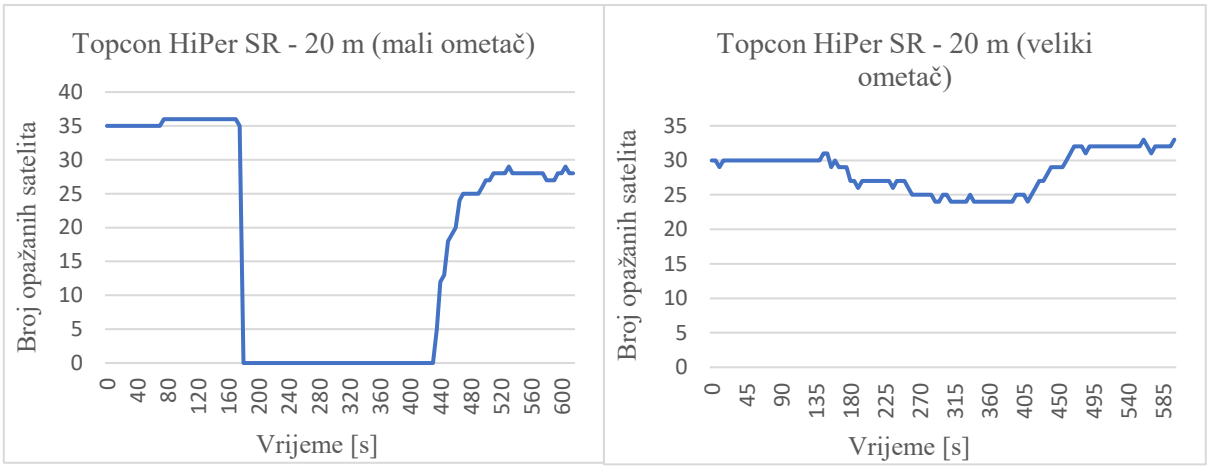


Slika 41. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR na udaljenosti 50 metara od ometača

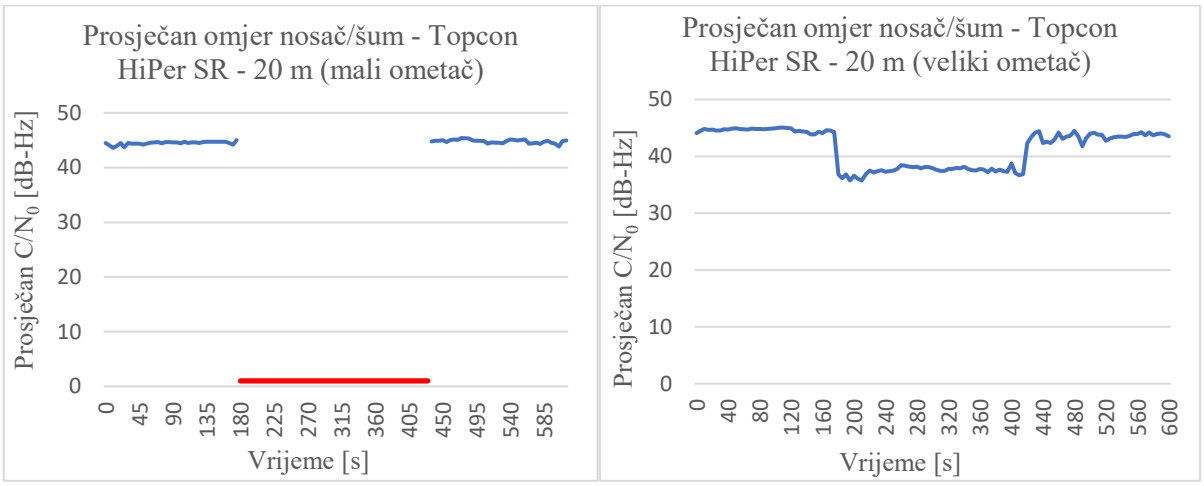


Slika 42. Prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR na udaljenosti 50 metara od ometača

Slika 43 prikazuje broj vidljivih satelita, a Slika 44 prosječnu snagu signala opažanih satelita, koje opaža uređaj Topcon HiPer SR, pod utjecajem ometača udaljenih 20 metara od prijemnika. Kao i na 50 metara udaljenosti od malog ometača, uređaj ne prima niti jedan GNSS signal. Veliki ometač uzrokuje gubitak signala nekoliko satelita niske elevacije, no utjecaj nije značajan.

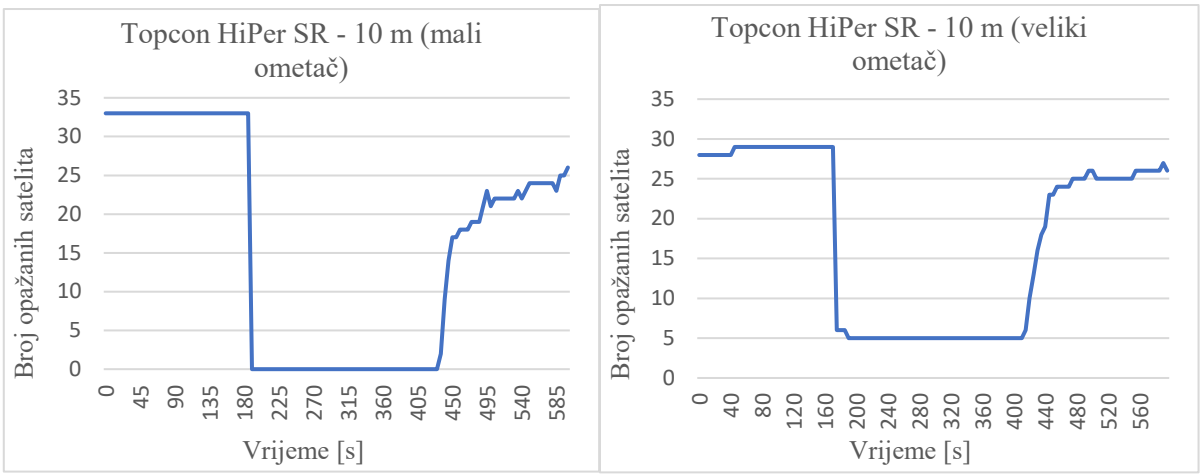


Slika 43. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR na udaljenosti 20 metara od ometača

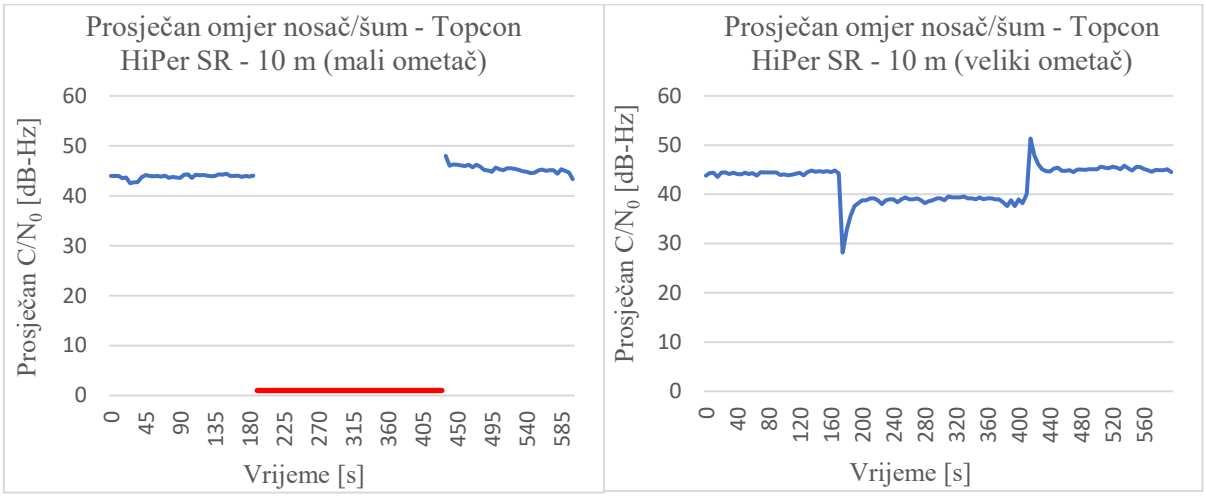


Slika 44. Prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR na udaljenosti 20 metara od ometača

Kao i na većim udaljenostima između maloga ometača i uređaja Topcon HiPer SR, na 10 metara udaljenosti uređaj također gubi signale svih satelita (Slika 45). Slika 46 prikazuje prosječnu snagu signala satelita koje uređaj opaža tokom sesije. Prilikom uključenja velikog ometača, broj opažanih satelita pada sa 29 na samo 5. Elevacije opažanih satelita iznose 73°, 66°, 63°, 56° i 54°, iz čega se može zaključiti da je pozicioniranje i dalje moguće ukoliko postoji dovoljan broj satelita relativno visokih elevacija, u ovom slučaju viših od 54°.



Slika 45. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR na udaljenosti 10 metara od ometača



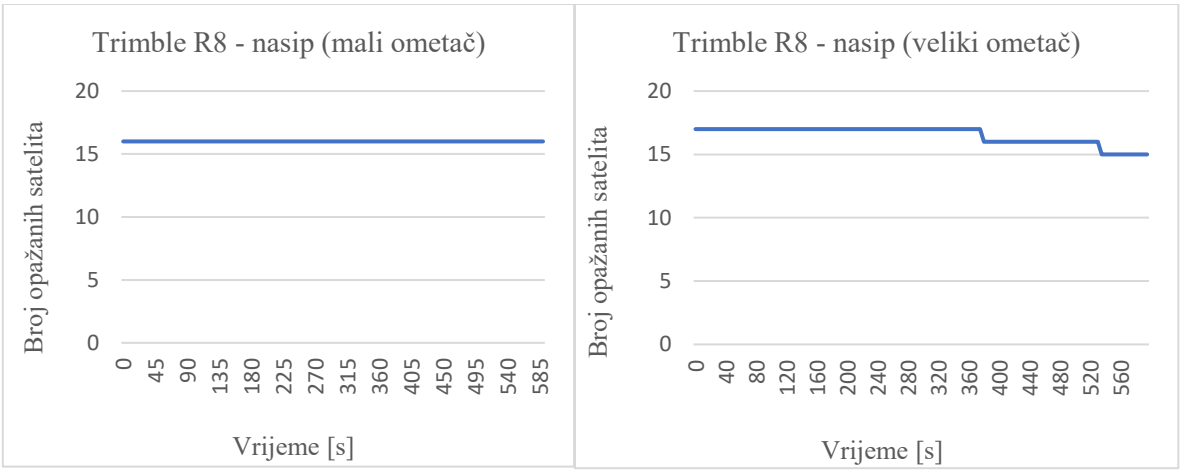
Slika 46. Prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR na udaljenosti 10 metara od ometača

Ispitivanja jasno pokazuju razvoj tehnologije preciznih geodetskih uređaja u pogledu zaštite od ometanja signala. Već na 220 metara udaljenosti mali ometač pokazuje vrlo snažan utjecaj na uređaj Topcon HiPer SR, kako broj vidljivih satelita znatno pada. Na 50 metara udaljenosti uređaj u potpunosti gubi sposobnost uspješnog opažanja GNSS signala. Utjecaj malog ometača na uređaj Trimble R8 znatno je slabiji. Iako na udaljenosti od 100 metara prijemnik gubi signal nekoliko satelita, čak i na 10 metara udaljenosti od ometača, uređaj opaža dovoljan broj satelita za uspješno pozicioniranje što su vrlo dobri rezultati s obzirom da uređaj opaža samo GPS i GLONASS satelite. Najnoviji model ispitanih prijemnika je Trimble R12i. Uređaj pokazuje iznimno dobru zaštitu od ometanja signala, kako broj opažanih satelita vidljivo opada teka na 10 metara udaljenosti od ometača, iako to ne predstavlja nikakav problem prilikom pozicioniranja. Jedini značajan utjecaj malog ometača na ovaj uređaj predstavlja gubitak B2 i B3 nosećih signala BeiDou satelita niskih elevacija već na 220 metara udaljenosti.

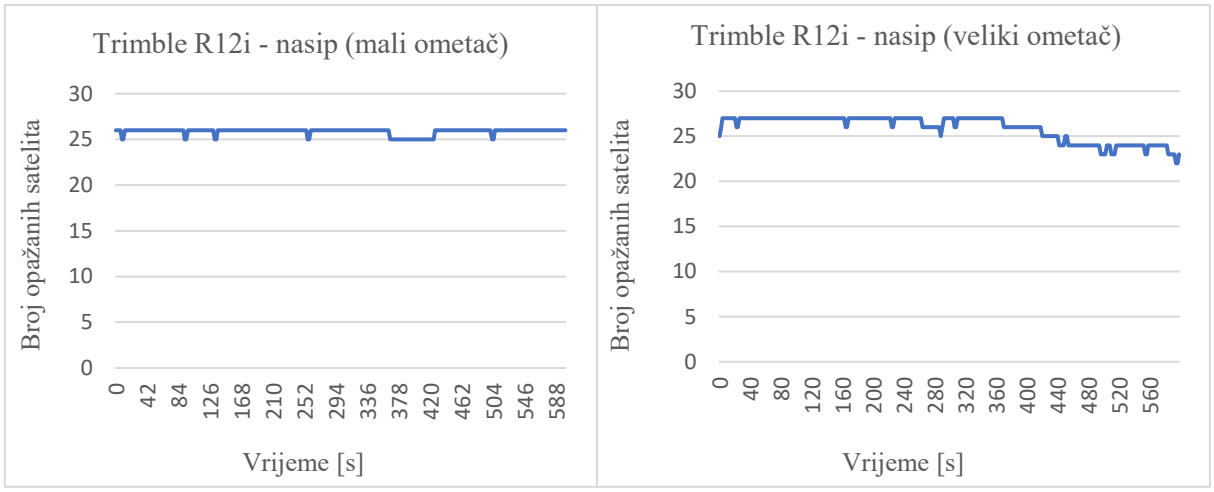
Na udaljenostima od 220 do 50 metara između geodetskih prijemnika i velikog ometača uređaji gube signale samo pojedinih satelita vrlo niskih elevacija, oko 15° ili manje. Na 20 metara udaljenosti utjecaj ometača je snažniji no broj opažanih satelita neznačajno pada. Na 10

metara udaljenosti, veliki ometač utječe na *bluetooth* vezu kontrolera i prijemnika kod oba Trimble uređaja. Unatoč ovim problema, Trimble R12i uspješno opaža sesiju bez značajnih smetnji kod prijema signala satelita, no Trimble R8 gubi vezu s kontrolerom i sesija nije opažana. Topcon HiPer SR nema problema s povezivanjem, no utjecaj velikog ometača na 10 metara udaljenosti snažno utječe na prijemnik. Uređaj uspijeva opažati signale samo onih satelita koji imaju relativno visoku elevaciju. Provedena istraživanja pokazuju kako u većini slučajeva prijemnici, pod utjecajem ometača, ponajprije gube signale satelita niskih elevacija, a zatim, približavanjem ometača prijemniku, gube signale satelita i sve viših elevacija. Na taj način, smanjenjem broja opažanih satelita, zasigurno raste i vrijednost DOP-a te se smanjuje preciznost pozicioniranja. Također, istraživanje pokazuje da kod oba Trimble uređaja, utjecaj ometača snažnije djeluje na L2, B2 i B3 signale, nego na L1, odnosno B1 signale satelita.

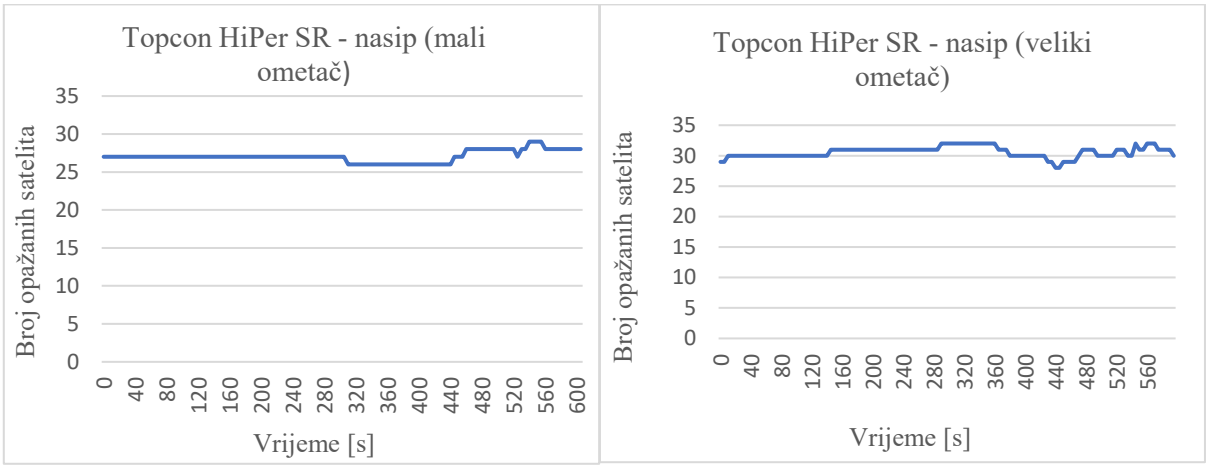
Zatim je ispitan utjecaj ometača na geodetske prijemnike kada se između njih nalazi prepreka, u ovom slučaju nasip. Udaljenost ometača i prijemnika iznosi 50 metara. Prijemnici se nalaze na istom stajalištu kao i kod prethodnih statičkih opažanja, no ometači se nalaze s druge strane nasipa. Slika 47 prikazuje broj opažanih satelita koje opaža uređaj Trimble R8. U slučaju kada nije bilo prepreke mali ometač je, na 50 metara udaljenosti od prijemnika, uzrokovao gubitak signala nekoliko satelita, no u ovom slučaju jasno je vidljivo da mali i veliki ometač ne pokazuju nikakav utjecaj na prijemnik. Slika 48 prikazuje broj satelita opažanih uređajem Trimble R12i, a Slika 49 prikazuje broj satelita opažanih uređajem Topcon HiPer SR, te Slika 50 prikazuje prosječnu snagu opažanih signala za uređaj Topcon HiPer SR. Niti na jednoj slici nije vidljiv značajan utjecaj ometača. Stoga, ukoliko postoji prepreka između ometača i prijemnika, utjecaj ometača se smanjuje ili nestaje. Najrelevantniji primjer je utjecaj maloga ometača na prijemnik Topcon HiPer SR. Na udaljenosti od 50 metara od ometača uređaj nije u mogućnosti opažati signale niti jednoga satelita, no kada se na istoj međusobnoj udaljenosti između njih nalazi nasip, utjecaj ometača nije vidljiv u podacima opažanja.



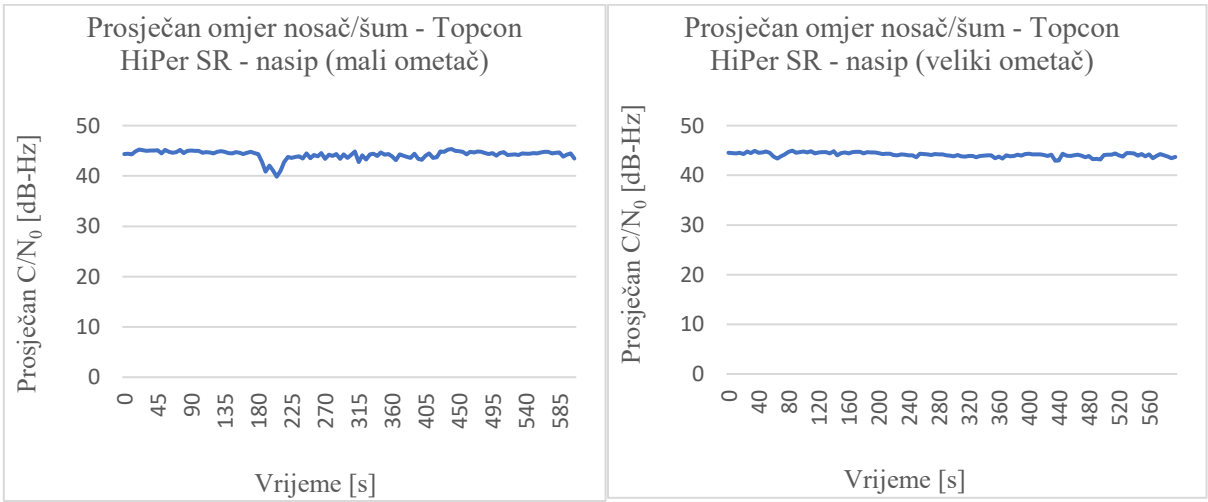
Slika 47. Broj opažanih satelita – Trimble R8 s ometačem iza nasipa



Slika 48. Broj opažanih satelita – Trimble R12i s ometačem iza nasipa



Slika 49. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR s ometačem iza nasipa



Slika 50. Prosječna snaga siganala – Topcon HiPer SR s ometačem iza nasipa

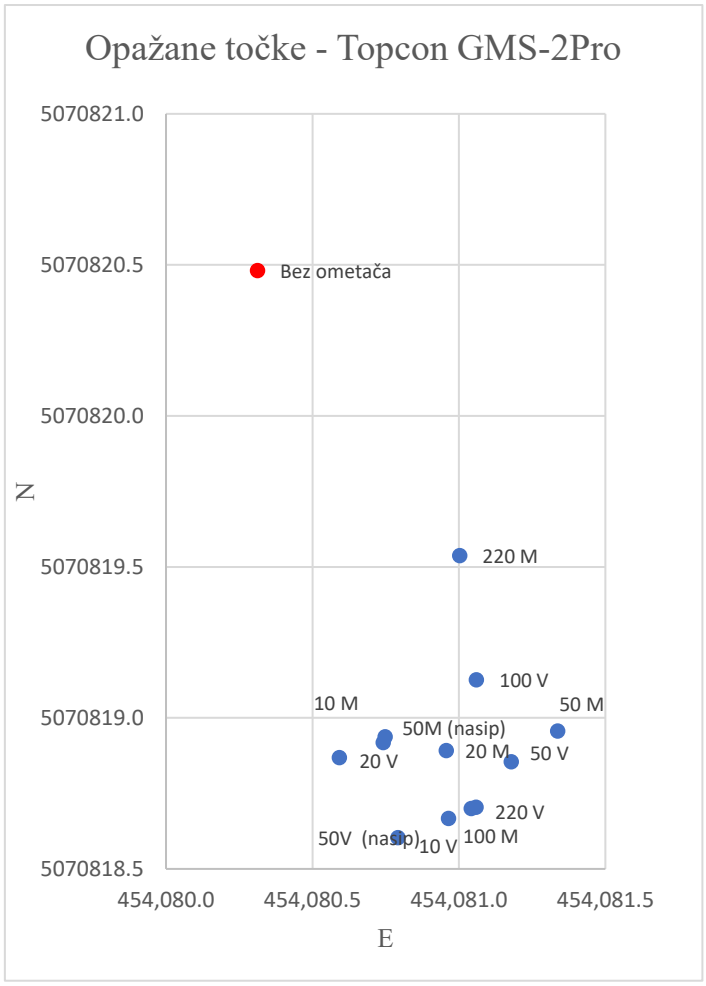
6.2. Opažanje GIS/GNSS uređaja

Ispitivanje utjecaja ometača na uređaje CHCNAV LT700H i Topcon GMS-2PRO provedeno je istovremeno s ispitivanjem utjecaja na precizne geodetske prijemnike. Isto tako, sesije traju 10 minuta, a ometač je uključen od treće do sedme minute. Elevacijska maska iznosi 5°. Ometači se također nalaze 10, 20, 50, 100 i 220 metara od prijemnika, te iza nasipa. Interval opažanja Topcon GMS-2Pro uređaja je jedna sekunda, dok je interval opažanja CHCNAV LT700H uređaja tri sekunde. Uređaj Topcon opaža samo GPS satelite, dok uređaj CHCNAV opaža satelita svih globalnih konstelacija. Prije testiranja utjecaja ometača opažana je sesija bez ometača u trajanju od približno 24 minute.

Rezultati opažanja uređaja Topcon GMS-2Pro su koordinate točaka dobivene apsolutnom metodom opažanja za svaku sesiju. Koordinate ovih točaka, izvezenih iz uređaja u tekstualnoj datoteci, prikazuje Tablica 14, a grafički prikaz Slika 51. Iako se uređaj nalazi na istoj poziciji prilikom svih opažanja, iz tablice je jasno vidljivo kako se koordinate mijenjaju s vremenom. Horizontalna pozicija varira oko 4 metra, dok opažana visina uređaja opada približno linearno s vremenom sa 119,5 do 114,4 metara. Koordinate uređaja prilikom opažanja bez ometača i opažanja iza nasipa, kada ometač gotovo nema nikakav utjecaj najviše se razlikuju. Iz toga se moguće zaključiti da utjecaj ometača nije uzrok ovih promjena koordinata.

Tablica 14. Koordinate točaka iz apsolutnih opažanja uređaja Topcon GMS2-Pro

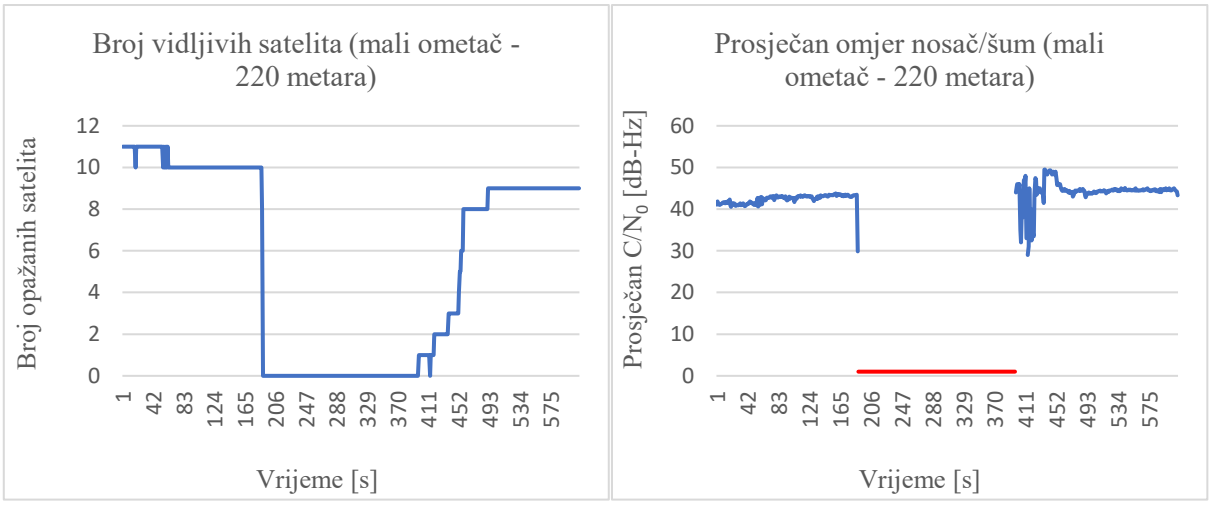
Vrijeme opažanja	Udaljenost	E	N	H
9:26 – 9:51	Bez ometača	454080,313	5070820,481	119,474
Mali ometač				
10:42 – 10:52	220 m	454081,003	5070819,538	118,495
11:06 – 11:16	100 m	454081,043	5070818,700	117,437
11:29 – 11:39	50 m	454081,338	5070818,957	118,370
11:51 – 12:01	20 m	454080,957	5070818,892	117,704
12:16 – 12:26	10 m	454080,592	5070818,869	115,829
12:40 – 12:50	50 m (nasip)	454080,749	5070818,938	114,358
Veliki ometač				
	Bez ometača	454080,313	5070820,481	119,474
10:54 – 11:04	220 m	454081,059	5070818,705	118,206
11:17 – 11:27	100 m	454081,060	5070819,127	117,642
11:40 – 11:00	50 m	454081,179	5070818,855	118,290
12:03 – 12:13	20 m	454080,742	5070818,919	117,214
12:28 – 12:38	10 m	454080,965	5070818,667	114,768
12:51 – 13:01	50 m (nasip)	454080,792	5070818,604	113,509



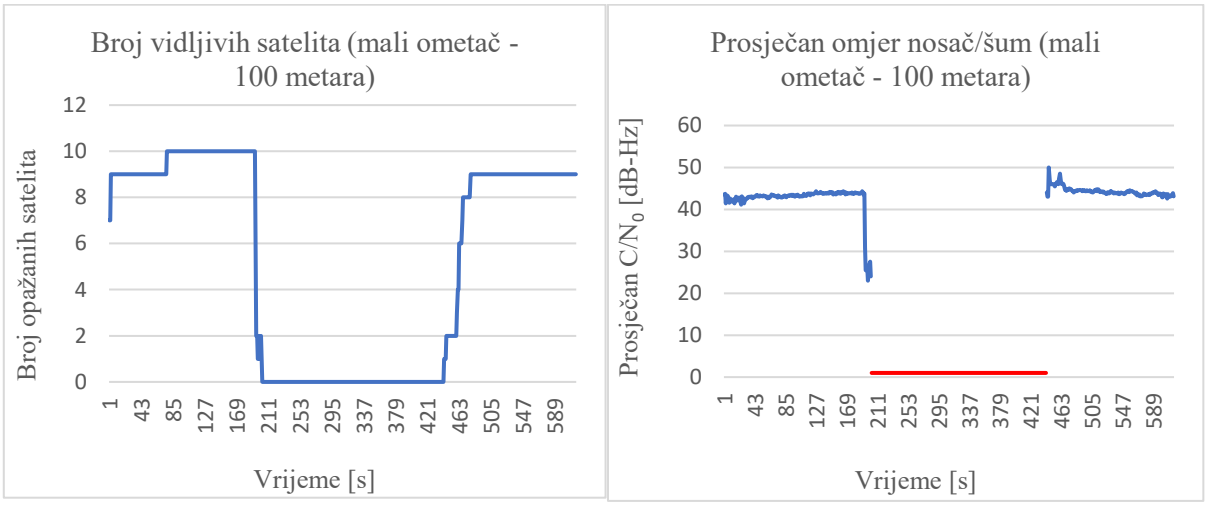
Slika 51. Grafički prikaz točaka – Topcon HiPer SR

Osim datoteke koja sadrži koordinate, neobrađene podatke svih opažanja uređaj Topcon GMS-2Pro pohranjuje u *.tps* datoteci koja je konvertirana u RINEX datoteku koristeći *TPS to RINEX online converter* (URL 35). Kako je model ovoga uređaja starije generacije i almanah na uređaju nije ažuriran, neobrađene podatke nije moguće naknadno obraditi u TBC softveru. Za interpretaciju utjecaja ometača na ovaj uređaj, podaci iz RINEX datoteke obrađeni su u softveru Microsoft Excel. Rezultat obrade podataka su grafički prikazi broja vidljivih satelita i prosječne snage primljenog signala L1 nosača tijekom sesija. Važno je napomenuti da uređaj opaža samo satelite GPS konstelacije.

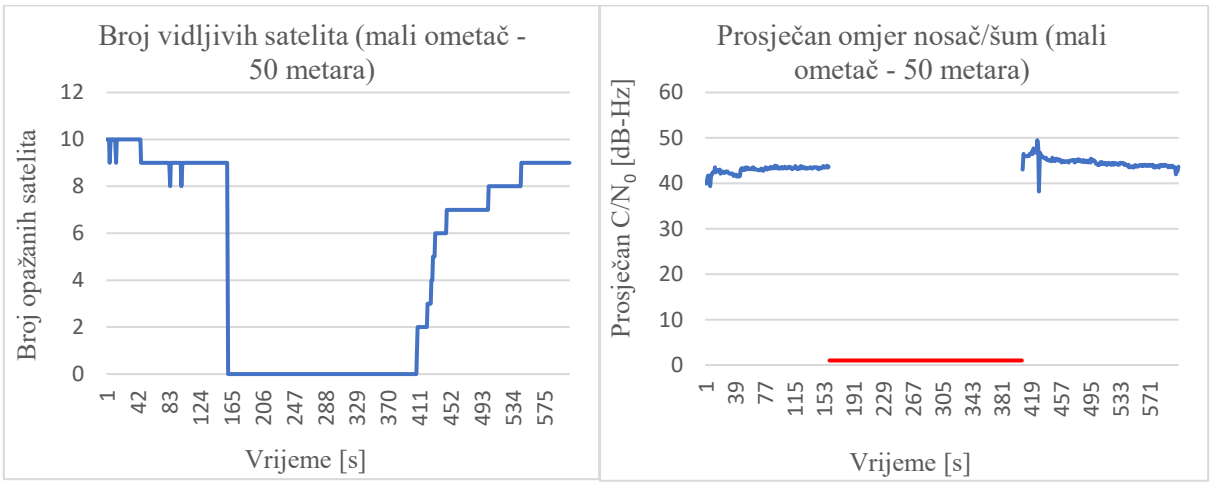
Već na 220 metara udaljenosti između malog ometača i uređaja Topcon GMS-2Pro, mali ometač u potpunosti blokira signale koje prijemnik opaža (Slika 52). Isti je slučaj i za sve ostale udaljenosti između maloga ometača i uređaja, a to prikazuje Slika 53 za udaljenost od 100 metara, Slika 54 za udaljenost od 50 metara, Slika 55 za udaljenost od 20 metara te Slika 56 za udaljenost od 10 metara između ometača i prijemnika.



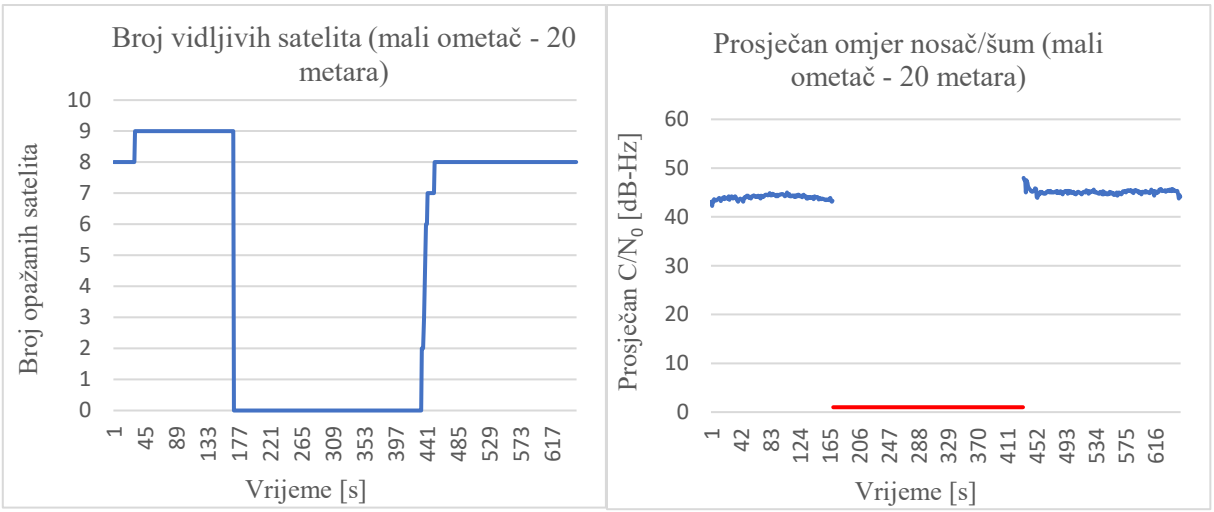
Slika 52. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 220 metara od malog ometača



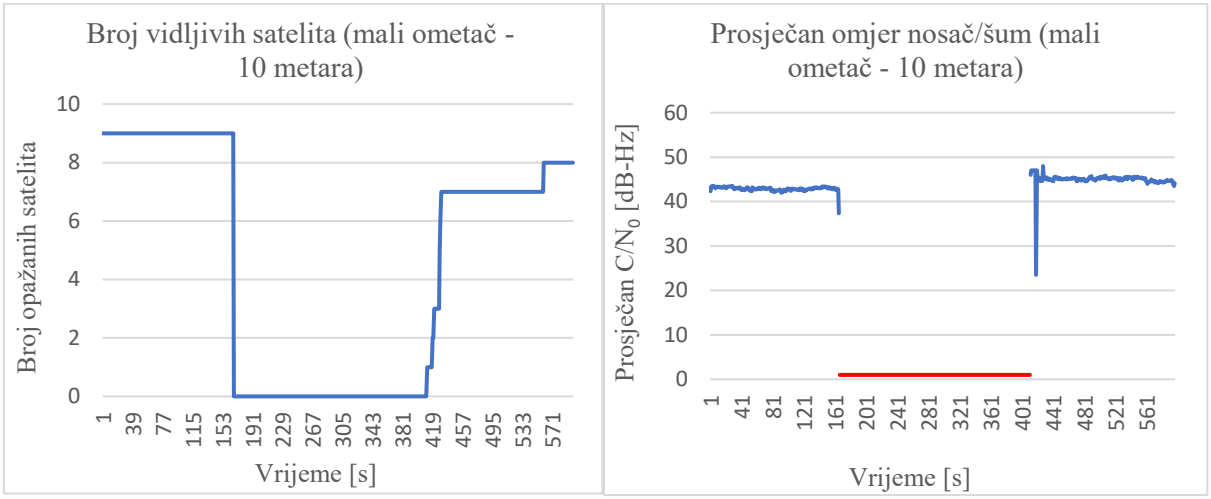
Slika 53. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 100 metara od malog ometača



Slika 54. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 50 metara od malog ometača



Slika 55. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 20 metara od malog ometača

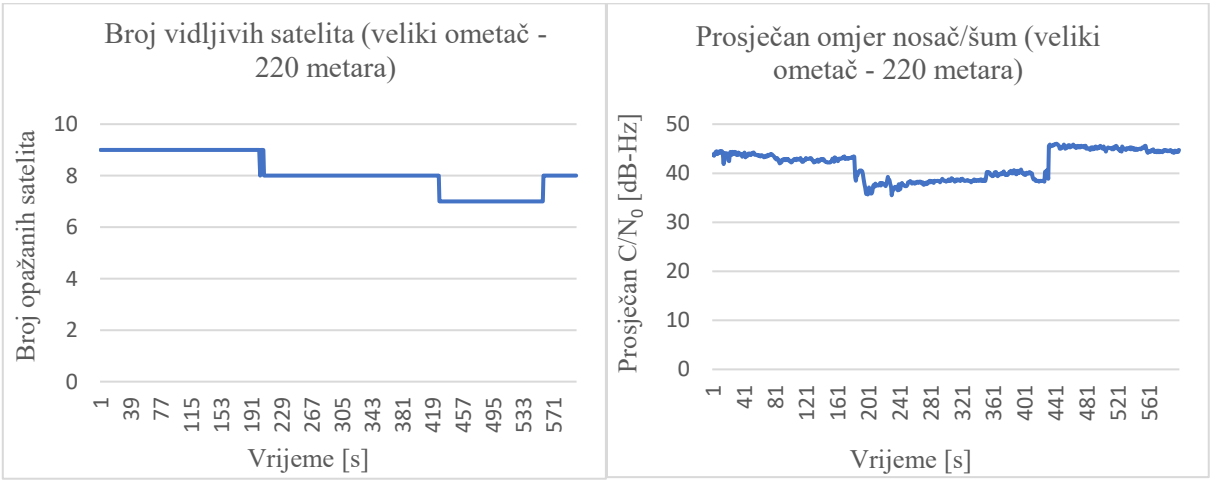


Slika 56. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 10 metara od malog ometača

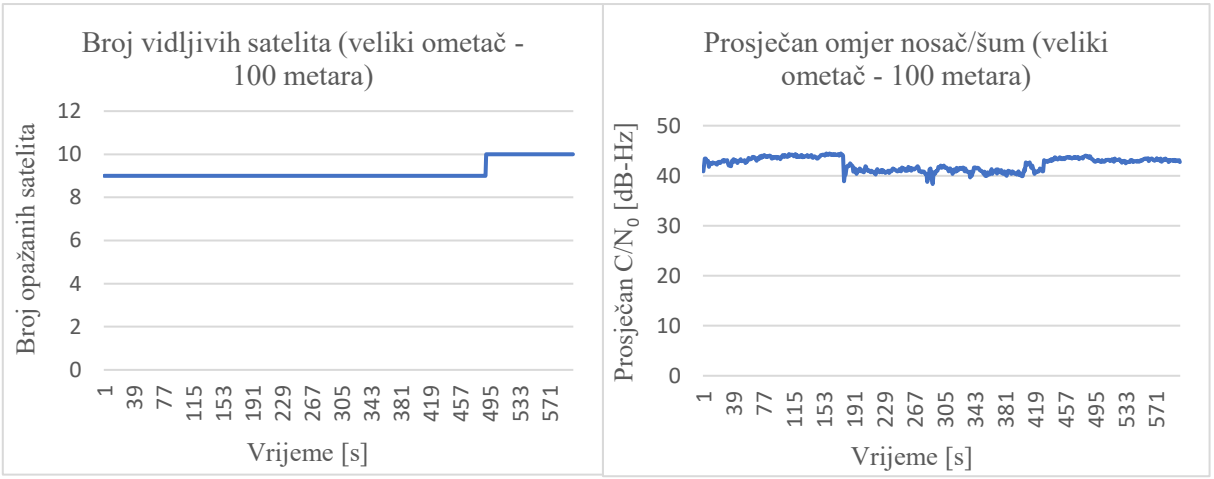
Utjecaj velikog ometača na uređaj Topcon GMS-2Pro daleko je slabiji od utjecaja malog ometača. Slika 57 prikazuje broj vidljivih satelita koje opaža uređaj, te omjer nosača i šuma opažanih satelita pod utjecajem 220 metara udaljenog velikog ometača. Utjecaj nije vidljiv na grafu koji prikazuje broj opažanih satelita, no prisutan je kao neznatno smanjenje omjera nosač/šum koje se sa drugoga grafa jasno vidi.

Isto prikazuje i Slika 58, kada su ometač i uređaj udaljeni 100 metara, Slika 59, kada je međusobna udaljenost ometača i uređaja 50 metara i Slika 60 kada je udaljenost 20 metara. Samo na udaljenosti od 50 metara vidljiv je kratkotrajan gubitak signala jednoga satelita elevacije 36°. Tek na 10 metara udaljenosti utjecaj velikog ometača postaje značajan. Slika 61 prikazuje graf broja opažanih satelita na kojem je, prilikom uključenja ometača, vidljiv pad broja opažanih satelita sa osam na dva, a na trenutke i jedan. Iako uređaj prikuplja signale tih dvaju satelita, utjecaj ometača na njih jasno je vidljiv iz drugoga grafa, koji prikazuje znatan pad prosječnog omjera nosač/šum. To dokazuje da ometač uzrokuje smanjenje snage dolaznih

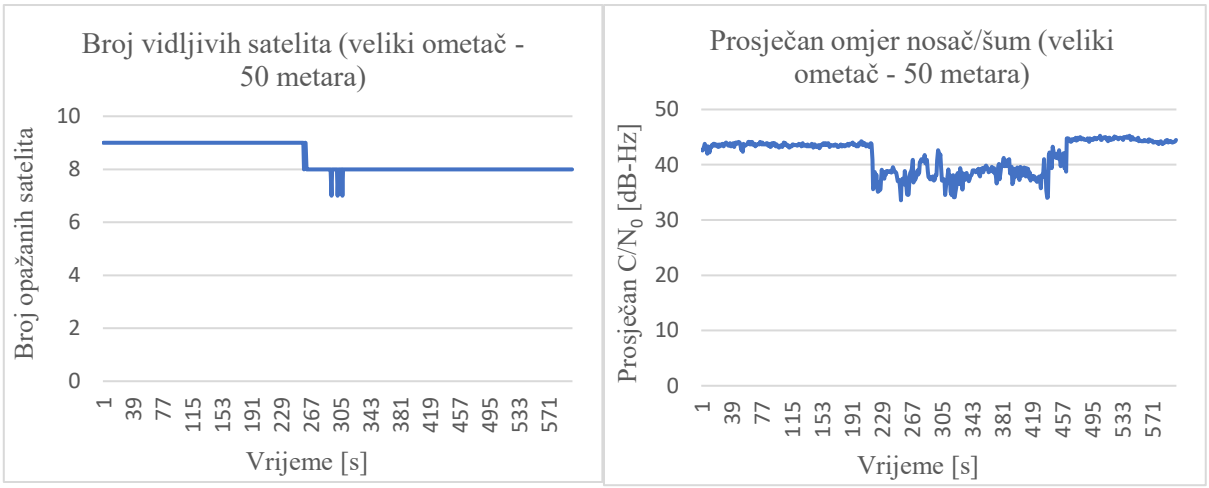
GNSS signala, te na taj način smanjuje i točnost pozicioniranja ukoliko je, pod utjecajem ometača, pozicioniranje moguće. Problem Topcon GMS-2Pro uređaja je nemogućnost opažanja satelita drugih konstelacija, što bi zasigurno poboljšalo točnost i dostupnost pozicioniranja u blizini ometača.



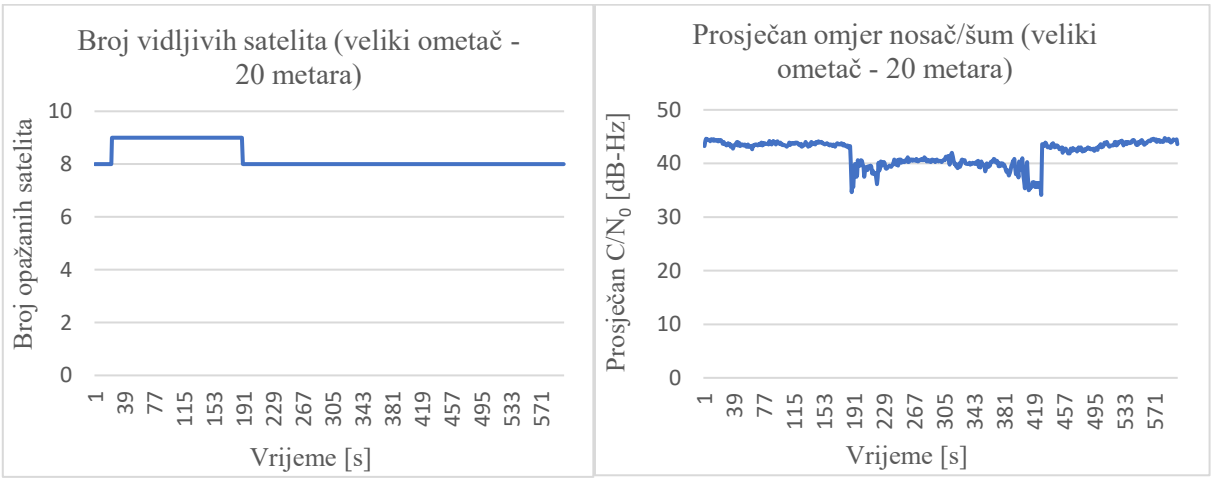
Slika 57. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 220 metara od velikog ometača



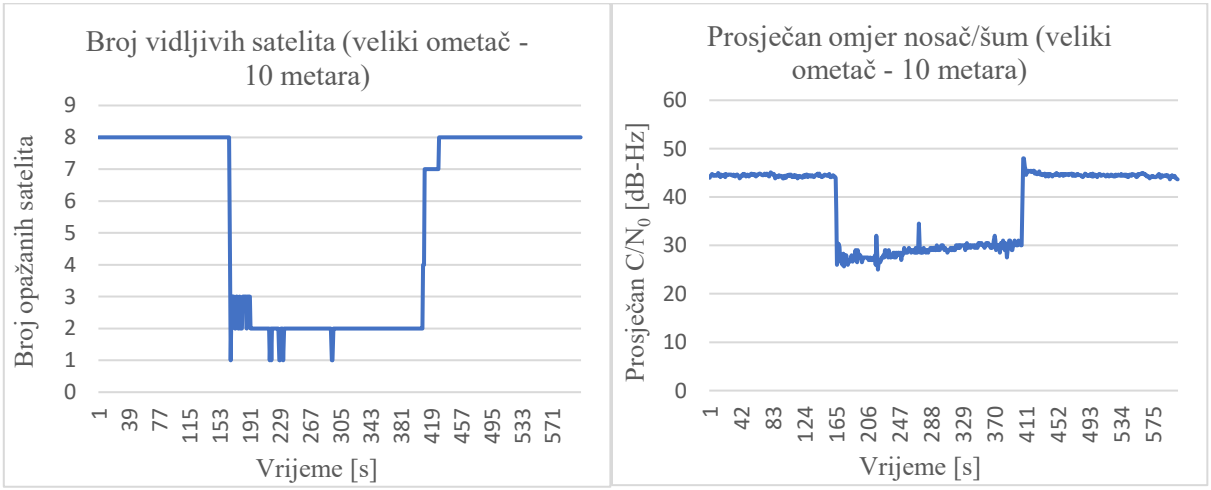
Slika 58. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 100 metara od velikog ometača



Slika 59. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 50 metara od velikog ometača

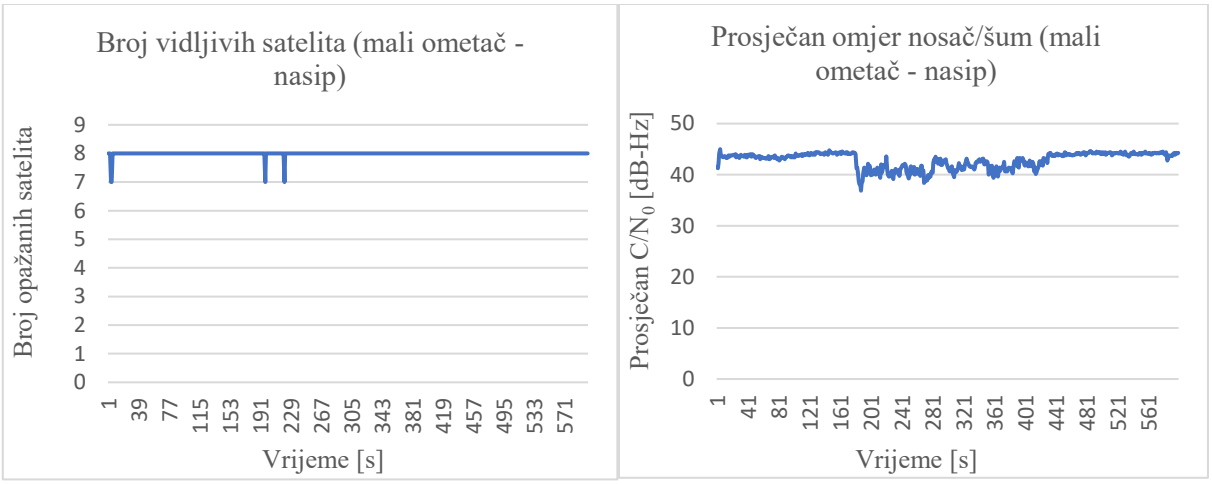


Slika 60. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 20 metara od velikog ometača

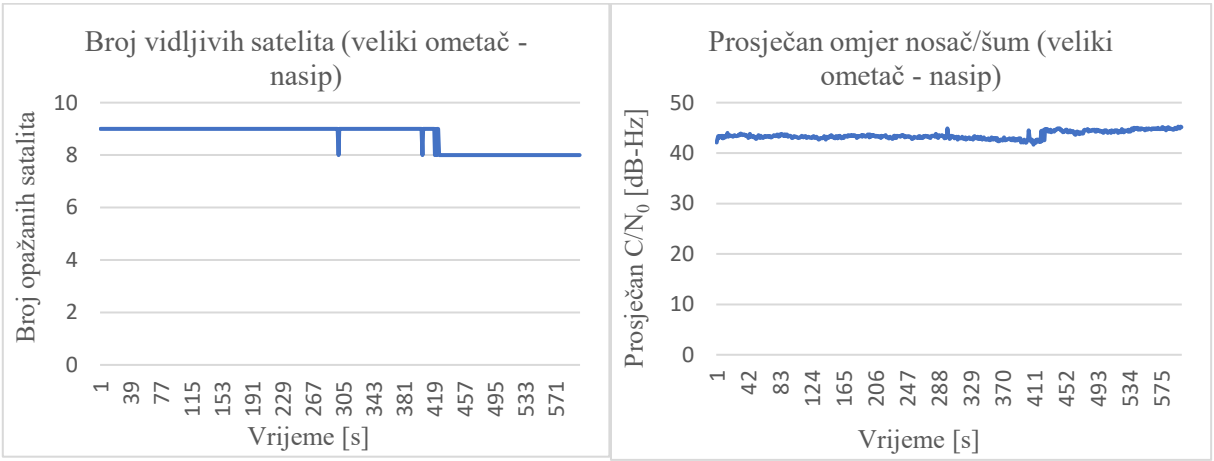


Slika 61. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 10 metara od velikog ometača

Utjecaj malog ometača na 50 metara udaljen prijemnik Topcon GMS-2Pro, kada se između njih nalazi nasip, prikazuje Slika 62. Pod utjecajem malog ometača uređaj vrlo kratkotrajno gubi signal samo jednog satelita čija elevacija iznosi 10°, te omjer nosač/šum neznatno pada. Kada nije postojala prepreka između ometača i prijemnika, uređaj je u potpunosti izgubio sve opažane signale satelita, no, u ovom slučaju, kada se između ometača i prijemnika nalazi nasip, utjecaj ometača teško je zamjetljiv. Utjecaj velikog ometača na Topcon GMS-2Pro, kada se između nalazi nasip, prikazuje Slika 63. Iz grafova je vidljivo da je utjecaja gotovo i nema.



Slika 62. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro – mali ometač iz nasipa



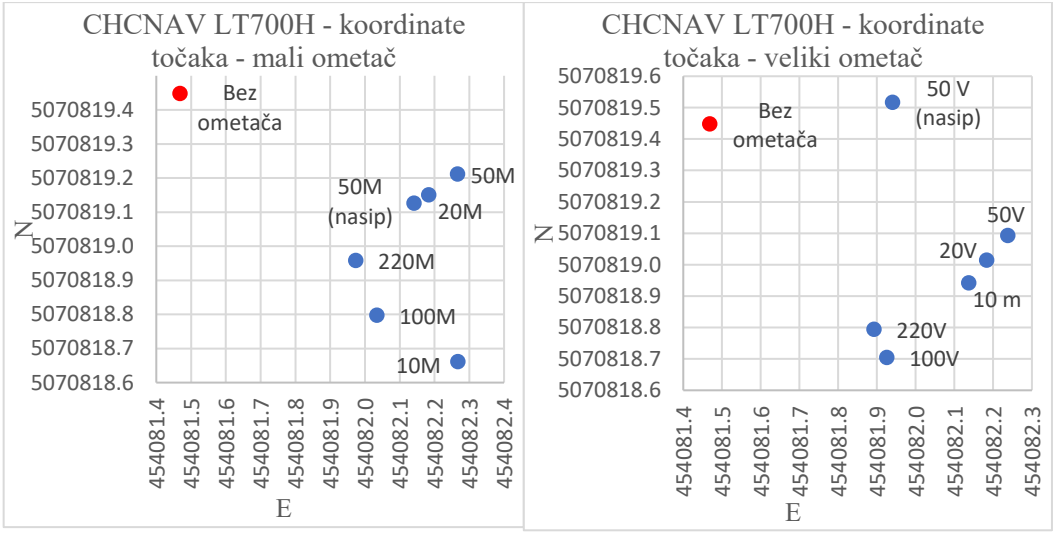
Slika 63. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro – veliki ometač iz nasipa

Uređaj CHCNAV LT700H također koristi apsolutnu metodu opažanja za računanje koordinata pozicije. Interval opažanja je tri sekunde, a podatci svakog opažanja pohranjeni su u *.csv* datoteku koja se nalazi u unutarnjoj memoriji uređaja. Datoteka sadrži mnoge informacije opažanja, kao što su broj vidljivih i broj korištenih satelita prilikom opažanja, DOP vrijednosti, horizontalna, vertikalna i srednja kvadrantna pogreška (engl. *Root mean sqare*, RMS), pogreške prema koordinatnim osima, elipsoidne koordinate i koordinate u HTRS96/TM projekciji, te

ostale podatke. Izračunata je aritmetička sredina koordinata svakoga mjerenja u sesiji i koordinate prikazuje Tablica 15. Slika 64 prikazuje grafički prikaz opažanih točaka.

Tablica 15. Koordinate točaka iz apsolutnih opažanja uređaja CHCNAV LT700H

Vrijeme opažanja	Udaljenost	E	N	H
9:26 – 9:51	Bez ometača	454081,469	5070819,448	118,056
Mali ometač				
10:42 – 10:52	220 m	454081,973	5070818,958	116,990
11:06 – 11:16	100 m	454082,034	5070818,797	115,933
11:29 – 11:39	50 m	454082,266	5070819,211	116,955
11:51 – 12:01	20 m	454082,183	5070819,150	116,356
12:16 – 12:26	10 m	454082,267	5070818,661	116,034
12:40 – 12:50	50 m (nasip)	454082,141	5070819,126	116,515
Veliki ometač				
10:54 – 11:04	220 m	454081,892	5070818,794	116,812
11:17 – 11:27	100 m	454081,925	5070818,704	116,922
11:40 – 11:00	50 m	454082,238	5070819,093	117,069
12:03 – 12:13	20 m	454082,183	5070819,014	117,078
12:28 – 12:38	10 m	454082,137	5070818,942	116,365
12:51 – 13:01	50 m (nasip)	454081,940	5070819,517	116,240

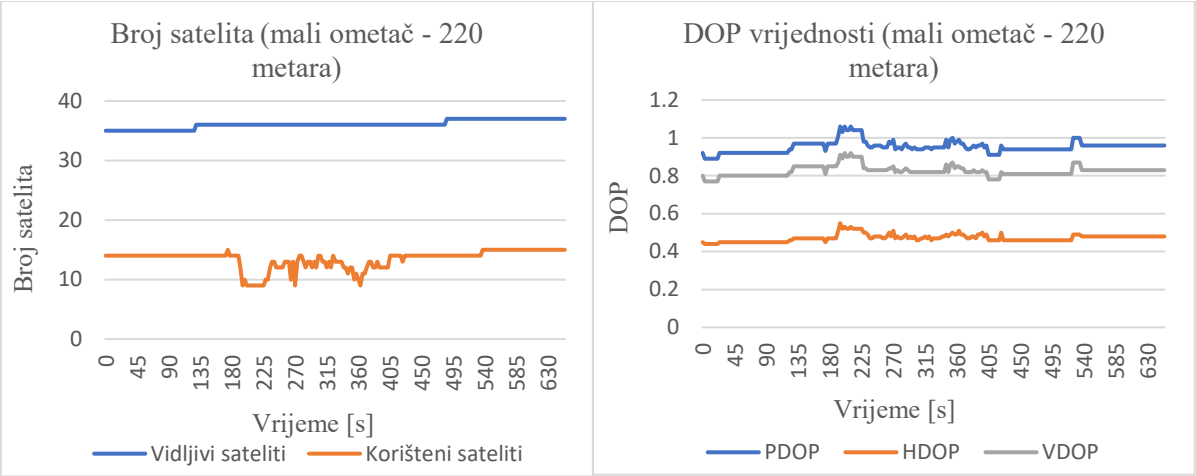


Slika 64. Grafički prikaz točaka opažanih CHCNAV uređajem

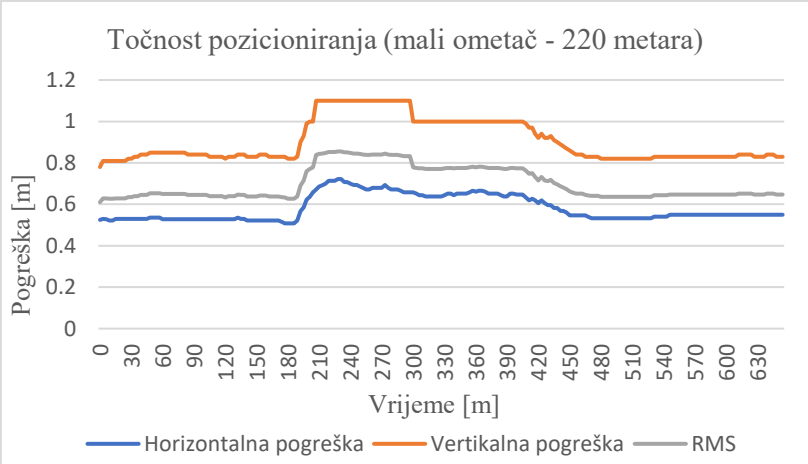
Softver Microsoft Excel korišten je za izradu grafova koji prikazuju broj satelita, DOP vrijednosti i pogreške opažanja za svaku provedenu sesiju. Slijedi interpretacija utjecaja ometača na CHCNAV uređaj pomoću navedenih grafova.

Na udaljenosti 220 metara od maloga ometača, broj satelita koje opaža uređaj CHCNAV varira tijekom cijele sesije od 14 pa sve do 9 praćenih satelita, a isto se tako mijenja i vrijednost

DOP-a što prikazuje Slika 65. Slika 66 prikazuje točnost pozicioniranja, te je vidljivo da srednja kvadratna pogreška raste sa 0,6 na 0,8 metara kada je ometač uključen.

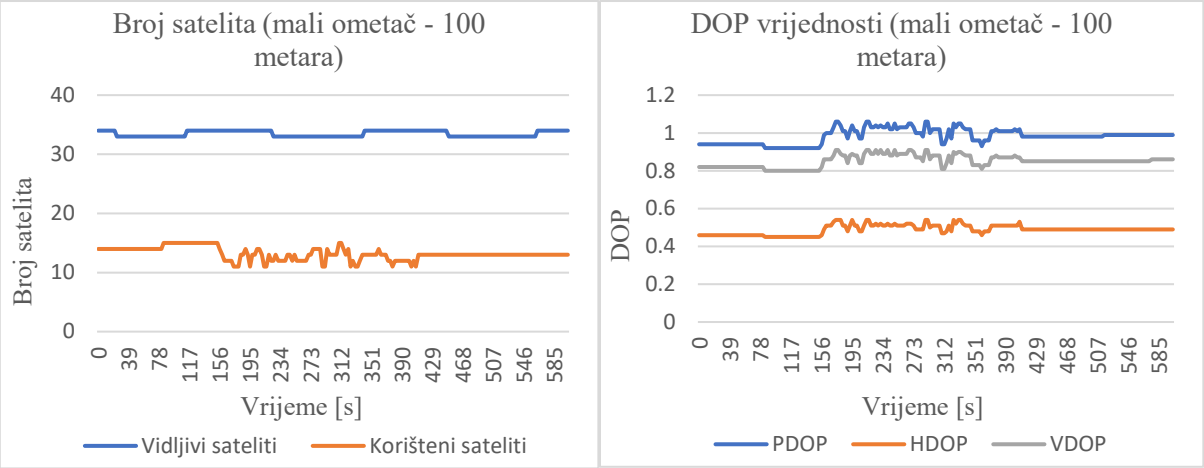


Slika 65. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, 220 m)

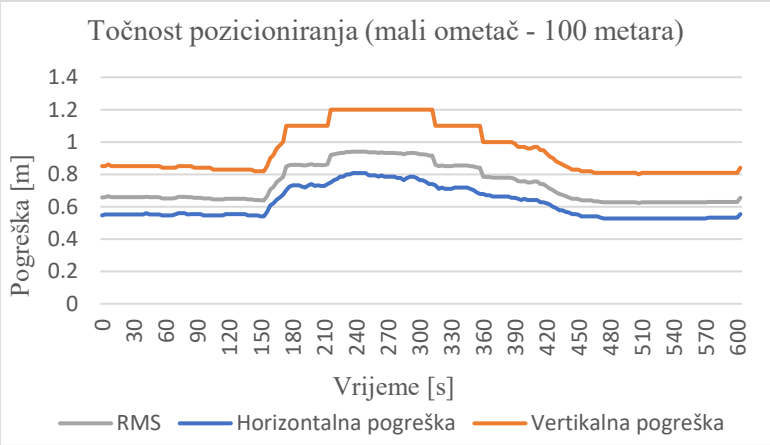


Slika 66. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, 220 m)

Kada se mali ometač nalazi 100 metara od uređaja CHCNAV broj opažanih satelita mijenja se od 15 do 11 kada je ometač uključen, a prema tome se mijenja i DOP vrijednost što prikazuje Slika 67. Slika 68 prikazuje da srednja kvadratna pogreška raste od 0,6 do 0,9 metara.

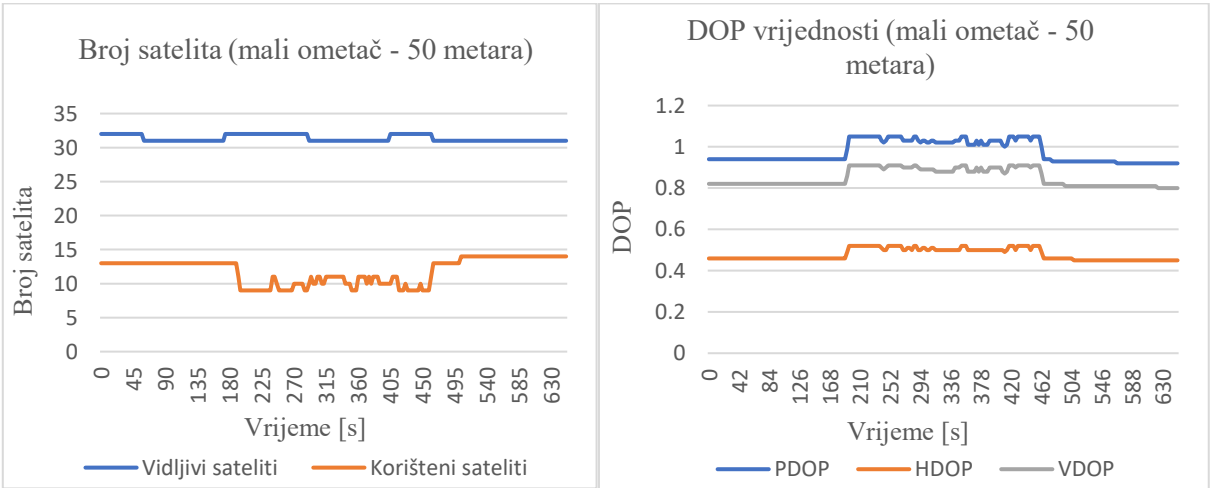


Slika 67. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, 100 m)

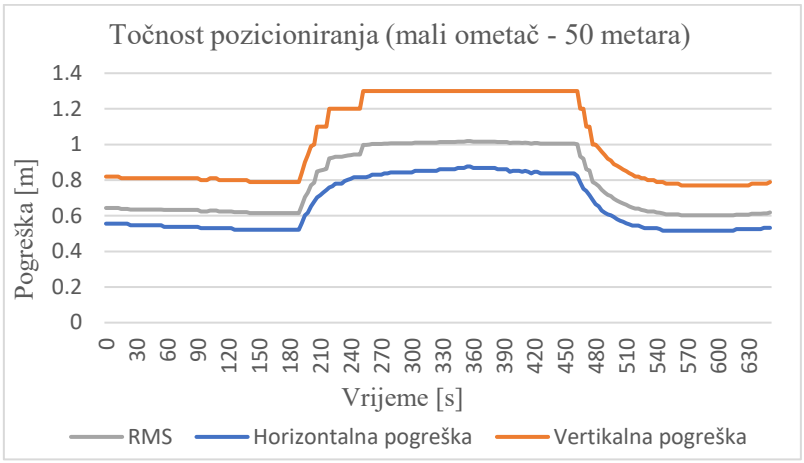


Slika 68. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, 100 m)

Nadalje, na udaljenosti malog ometača 50 metara od uređaja CHCNAV broj praćenih satelita pada sa 13 do 9, te se povremeno vraća natrag do 11 opažanih, a isto tako, mijenja se i vrijednost DOP-a (Slika 69). Slika 70 prikazuje točnosti pozicioniranja, gdje srednja kvadratna pogreška, pod utjecajem ometača, raste od 0,6 do 1,0 metar.

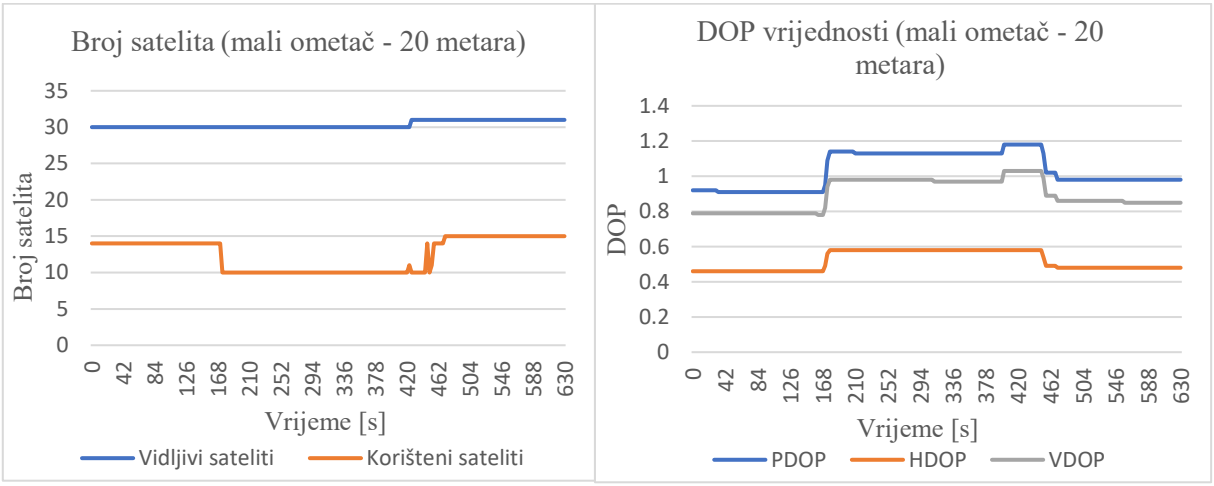


Slika 69. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, 50 m)

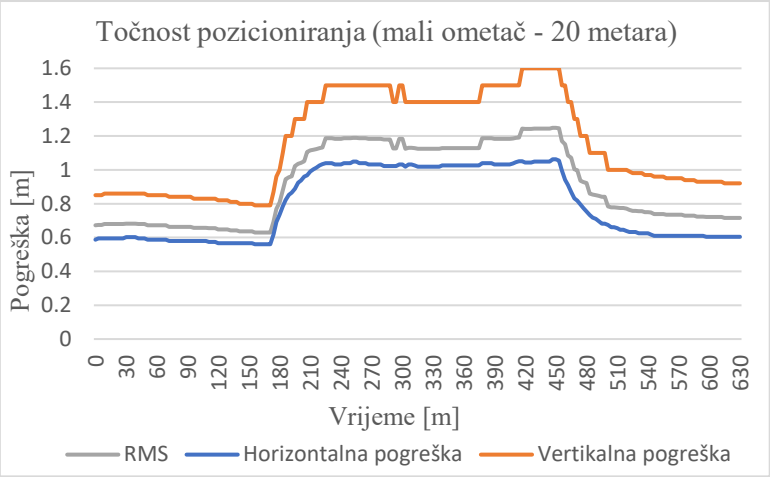


Slika 70. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, 50 m)

Pod utjecajem malog ometača udaljenog 20 metara od uređaja CHCNAV, broj satelita koje uređaj opaža pada s 14 na 10 i tek po isključivanju ometača broj satelita raste na 15, a prema broju i poziciji opažanih satelita mijenja se i vrijednost DOP-a (Slika 71). Slika 72 prikazuj točnost pozicioniranja na kojoj je vidljivo da pod utjecajem ometača srednja kvadratna pogreška raste od 0,6 do 1,6 metara.

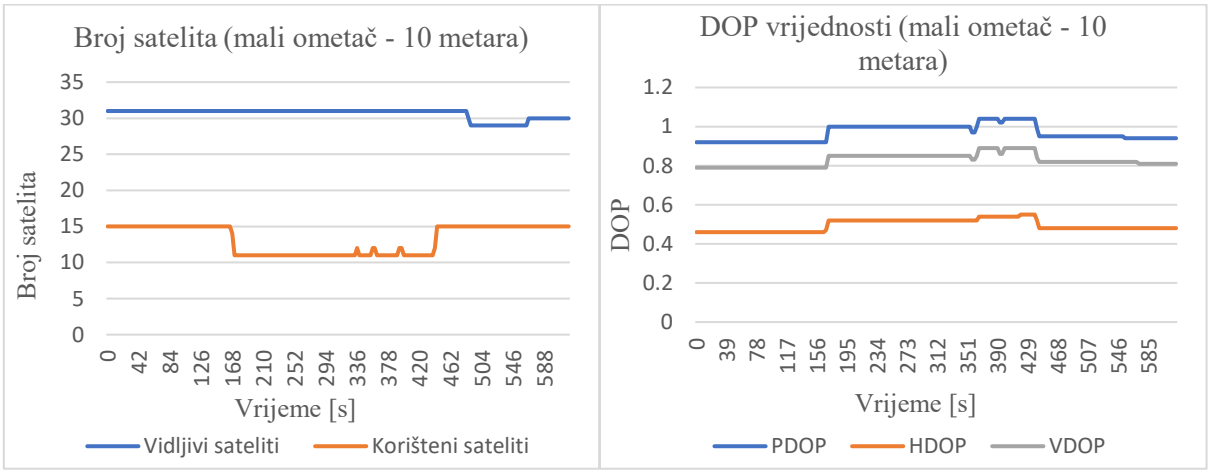


Slika 71. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, 20 m)

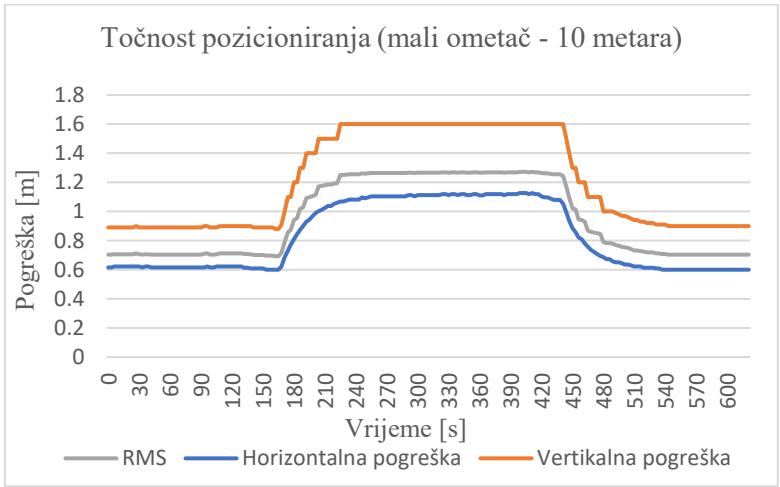


Slika 72. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, 20 m)

Pod utjecajem 10 metara udaljenog malog ometača, broj satelita koje opaža uređaj CHCNAV pada s 15 na 11, zajedno sa pripadajućim DOP vrijednostima (Slika 73). Srednja kvadratna pogreška pozicioniranja raste s 0,7 na 1,6 metara kada je ometač uključen što prikazuje Slika 74.

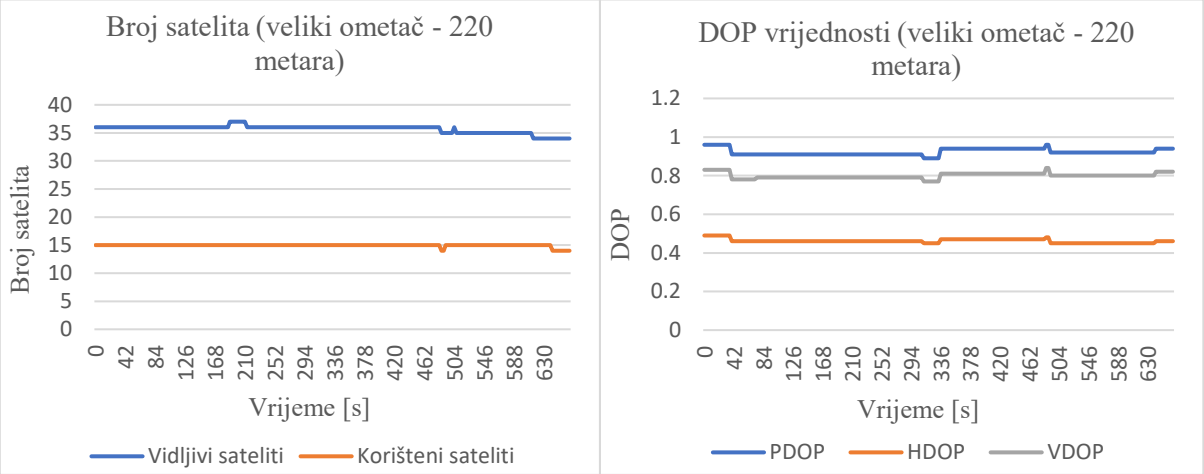


Slika 73. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, 10 m)

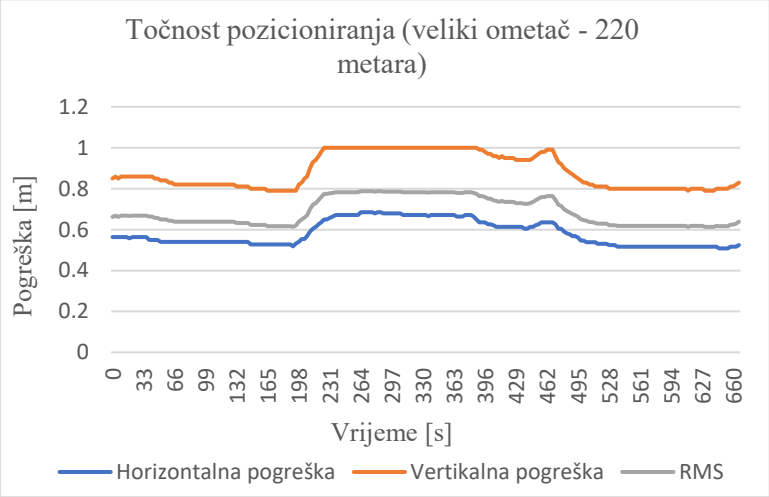


Slika 74. Točnost pozicioniranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, 10 m)

Slika 75 prikazuje broj opažanih satelita i DOP vrijednosti koje opaža uređaja CHCNAV pod utjecajem velikog ometača udaljenog 220 metara. Sa ovih grafova utjecaj velikog ometača nije vidljiv. Slika 76 prikazuje točnost pozicioniranja tijekom sesije, te srednja kvadratna pogreška pozicioniranja raste od 0,6 do 0,8 metara, što znači da utjecaj ipak postoji.

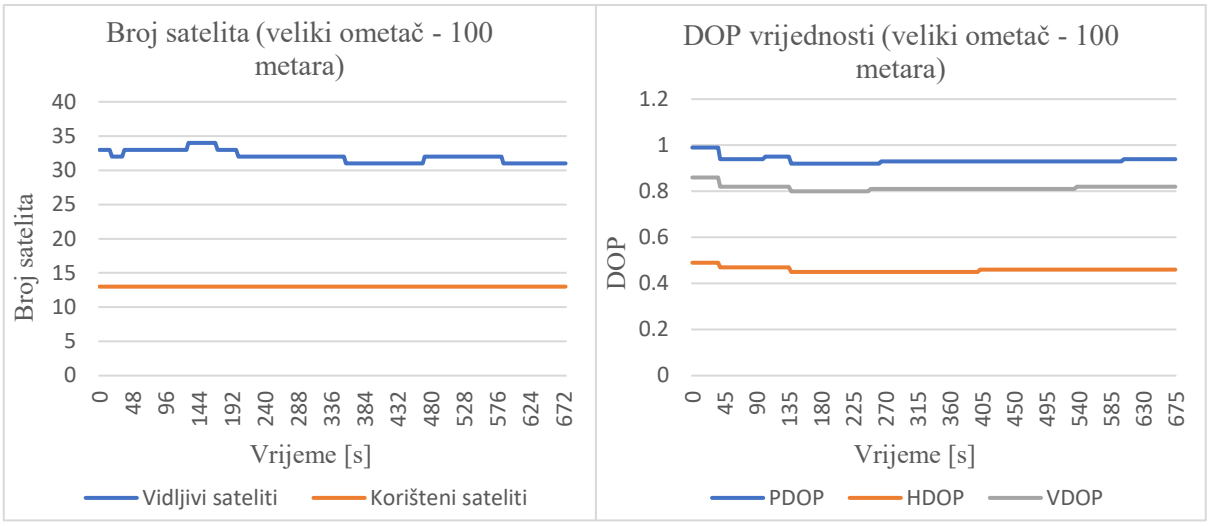


Slika 75. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, 220 m)

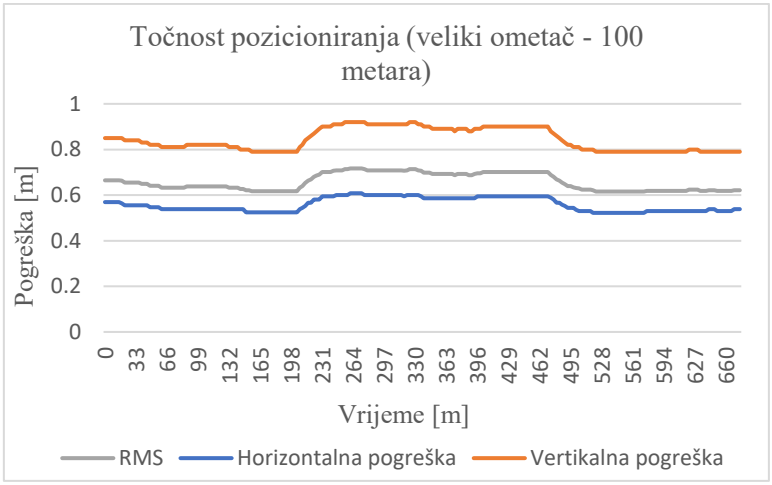


Slika 76. Točnost pozicioniranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, 220 m)

Slika 77 prikazuje broj opažanih satelita i DOP vrijednosti koje opaža uređaja CHCNAV pod utjecajem velikog ometača udaljenog 100 metara. Prema broju satelita i DOP vrijednostima utjecaj ometača u sesiji nije vidljiv, no točnost opažanja ipak opada s 0,6 metara na 0,7 metara dok je ometač uključen, što prikazuje Slika 78.

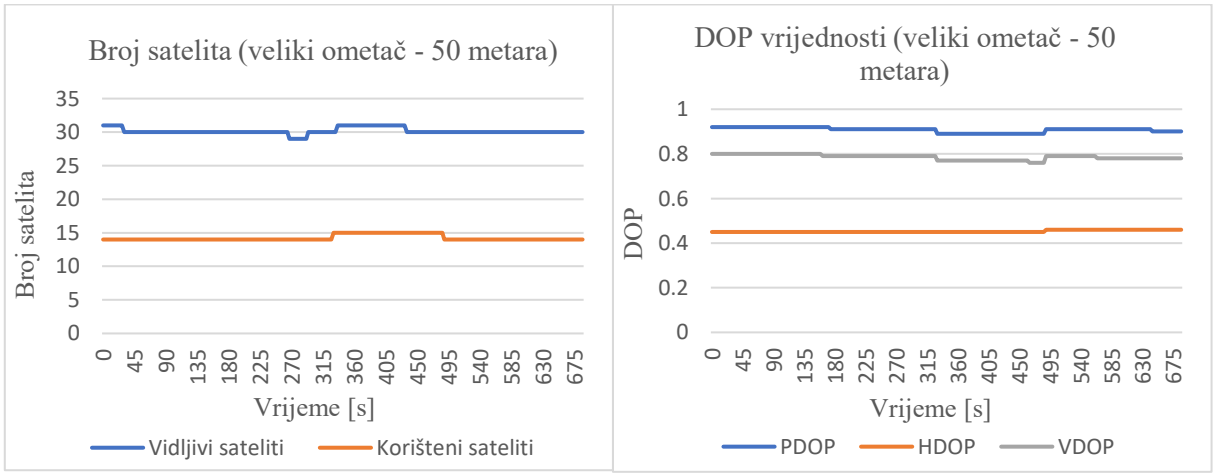


Slika 77. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, 100 m)

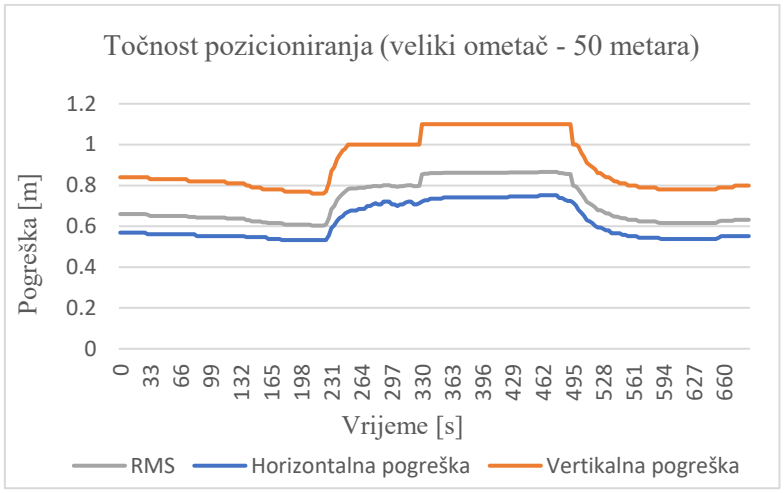


Slika 78. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, 100 m)

Slika 79 prikazuje broj opažanih satelita i DOP vrijednosti koje opaža uređaja CHCNAV pod utjecajem velikog ometača udaljenog 50 metara. Iz ovih grafova utjecaj nije vidljiv, no Slika 80 prikazuje vidljivo smanjenje točnosti pozicioniranja gdje uslijed djelovanja ometača srednja kvadratna pogreška pozicioniranja raste sa 0,6 metara na gotovo 0,9 metara.

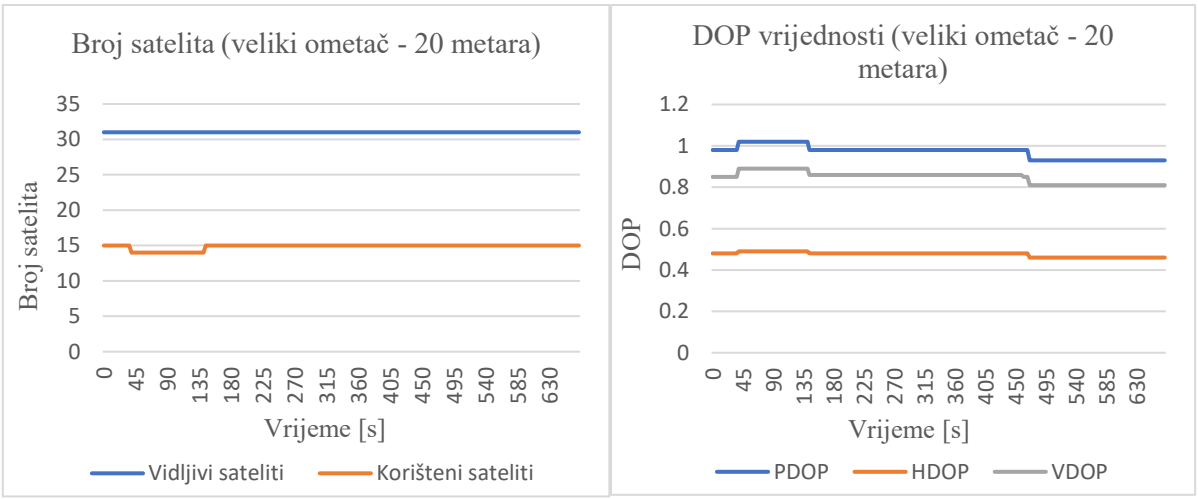


Slika 79. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, 50 m)

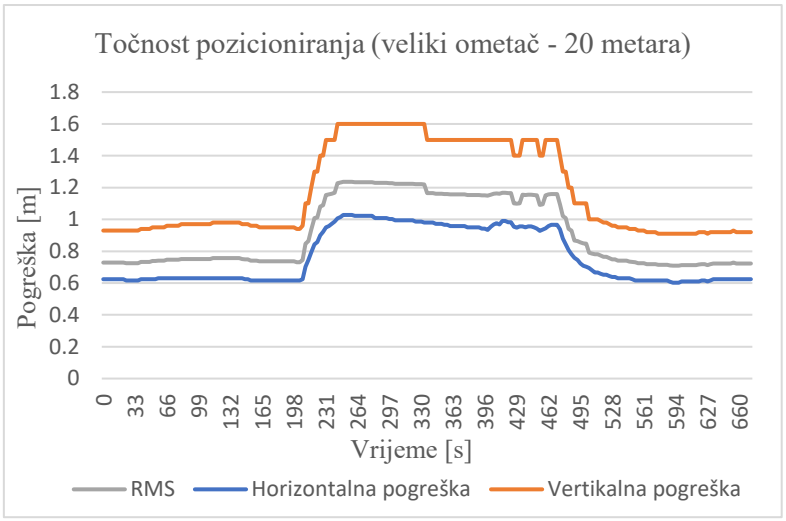


Slika 80. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, 50 m)

Na 20 metara udaljenosti od CHCNAV uređaja, veliki ometač ne pokazuje utjecaj na broj opažanih satelita i DOP (Slika 81). Slika 82 prikazuje točnost pozicioniranja tijekom sesije, te je vidljivo smanjenje točnosti dok je ometač uključen, sa 0,7 metara na 1,2 metra.

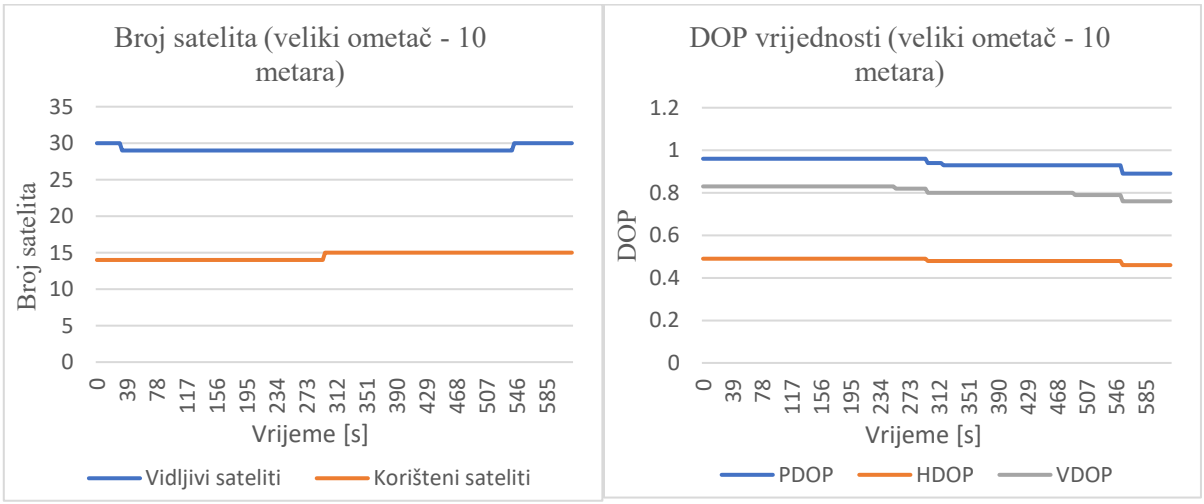


Slika 81. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, 20 m)

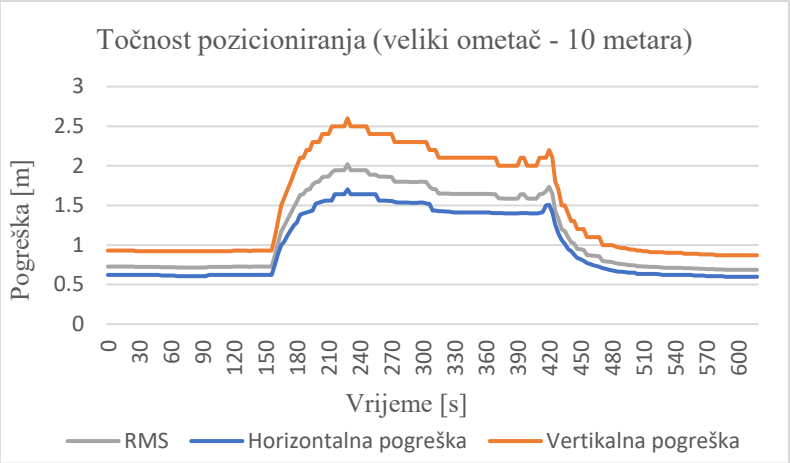


Slika 82. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, 20 m)

Niti na udaljenosti od 10 metara između ometača i CHCNAV uređaja, veliki ometač ne pokazuje utjecaj na broj opažanih satelita i DOP (Slika 83). Dok je ometač uključen točnost mjerenja je smanjena, kao što prikazuje Slika 84, te srednja kvadratna pogreška pozicioniranja doseže 2 metra.



Slika 83. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, 10 m)

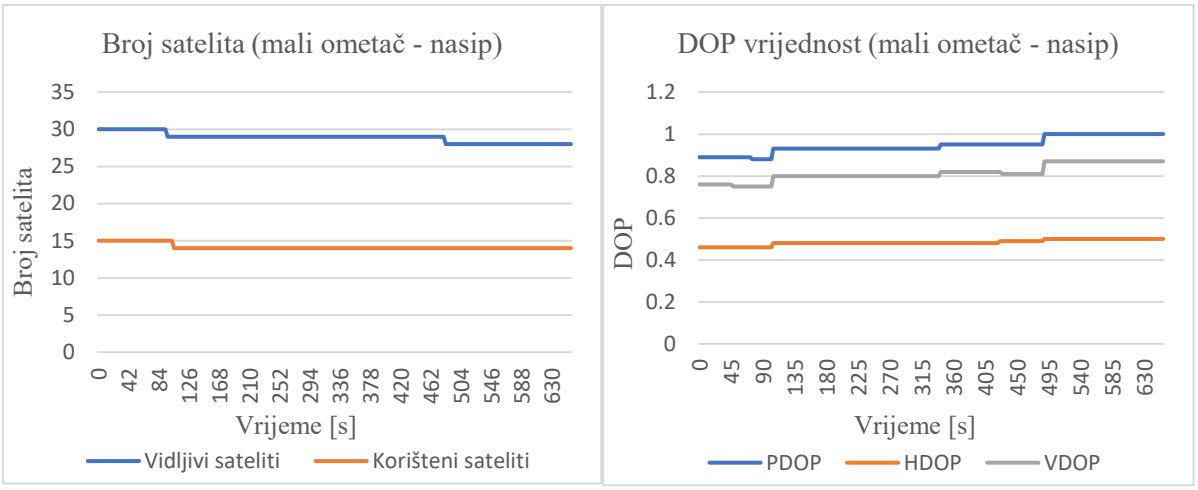


Slika 84. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, 10 m)

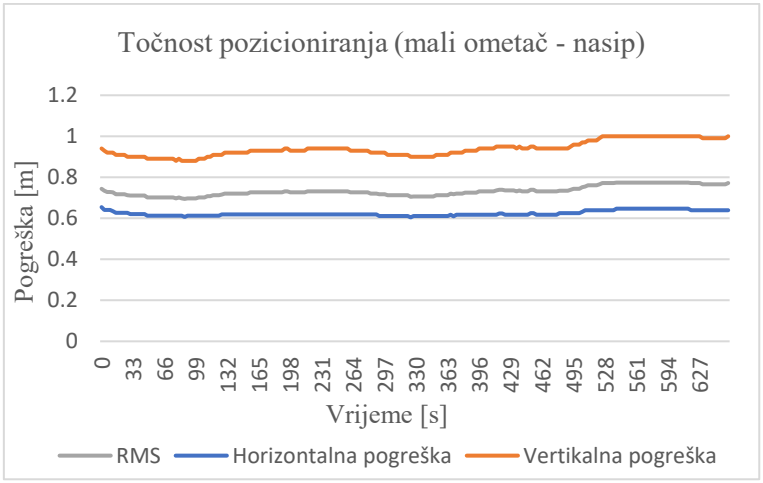
Utjecaj malog ometača na uređaj CHCNAV vidljiv je već na 220 metara udaljenosti, no unatoč tome, čak i na 10 metara udaljenosti uređaja i malog ometača, uređaj i dalje uspješno opaža većinu satelita. Povećanje utjecaja ometača, približavanjem ometača uređaju nakon svake sesije, najbolje je vidljivo na grafovima koji prikazuju točnost pozicioniranja. Tako na 220 metara udaljenosti srednja kvadratna pogreška pozicioniranja doseže 0,8 metara, na 100 metara udaljenosti doseže 0,9 metara, na 50 metara udaljenosti 1,0 metar, te na 20 i 10 metara udaljenosti doseže 1,6 metara.

Veliki ometač ne utječe na broj opažanih satelita niti vrijednosti DOP čak niti na 10 metara udaljenosti od CHCNAV uređaja. Utjecaj ometača je ipak vidljiv iz grafova točnosti pozicioniranja. Od 220 metara do 10 metara udaljenosti velikog ometača do prijemnika, srednje kvadratne pogreške redom dosežu 0,8 metara, 0,7 metara, 0,9 metara, 1,2 metra te 2,0 metra. Stoga, oba ometača nemaju dovoljno snažan utjecaj na CHCNAV uređaj da potpuno blokiraju GNSS signale, no točnost pozicioniranja ipak je smanjena.

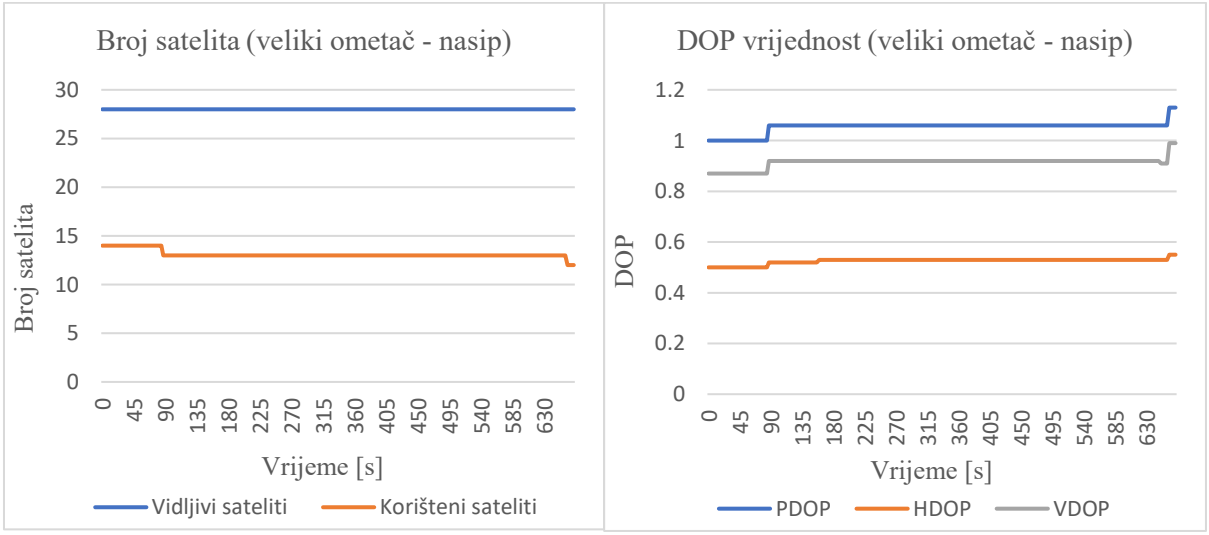
Preostaje još ispitati postoji li utjecaj ometača na uređaj CHCNAV, ukoliko se između ometača i uređaja nalazi nasip. Slika 85 prikazuje broj satelita i DOP, a Slika 86 točnost pozicioniranja pod utjecajem malog ometača koji se nalazi s druge strane nasipa. Isto tako Slika 87 prikazuje broj satelita i DOP, te Slika 88 točnost pozicioniranja pod utjecajem velikog ometača iza nasipa. Djelovanje ometača nije vidljivo niti na jednom od grafova stoga je zaključeno da je utjecaj minimalan ili nepostojeći.



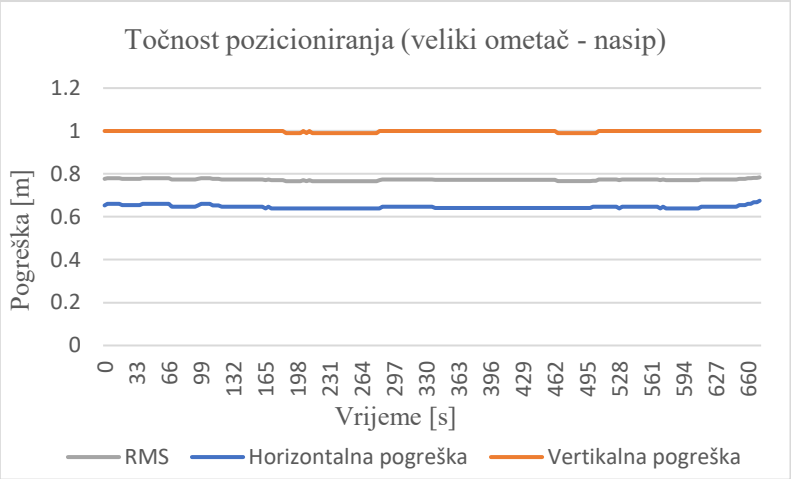
Slika 85. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, nasip)



Slika 86. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, nasip)



Slika 87. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, nasip)



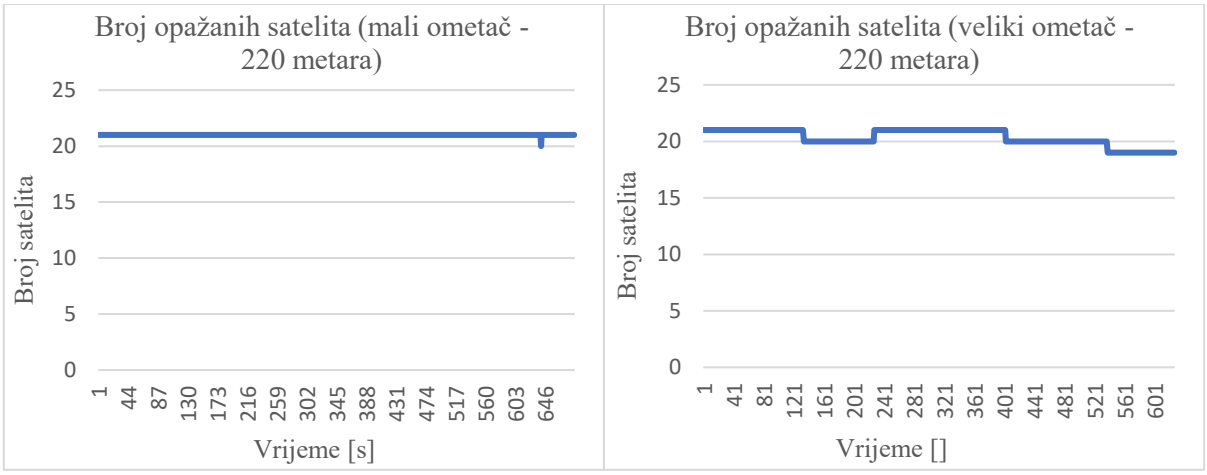
Slika 88. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, nasip)

6.3. Opažanje INS/GNSS uređaja

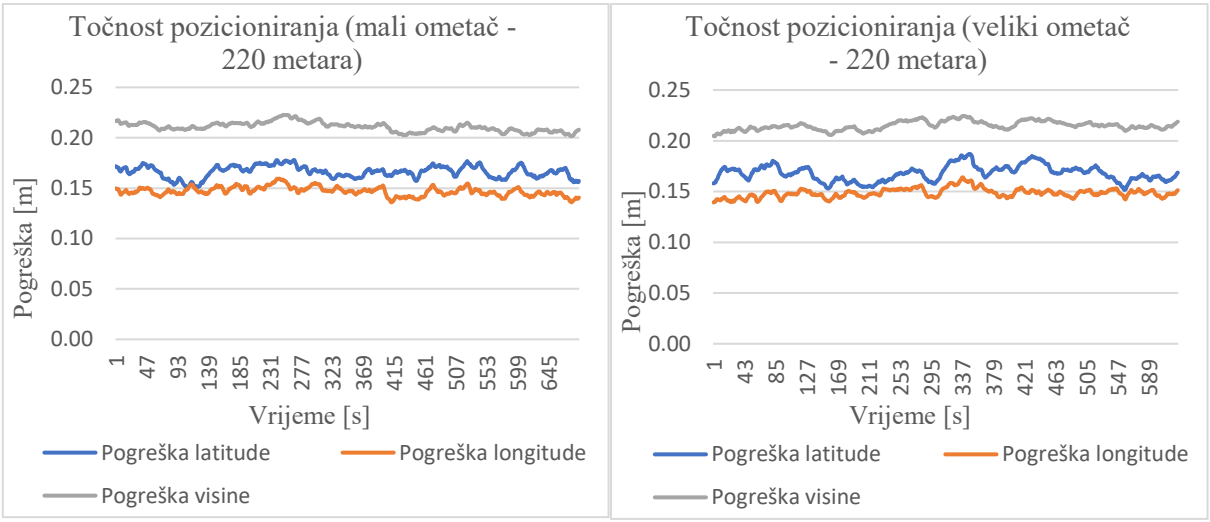
Ispitivanje utjecaja ometača na INS/GNSS uređaj Spatial provodi se istovremeno s ispitivanjima utjecaja ometača na precizne geodetske i GNSS/GIS uređaje. Trajanje sesija je 10 minuta, a ometač je uključen od treće do sedme minute. Uređaj koristi vanjsku antenu, a elevacijsku masku nije moguće postaviti. Uređaj opaža GPS, GLONASS i BeiDou satelite. Utjecaj ometača je ispitan na udaljenostima 220, 100, 50, 20 i 10 metara od INS/GNSS uređaja, te na udaljenosti 50 metara iza nasipa. INS/GNSS Spatial uređaj spaja se na računalo putem USB ulaza, a kontrolira se putem softvera *Spatial Manager 5.8*. Nakon konvertiranja datoteke opažanja u *.csv* datoteku, dostupni su podaci GNSS opažanja, kao što su koordinate, broj vidljivih satelita, točnost pozicioniranja i DOP.

Sljedeći grafovi prikazuju broj satelita koje opaža uređaj Spatial pod utjecajem ometača te točnost pozicioniranja tijekom svake sesije. Broj opažanih satelita na 220 metara udaljenosti od ometača prikazuje Slika 89, a točnost pozicioniranja Slika 90. Na ovoj udaljenosti utjecaj ometača nije vidljiv niti na jednom grafu. Nadalje, na udaljenosti od 100 metara broj satelita prikazuje Slika 91, a točnost pozicioniranja Slika 92. Utjecaj također nije vidljiv. Na 50 metara udaljenosti broj satelita prikazuje Slika 93, a točnost pozicioniranja Slika 94. Pod utjecajem malog ometača na grafu je vidljivo povećanje pogreške pozicioniranja na razini centimetra po svakoj osi, a kako je prosječna točnost uređaja, kada je ometač ugašen, približno 15 do 20 cm po osi, utjecaj je zanemariv. Na 20 metara udaljenosti broj opažanih satelita prikazuje Slika 95, a točnost pozicioniranja Slika 96. Utjecaj malog ometača vidljiv je, kao i na 50 metara udaljenosti, samo na grafu točnosti opažanja pod utjecajem malog ometača. Pad točnosti je nekoliko centimetara po svakoj osi. Na 10 metara udaljenosti ometača i uređaja Spatial, broj satelita prikazuje Slika 97, a točnost pozicioniranja Slika 98. Tek u ovom slučaju vidljiv je utjecaj oba ometača. Mali ometač uzrokuje pad točnosti pozicioniranja od 5 do 10 centimetara po osi, dok veliki uzrokuje trostruko manje. Slika 99 prikazuje utjecaj ometača na broj opažanih

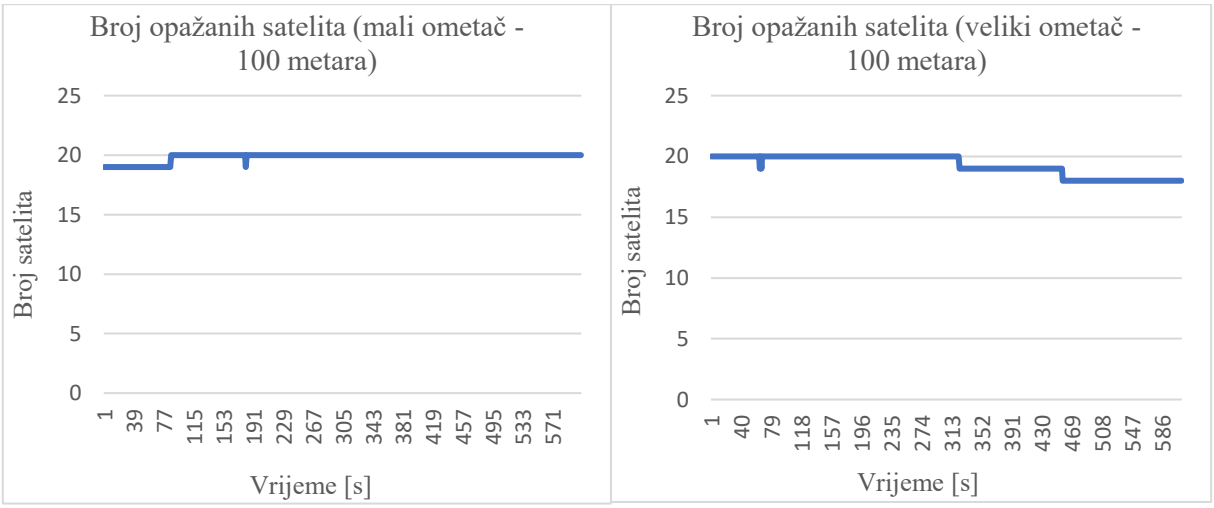
satelita, a Slika 100 utjecaj na točnost pozicioniranja kada se ometač nalazi s druge strane nasipa, na udaljenosti od 50 metara. Utjecaj nije zapažen na grafovima.



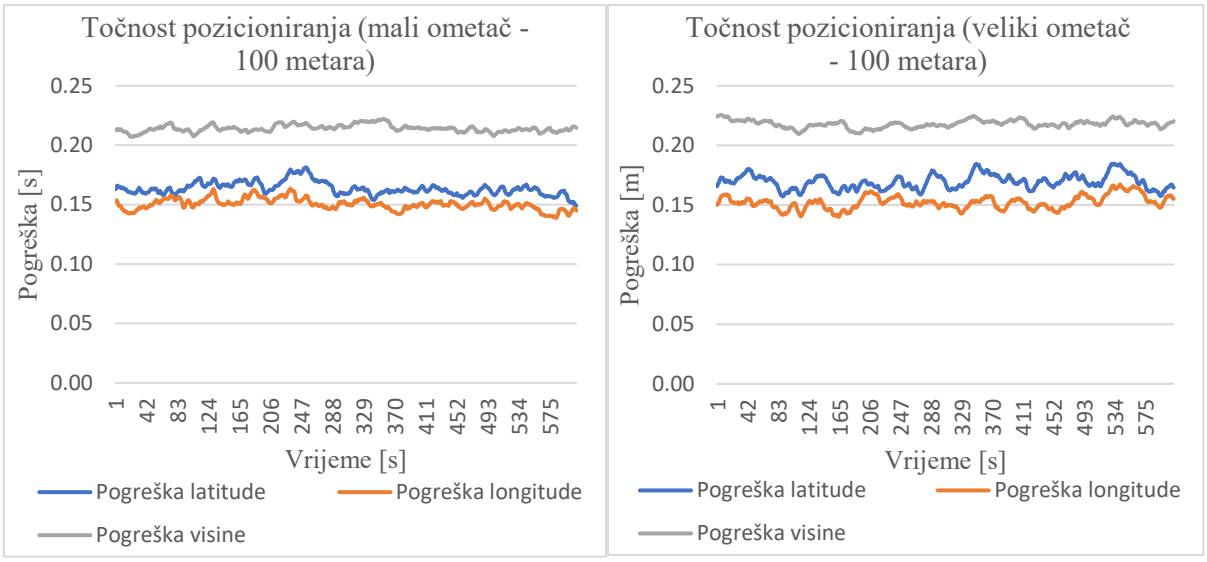
Slika 89. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (220 m)



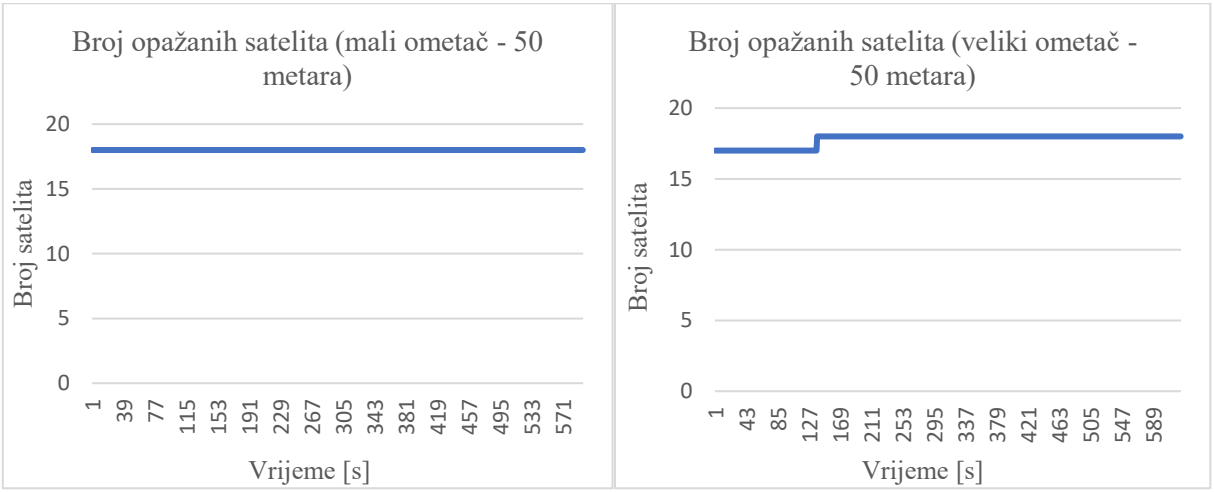
Slika 90. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial(220 m)



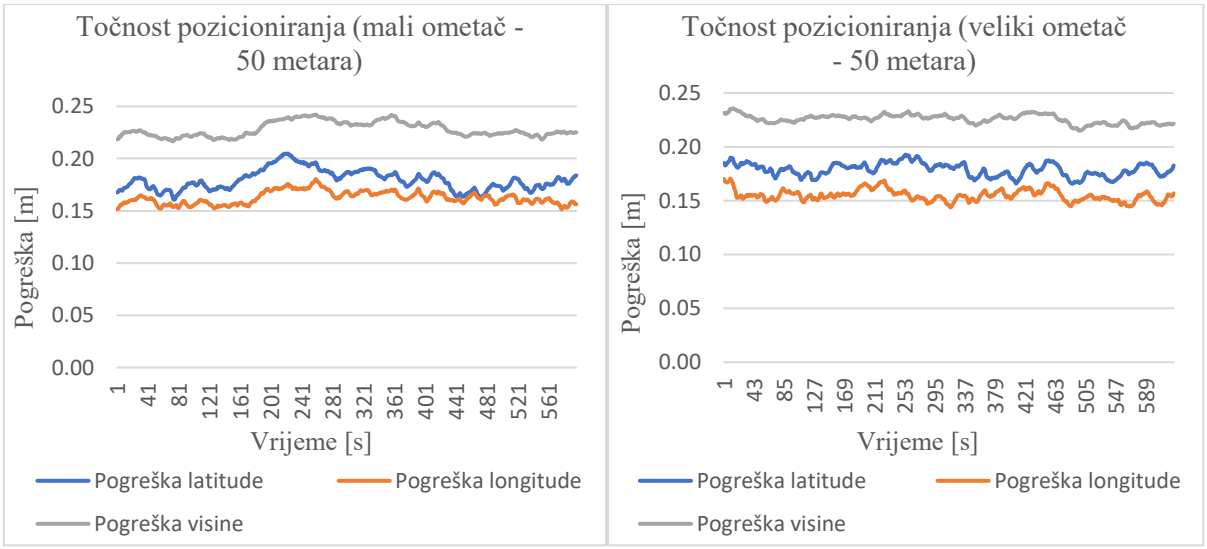
Slika 91. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (100 m)



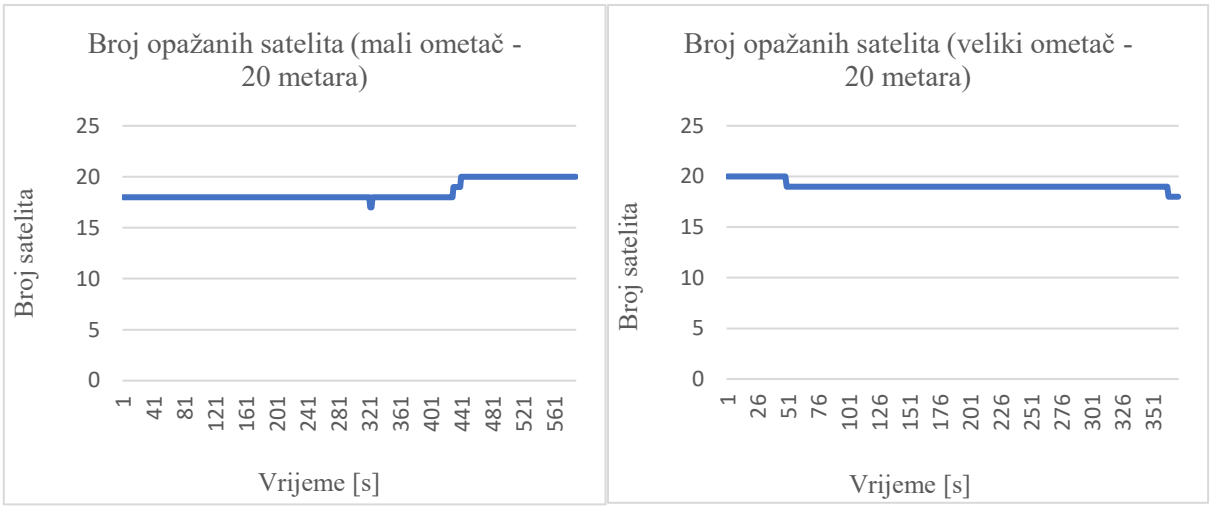
Slika 92. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial (100 m)



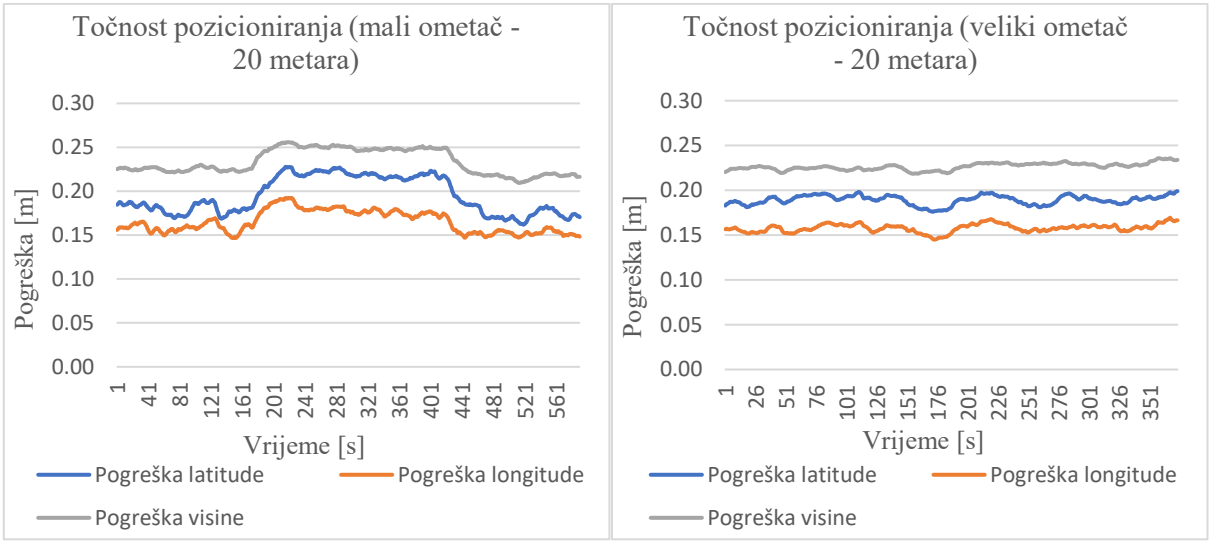
Slika 93. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (50 m)



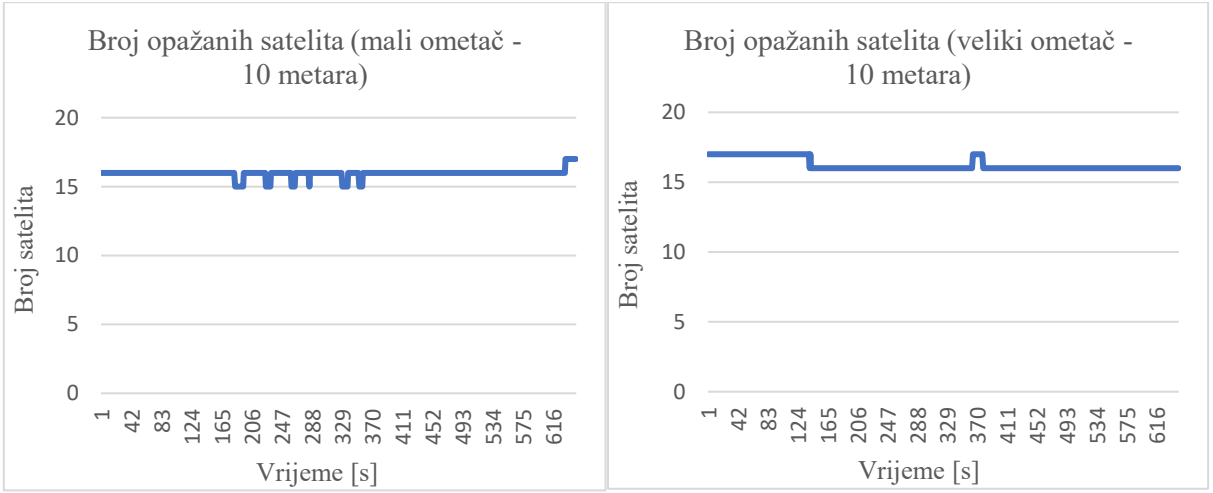
Slika 94. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial (50 m)



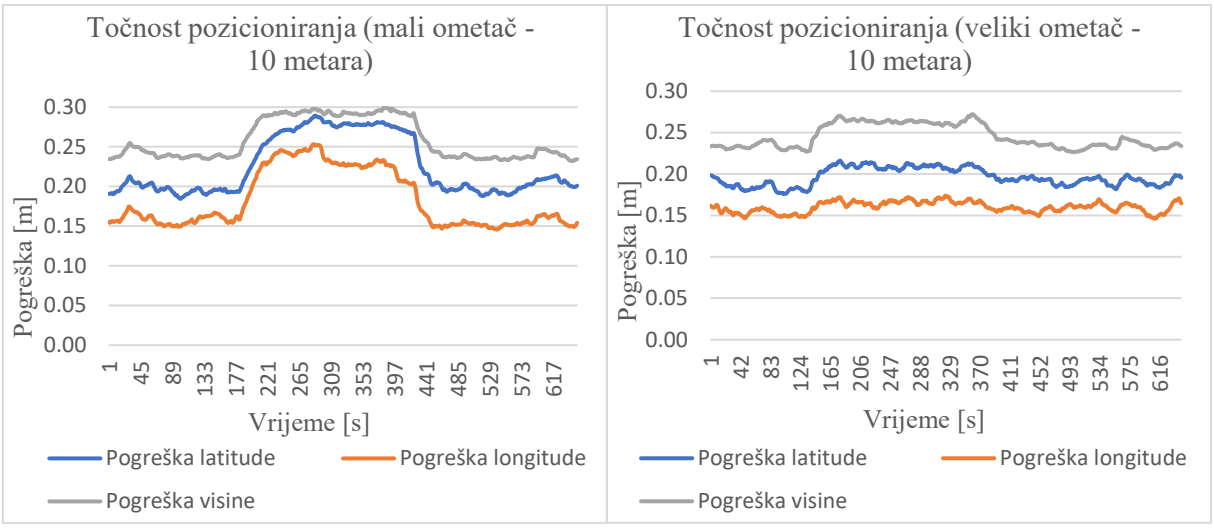
Slika 95. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (20 m)



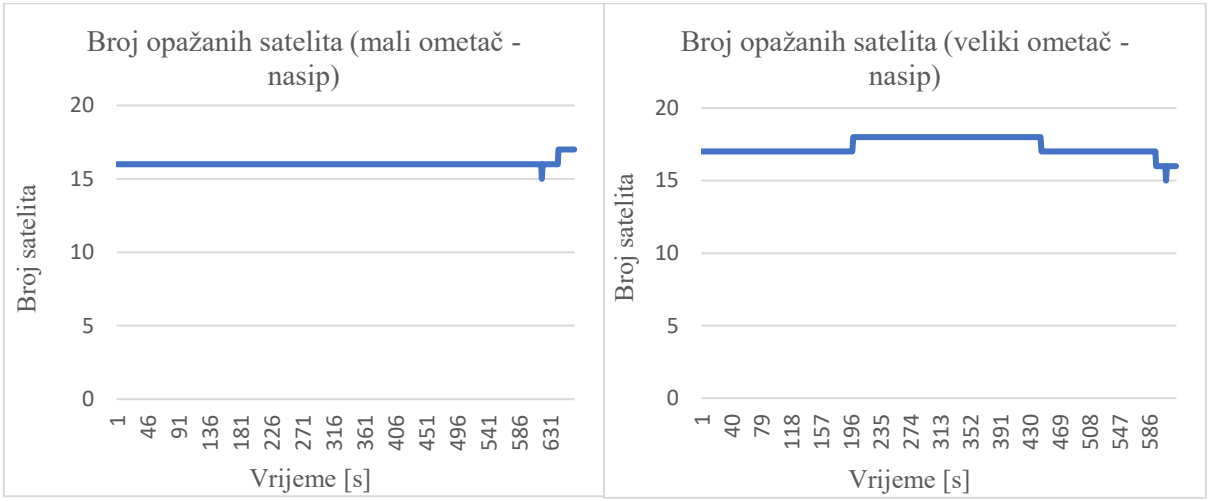
Slika 96. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial (20 m)



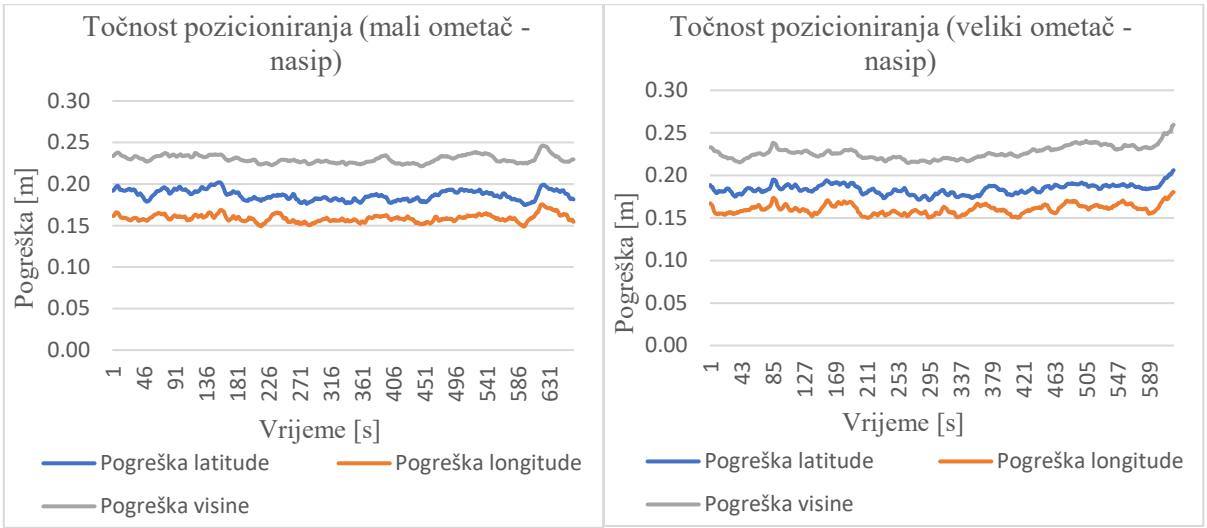
Slika 97. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (10 m)



Slika 98. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial (10 m)



Slika 99. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (nasip)

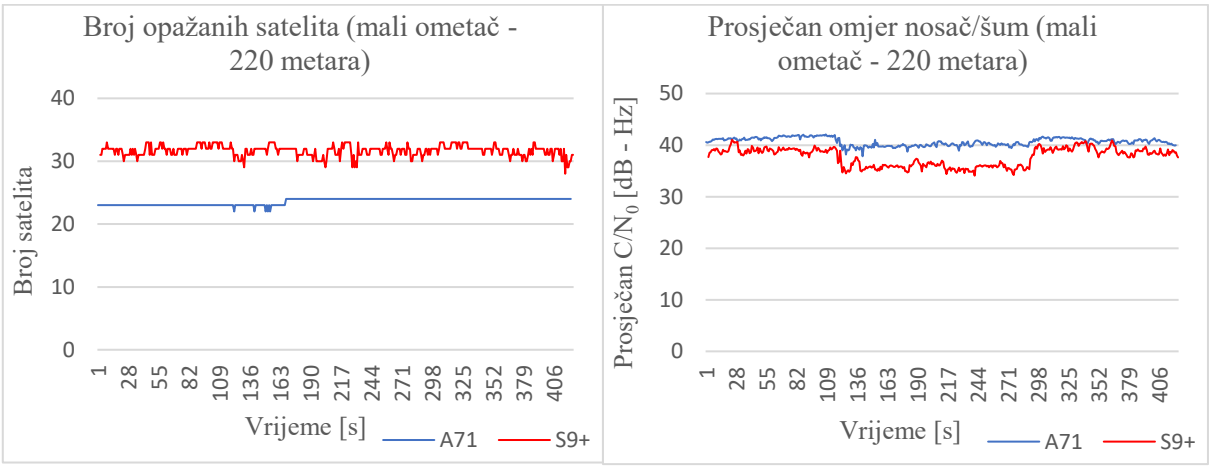


Slika 100. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial (nasip)

6.4. Opažanje mobilnih telefona

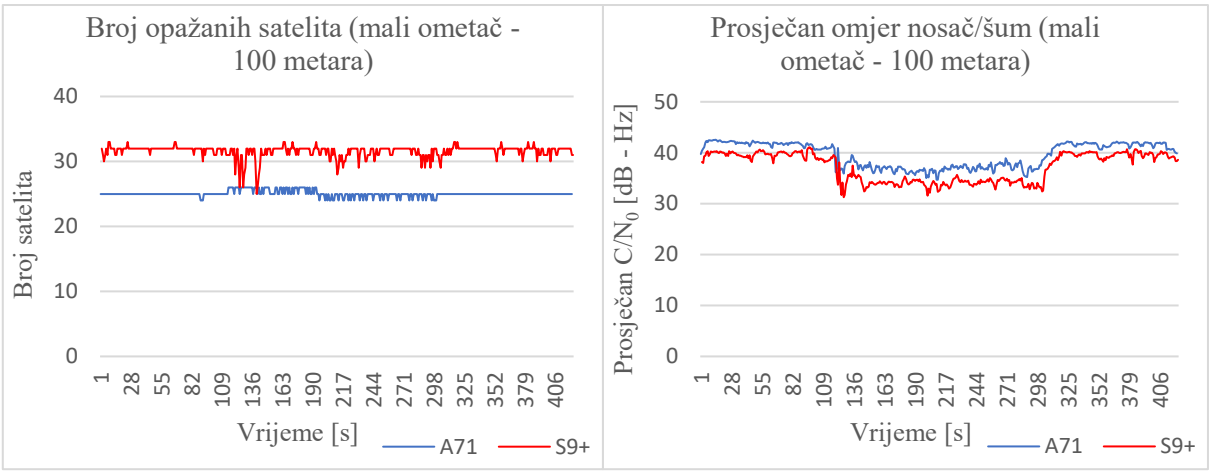
Utjecaj ometača na GNSS opažanja mobilnih telefona ispitan je 18. svibnja 2021. godine, od 9 do 11 sati. Prvi uređaj je Samsung Galaxy S9+, a drugi je Samsung Galaxy A71. Uređaji su postavljeni na stativ i pokrenuta je mobilna aplikacija *Geo++ RINEX logger* koja neobrađena opažanja GNSS prijemnika pametnog telefona pohranjuje u RINEX datoteku. Nakon pokretanja aplikacije potrebno je neko vrijeme kako bi uređaj prikupio sve signale vidljivih satelita. Pametni telefoni prikupljaju samo L1, odnosno B1 signale satelita svih konstelacija. Elevacijsku masku nije moguće postaviti. Ometači se nalaze na udaljenosti od 220, 100, 50, 20, 10 i 2 metra od uređaja. Sesije opažanja traju sedam minuta, a ometač je uključen od druge do pete minute. Interval opažanja je sekunda. Nakon svake sesije RINEX datoteka pohranjena je u unutarnju memoriju uređaja. RINEX podatke nije moguće naknadno obraditi u TBC softveru, no moguće je u programu Microsoft Excel, pomoću kojeg su izrađeni grafički prikazi opažanih satelita i prosječnog omjera nosač/šum za sve opažane sesije. Podatci opažanja dva pamet telefona prikazani su na istim grafovima.

Slika 101 prikazuje broj satelita i prosječnu snagu dolaznih signala koje opažaju pametni telefoni udaljeni 220 metara od malog ometača. Slika također prikazuje i prosječan omjer nosač/šum signala L1 nosača u sesiji. Iako su oba pametna telefona istog proizvođača, već na prvom grafu vidljivo je da se GNSS prijemnici u telefonima razlikuju. Broj satelita koje opaža uređaj S9+ konstantno se mijenja, no većinom u rasponu od 30 do 34, dok je uređaj A71 gotovo konstantno opaža 23, odnosno 24 satelita. Na drugom grafu vidljiv je prosječan omjer nosač/šum, odnosno prosječna snaga svih signala koje uređaj opaža. Pod utjecajem maloga ometača prosječna snaga primljenih GNSS signala, kod oba uređaja, neznatno se smanjuje, dok sa grafa opažanih satelita nije jasno vidljivo postoji li utjecaj ometača.



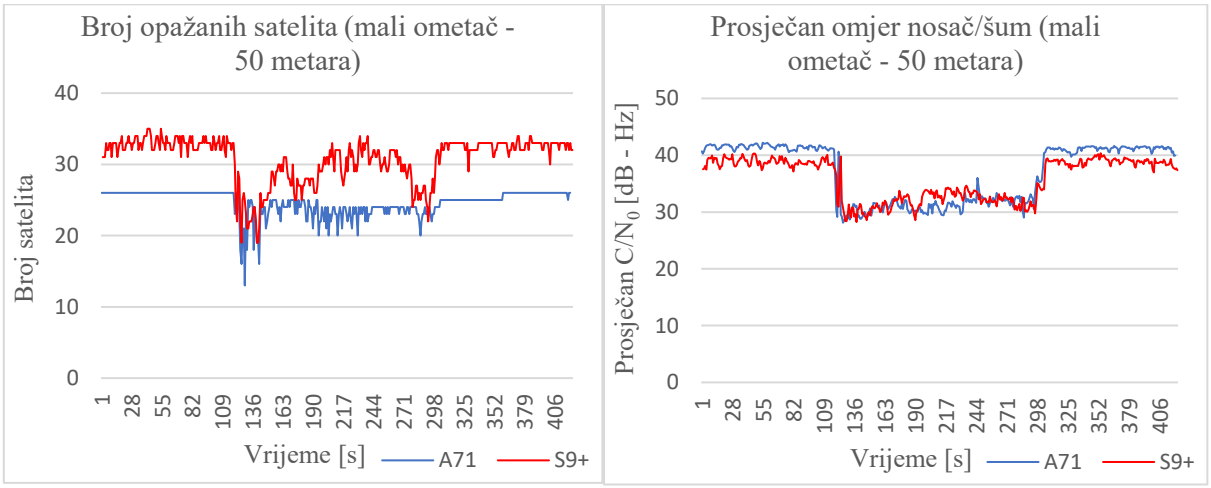
Slika 101. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 220 m)

Slika 102 prikazuje broj satelita i prosječnu snagu dolaznih signala koje opažaju pametni telefoni udaljeni 100 metara od malog ometača. Uređaj S9+ kratkotrajno gubi signal nekoliko satelita prilikom uključenja ometača, no većinu sesije opaža približno 32 satelita. Uređaj A71 pod utjecajem ometača opaža 25 satelita, no neprestano gubi signal jednoga od satelita. Prosječna snaga primljenih signala vidljivo se smanjuje, no utjecaj ometača nije naročito značajan.



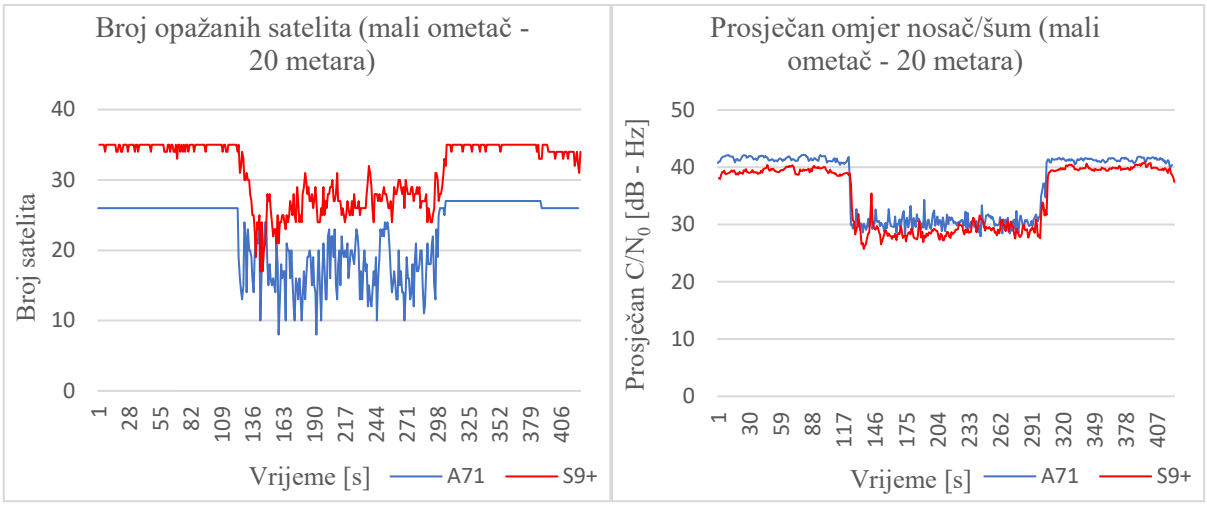
Slika 102. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 100 m)

Slika 103 prikazuje broj satelita i prosječne omjere nosač/šum, koje opažaju pametni telefoni udaljeni 50 metara od malog ometača. Broj satelita koje opaža uređaj S9+ vidljivo se smanjuje djelovanjem ometača. S prosječno 33 opažana satelita, broj na trenutke pada i na 20. Isto tako, uređaj A71 opaža od 20 do 25 satelita, a na trenutak i 13, dok je mali ometač uključen. Djelovanjem maloga ometača, prosječan omjer nosač/šum signala vidljivih satelita pada s približno 40 dB-Hz na 30 dB-Hz tijekom vremena kada je ometač uključen. Na udaljenosti 50 metara od ometača, djelovanje ometača je vidljivo no nije značajno.



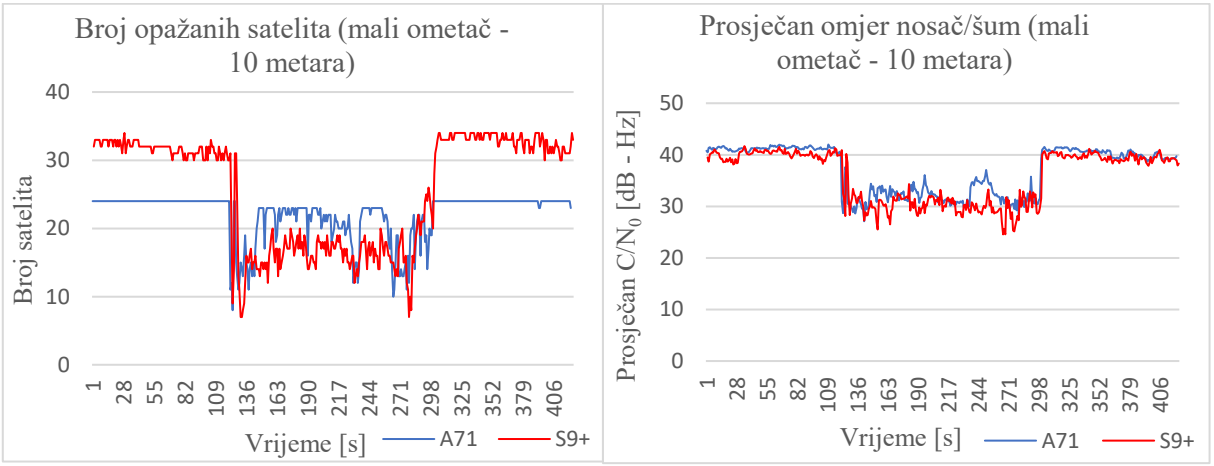
Slika 103. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 50 m)

Slika 104 prikazuje broj satelita i prosječnu snagu dolaznih signala koje opažaju pametni telefoni udaljeni 20 metara od malog ometača. Broj satelita opažanih pametnim telefonima, kod oba ometača konstantno se mijenja. Uređaj S9+ opaža između 17 i 32 satelita, dok uređaj A71 opaža između 8 i 26 satelita. Utjecaj je vidljiv i na grafovima snage dolaznih signala. Kao i na 50 metara udaljenosti od maloga ometača, na 20 metara udaljenosti prosječan omjer nosač/šum signala vidljivih satelita pada s približno 40 dB-Hz na 30 dB-Hz tijekom vremena kada je ometač uključen.



Slika 104. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 20 m)

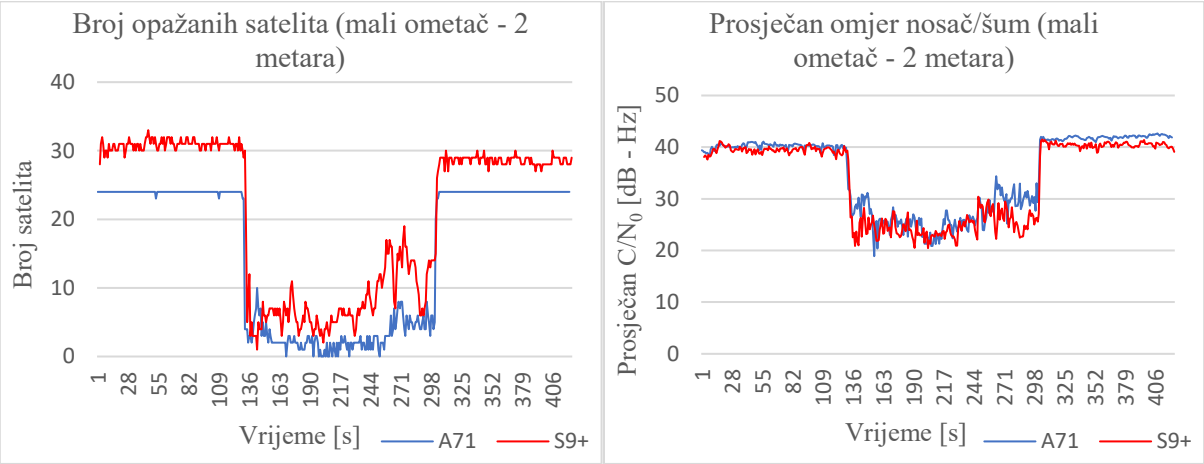
Slika 105 prikazuje broj satelita i prosječnu snagu dolaznih signala koje opažaju pametni telefoni udaljeni 10 metara od malog ometača. Na grafu opažanih satelita vidljivo je da mali ometač ima veći utjecaj na uređaj Samsung Galaxy S9+, koji gubi signal više od pola početno opažanih satelita, a na trenutke pada i na samo sedam vidljivih. Uređaj Samsung Galaxy A71 bez utjecaja ometača konstantno opaža 24 satelita, no uključenjem ometača broj se na trenutke smanjuje i na osam vidljivih. Ovo je prvi i jedini slučaj kada je ometač uključen, a uređaj A71 opaža veći broj satelita od S9+ uređaja. Djelovanje malog ometača pokazuje prilično značajan utjecaj na oba pametna telefona, no tijekom cijele sesije broj opažanih satelita dovoljan je za uspješno pozicioniranje.



Slika 105. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 10 m)

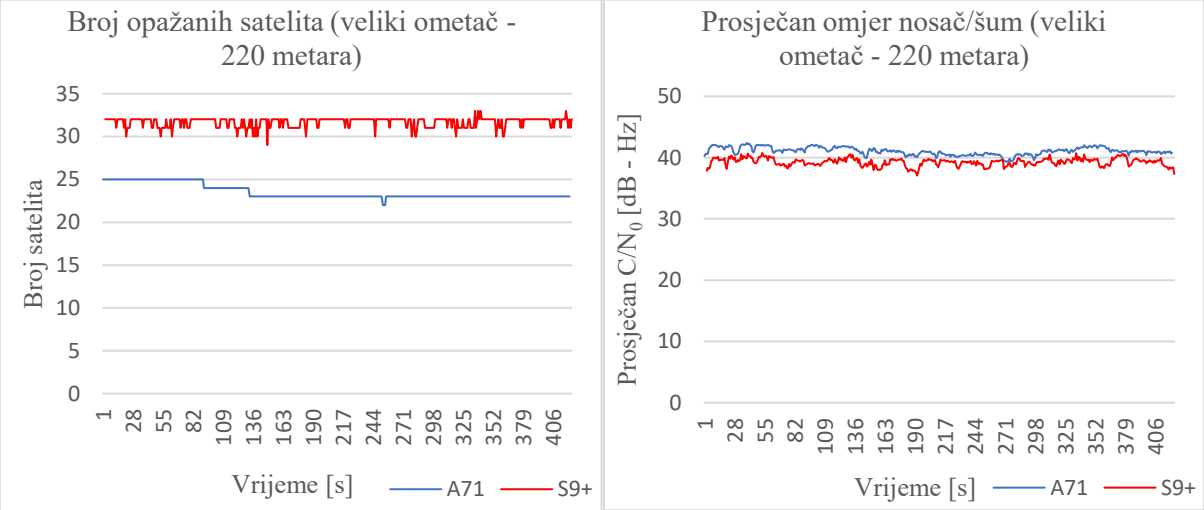
Na udaljenosti pametnih telefona dva metra od maloga ometača, broj satelita značajno opada. Slika 106 prikazuje da uređaj Samsung Galaxy S9+ bez ometača opaža oko 30 satelita, a uređaj Samsung Galaxy A71 opaža 24 satelita. Uključenjem malog ometača, oba uređaja gube signale većeg broja satelita. Uređaj S9+ na trenutak opaža samo jedan ili dva satelita, no ipak opaža dovoljan broj satelita za uspješno pozicioniranje tijekom ostatka sesije. To nije slučaj kod uređaja A71 koji često gubi signale svih satelita, a većinu vremena broj vidljivih satelita iznosi tri ili manje. Na drugom grafu vidljivo je da snaga signala nekolicine preostalih vidljivih

satelita također značajno opada. Stoga, tek na dva metra udaljenosti od pametnih telefona, mali ometač pokazuje vrlo snažan utjecaj na način da povremeno uzrokuje i nemogućnost pozicioniranja.



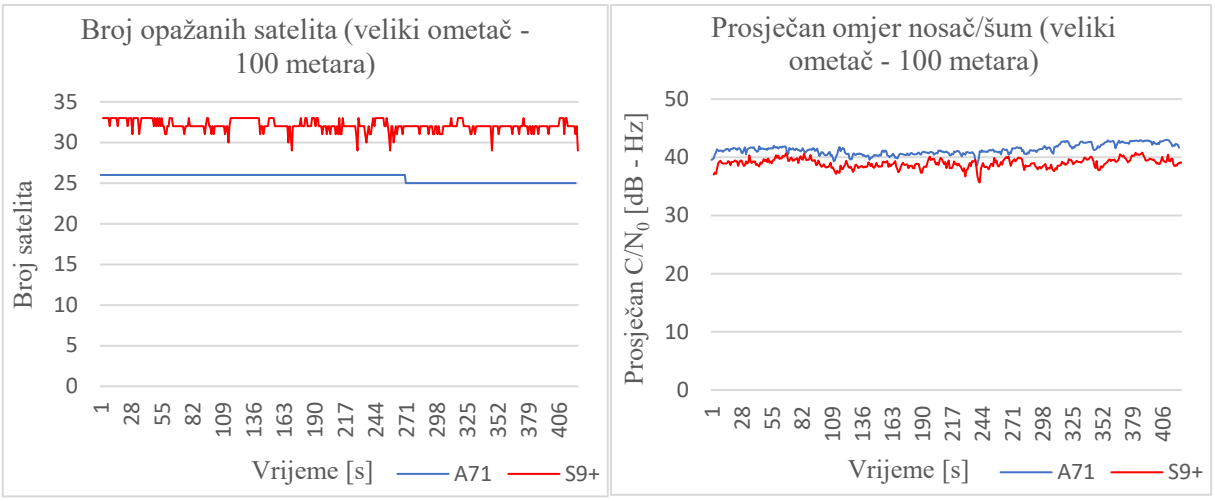
Slika 106. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 2 m)

Slika 107 prikazuje broj satelita i prosječnu snagu dolaznih signala koje opažaju pametni telefoni udaljeni 220 metara od velikog ometača. Promatrajući oba grafa utjecaj ometača nije vidljiv.



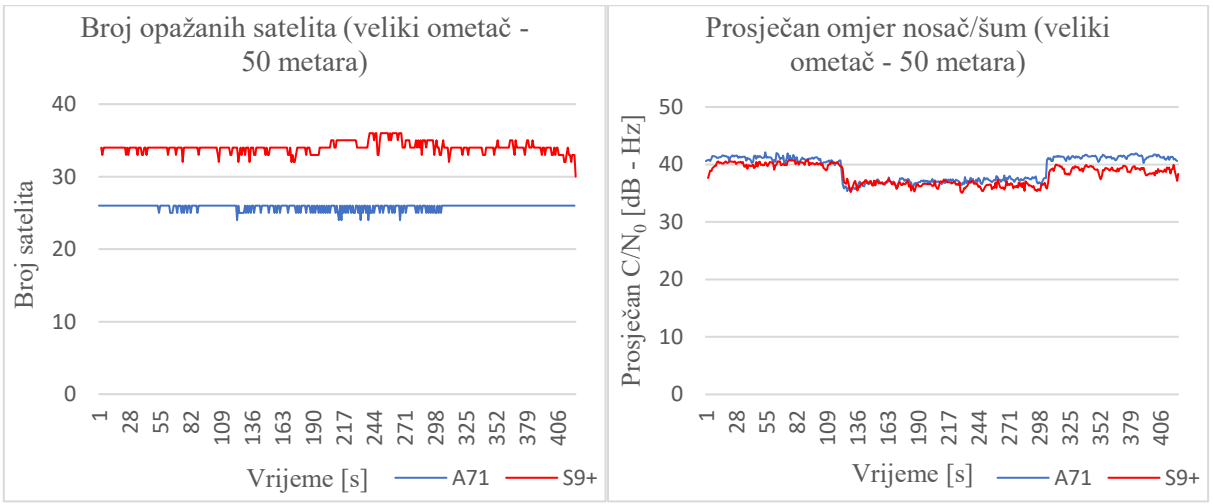
Slika 107. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 220 m)

Slika 108 prikazuje broj satelita i prosječnu snagu dolaznih signala koje opažaju pametni telefoni udaljeni 100 metara od velikog ometača. Kao i na 220 metara udaljenosti, utjecaj nije vidljiv na grafovima.



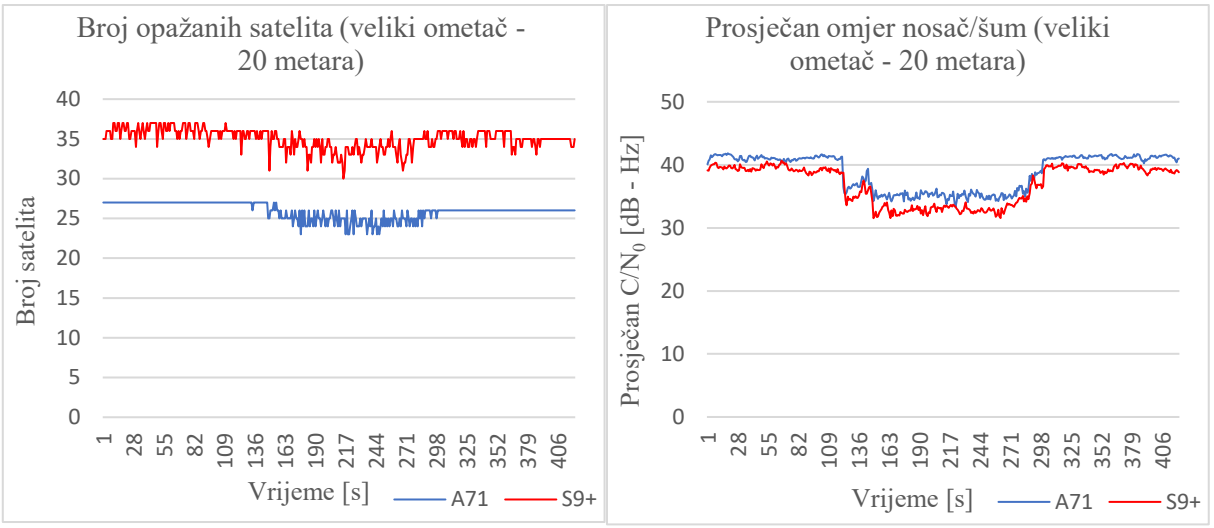
Slika 108. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 100 m)

Slika 109 prikazuje broj satelita i prosječnu snagu dolaznih signala koje opažaju pametni telefoni udaljeni 50 metara od velikog ometača. Minimalan utjecaj ometača na oba pametna telefona vidljiv je kao neznatan pad prosječne snage opažanih signala satelita.



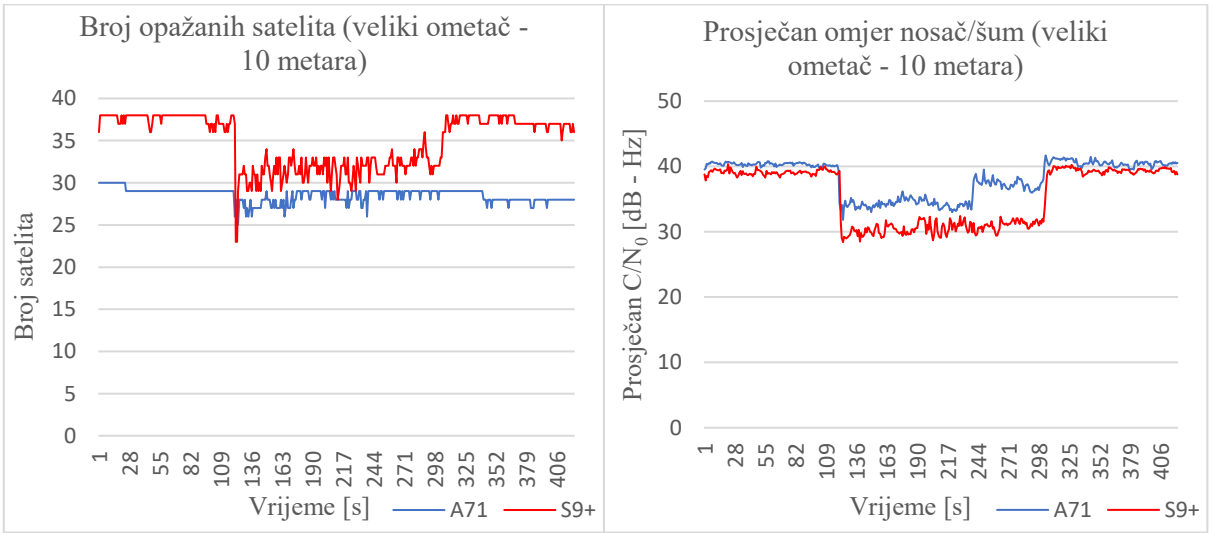
Slika 109. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 50 m)

Slika 110 prikazuje broj satelita i prosječnu snagu dolaznih signala koje opažaju pametni telefoni udaljeni 20 metara od velikog ometača. Samsung Galaxy S9+ približno opaža 36 satelita, a Samsung Galaxy A71 opaža 27, no kada je ometač uključen oba uređaja gube signale približno tri satelita što nije značajan gubitak. Vidljiv je i pad prosječne snage opažanih signala satelita, no čak ni na 20 metara udaljenosti od pametnih telefona utjecaj velikog ometača nije značajan.



Slika 110. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 20 m)

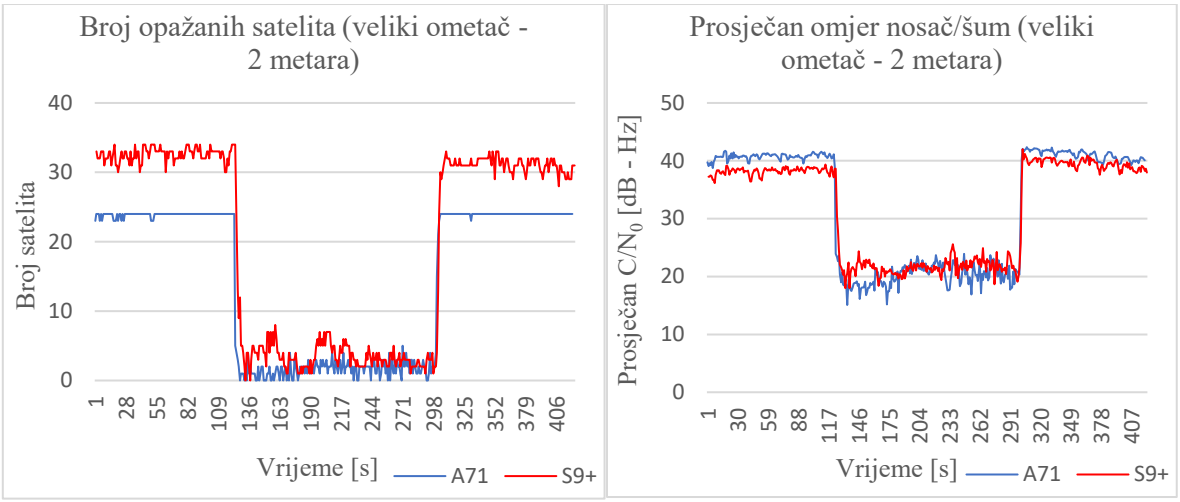
Slika 111 prikazuje broj satelita i prosječnu snagu dolaznih signala koje opažaju pametni telefoni udaljeni 10 metara od velikog ometača. Od 36 vidljivih satelita opažanih uređajem Samsung Galaxy S9+, ometač uzrokuje trenutni pad broja satelita na 23, a zatim neprestanu promjenu broja vidljivih satelita između 29 i 34. Samsung Galaxy A71 opaža 29 satelita, a pod utjecajem ometača broj vidljivih satelita povremeno pada i na 26. Utjecaj maloga ometača na uređaj S9+ snažniji je nego na uređaj A71, unatoč tome što S9+ opaža više satelita tijekom cijele sesije. To pokazuje i graf prosječne snage primljenih signala.



Slika 111. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 10 m)

Na dva metra udaljenosti od velikog ometača, oba pametna telefona gube signale velikog broja satelita što prikazuje Slika 112. Samsung Galaxy S9+ gubi signale svih satelita prilikom uključenja ometača, no nakon toga broj povremeno raste i do 8 opažanih satelita. Samsung Galaxy A71 vrlo učestalo gubi signale svih satelita, no povremeno uspijeva opažati do 4 satelita. Na drugom grafu vidljivo je da snaga signala nekolicine preostalih vidljivih satelita također značajno opada, i to sa 40 dB-Hz na 20 dB-Hz. Utjecaj velikog ometača na pametne telefone

udaljene 2 metra prilično je snažan i većinu vremena uzrokuje nemogućnost uspješnog pozicioniranja.



Slika 112. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 2 m)

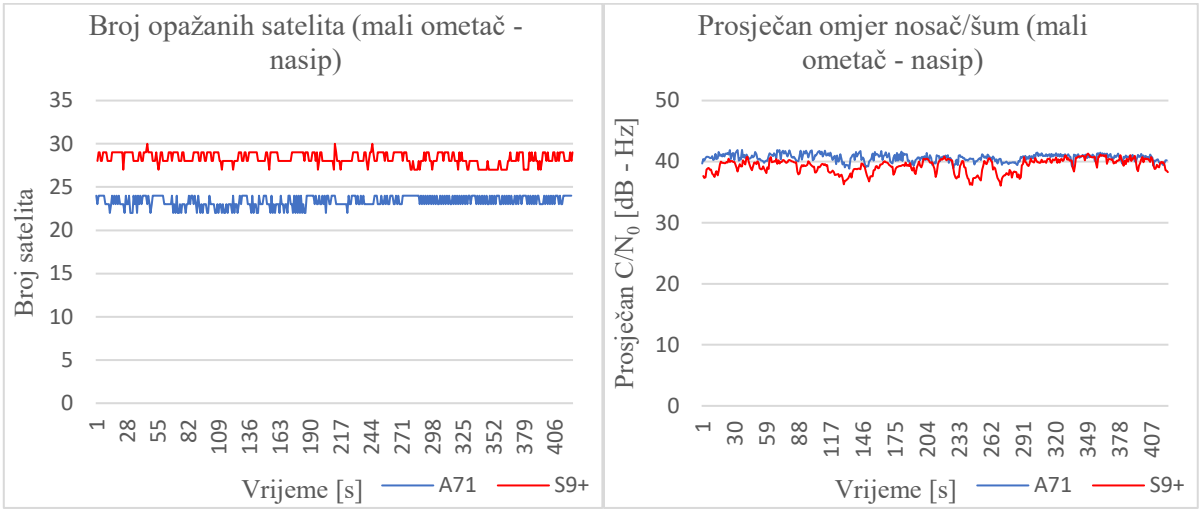
Razlika GNSS prijemnika pametnih telefona Samsung Galaxy S9+ i Samsung Galaxy +A71 vidljiva je prilikom svih ispitivanja utjecaja ometača. Kada ometač nije uključen, uređaj Samsung Galaxy S9+ gotovo uvijek opaža barem šest satelita više od uređaja Samsung Galaxy A71. Isto je tako vidljivo da je prosječna snaga opažanih signala gotovo uvijek neznatno veća kod opažanja uređaja A71, što potvrđuje da uređaj ne opaža signale satelita slabije snage i stoga je broj opažanih satelita ovoga uređaja manji kako je već spomenuto.

Utjecaj malog ometača na GNSS prijemnike pametnih telefona zamjetljiv je već na 220 metara udaljenosti od ometača, jer je na grafu prosječne snage dolaznih signala vidljiv neznatan pad tijekom rada ometača. Približavanjem maloga ometača uređajima broj opažanih satelita i njihova prosječna snaga postepeno se smanjuju. Na dva metra udaljenosti ometača od uređaja, ometač djeluje vrlo snažno. Prema broju opažanih satelita, uređaj S9+ i dalje ima mogućnost pozicioniranja tijekom dužega perioda ove sesije kada je ometač uključen, kako je broj satelita veći ili jednak četiri. Međutim, to nije slučaj kod uređaja A71, kako je tijekom dužeg dijela sesije, kada je ometač uključen, broj opažanih satelita manji od četiri.

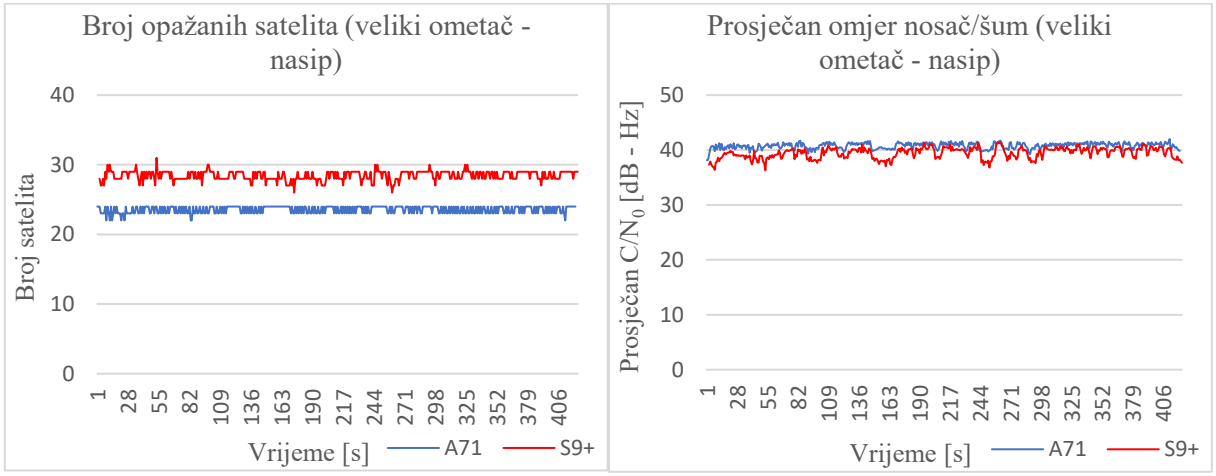
Na međusobno istim udaljenostima između ometača i pametnih telefona, utjecaj malog ometača gotovo je uvijek vidno snažniji od utjecaja velikog ometača. Utjecaj velikog ometača na GNSS prijemnike pametnih telefona vidljiv je tek na 50 metara udaljenosti između velikog ometača i prijemnika. Približavanjem ometača prijemnicima njegov utjecaj raste, a na 2 metra udaljenosti od uređaja, veliki ometača djeluje snažnije na blokiranje signala satelita od maloga ometača. To pokazuje i graf opažanih satelita gdje pametni telefon Samsung Galaxy A71 gotovo čitavo vrijeme, dok je ometač uključen, opaža manje od četiri satelita, što znači da je pozicioniranje u blizini ometača onemogućeno. Samsung Galaxy S9+, pod utjecajem velikog ometača, na trenutak u potpunosti gubi signale satelita, no većinu sesije opaža između dva i osam satelita. Istraživanje pokazuje da je GNSS prijemnik uređaja Samsung Galaxy S9+, kao naprednije serije Samsungovih pametnih telefona, ipak u jednoj mjeri kvalitetniji prijemnik, otporniji na ometanje nego što je to Samsung Galaxy A71. Kao što je u teorijskom dijelu ovoga

rada navedeno, zbog različitih metoda filtriranja signala jeftini prijemnici masovne proizvodnje često su otporniji na *chirp* ometače nego profesionalni prijemnici, što je iz ovoga istraživanja moguće i zaključiti.

Ukoliko se ometači nalaze s druge strane nasipa, približno 50 metara od pametnih telefona, utjecaj oba ometača na broj opažanih satelita i prosječnu snagu primljenih signala ne postoji ili je minimalan, što je za mali ometač vidljivo na Slika 113, a za veliki na Slika 114.



Slika 113. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, nasip)



Slika 114. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, nasip)

7. STATIČKO OPAŽANJE SA OMETAČIMA U POKRETU

Ispitivanje utjecaja GNSS ometača u pokretu na uređaje Trimble R8, Trimble R12i, Topcon HiPer SR, Topcon GMS-2Pro, CHCNAV LT700H, INS/GNSS Spatial i pametni telefon Samsung Galaxy S9+ provedeno je 8. travnja 2021. od 10:00 do 10:30 sati po lokalnom vremenu (UTC + 2). Svi uređaji se nalaze na posebno izrađenom stativu koji se nalazi uz cestu, na istoj poziciji kao i kod statičkih opažanja sa ometačima u mirovanju. Mali ometač se nalazi u automobilu i napaja se putem utičnice od 12 V, dok je veliki ometač vezan za krov automobila, što je vidljivo sa slika u potpoglavlju 5.2.5 Automobil se kreće približno 30 km/h po putanji dugoj kilometar, koja je prikazana na Slika 115 crvenom bojom, gdje poziciju prijemnika prikazuje plava točka.

Slika 115. Prikaz putanje automobila i pozicije prijemnika

Nakon što je na svim uređajima pokrenuto opažanje, uključen je mali ometač i automobil se kreće po prikazanoj putanji, od istoka prema zapadu i natrag. Sveukupno je četiri prolaza ometača pokraj prijemnika, te se isto se ponavlja koristeći veliki ometač u drugoj sesiji.

7.1. Opažanje preciznih geodetskih uređaja

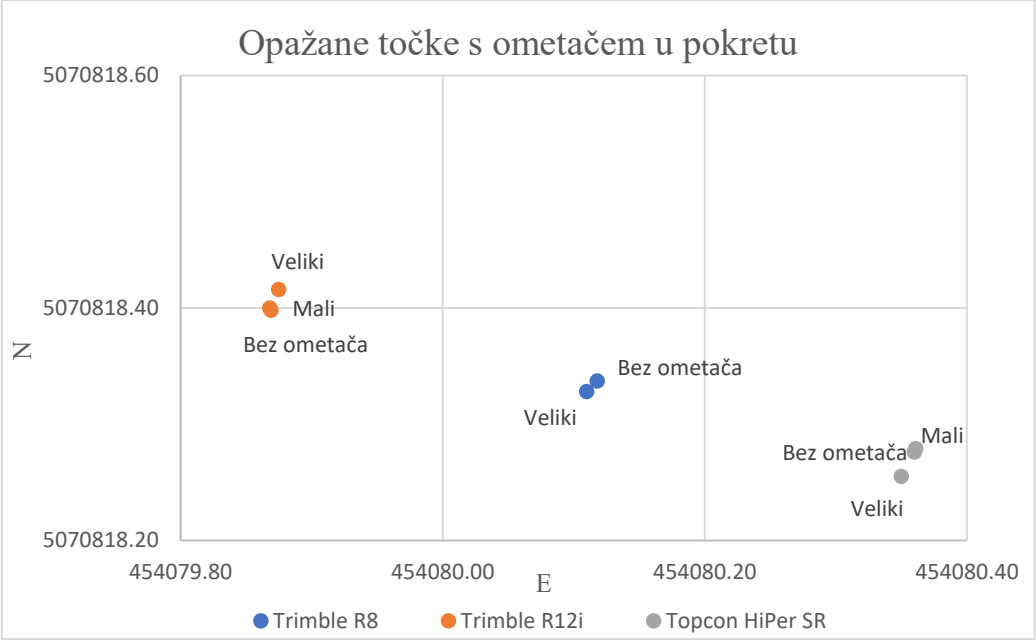
Ispitivanje utjecaja ometača u pokretu na precizne geodetske prijemnike Trimble R8, Trimble R12i i Topcon HiPer SR provedeno je u dvije sesije. U prvoj sesiji ispitan je utjecaj malog ometača, a u drugoj sesiji utjecaj velikog ometača. Interval pohrane statičkih opažanja je 5 sekundi za Trimble R8 i Topcon HiPer SR, a 2 sekunde za Trimble R12i. Elevacijska maska iznosi 5°. Važno je i napomenuti da uređaj Trimble R8 opaža samo GPS i GLONASS satelite, dok Trimble R12i i Topcon HiPer SR opažaju GPS, GLONASS, Galileo i BeiDou signale satelita.

Postupak konvertiranja neobrađenih opažanja geodetskih GNSS prijemnika u RINEX datoteke te naknadna obrada tih podataka u TBC softveru, isti su kao i kod statičkih opažanja kada je ometač u mirovanju, a detaljno su pojašnjeni u potpoglavlju 6.1

Tablica 16 prikazuje rezultate obrade opažanja (koordinate točaka) preciznih geodetskih prijemnika kada na njih djeluju ometači u pokretu, zajedno sa koordinatama istih točaka opažanih u sesiji bez ometača. Slika 116 prikazuje grafički prikaz opažanih točaka.

Tablica 16. Izjednačene koordinate točaka opažanja s ometačem u pokretu

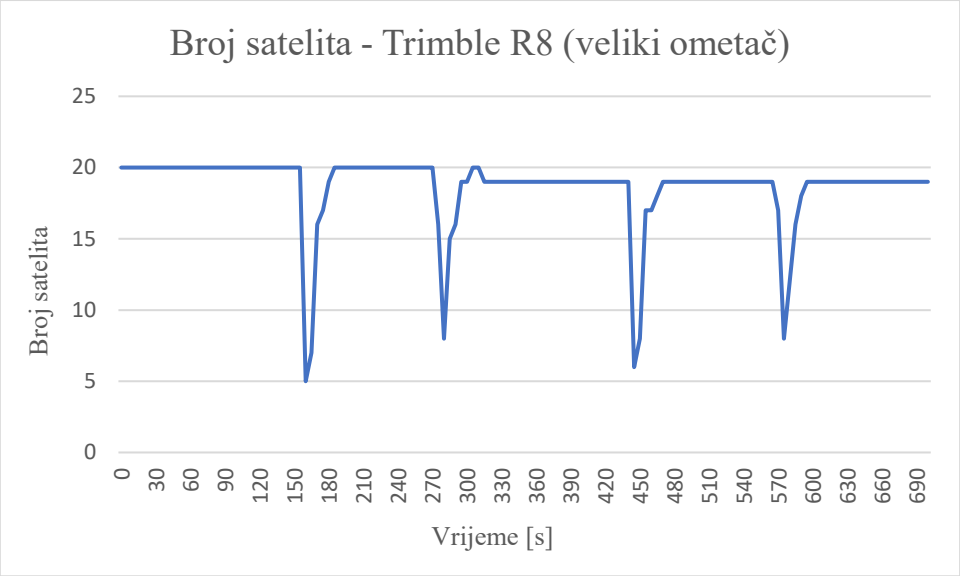
Vrijeme opažanja	Ometač	E	N	H
Trimble R8				
8:00 – 8:11	Mali	Bez opažanja		
8:16 – 8:28	Veliki	454080,110	5070818,328	119,035
8:27 – 8:50	Bez ometača	454080,118	5070818,337	117,278
Trimble R12i				
8:00 – 8:11	Mali	454079,868	5070818,400	117,202
8:16 – 8:28	Veliki	454079,875	5070818,416	117,205
8:27 – 8:50	Bez ometača	454079,869	5070818,398	117,203
Topcon HiPer SR				
8:00 – 8:11	Mali	454080,361	5070818,279	119,115
8:16 – 8:28	Veliki	454080,350	5070818,255	119,108
8:27 – 8:50	Bez ometača	454080,360	5070818,276	119,106



Slika 116. Grafički prikaz opažanih točaka – ometač u pokretu

Obradom RINEX datoteka u programu Microsoft Excel izrađeni su grafički prikazi broja opažanih satelita tijekom sesija za sva tri geodetska GNSS prijemnika, te prosječnu vrijednost omjera nosač/šum za opažanja uređaja Topcon HiPer SR. Automobil s malim ometačem prolazi pokraj prijemnika u otprilike 160., 280., 450. i 570. sekundi, dok s velikim ometačem prolazi u 150., 270., 440. i 550. sekundi, što je jasno vidljivo na grafovima.

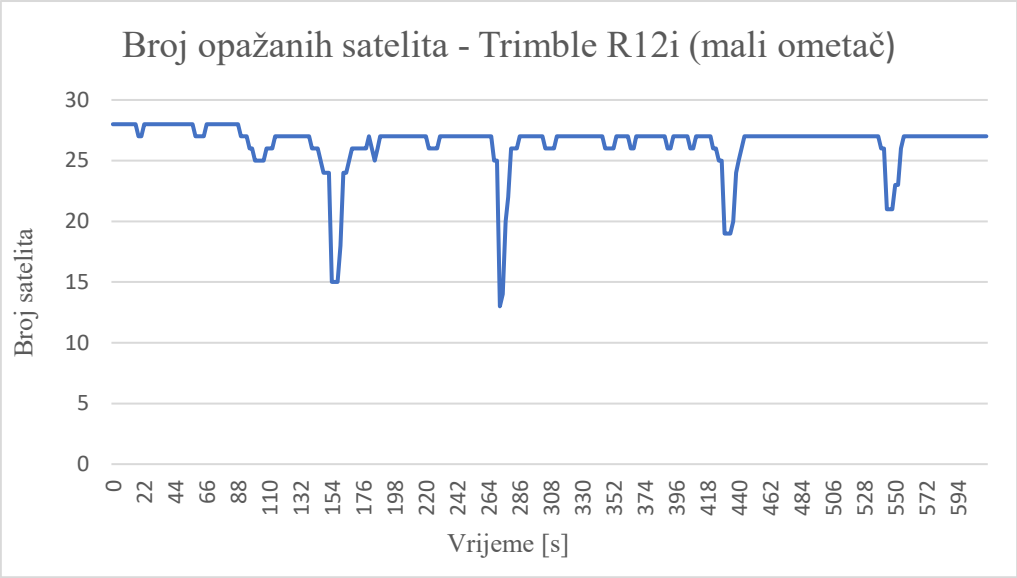
Slika 117 prikazuje broj opažanih satelita uređaja Trimble R8 pod utjecajem velikog ometača u pokretu. Na grafu je jasno vidljiv svaki prolaz automobila s ometačem pokraj GNSS prijemnika, kako broj satelita na trenutak opada s 20 na čak 5 opažanih. Trajanje utjecaja je približno pola minute po prolazu automobila, nakon čega uređaj ponovo doseže početni broj vidljivih satelita. Iz izvješća TBC softvera u kojemu je prikazan graf opažanih GNSS signala svakog pojedinog satelita, vidljivo je da uređaj Trimble R8 na vrlo kratak trenutak ipak gubi sve signale satelita. Iako je utjecaj prilikom jednog prolaza automobila primjetan oko pola minute, ipak je značajan samo na trenutak, kada se automobil nalazi u neposrednoj blizini prijemnika i broj opažanih satelita nije dovoljan za pozicioniranje.



Slika 117. Broj vidljivih satelita – Trimble R8 (veliki ometač u pokretu)

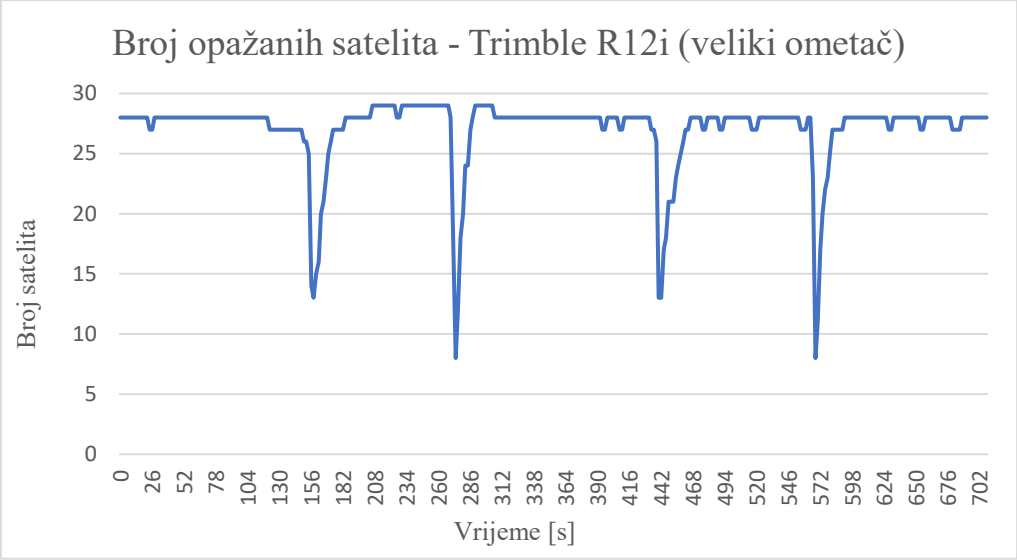
Sesija opažanja uređaja Trimble R8, kada je mali ometač u pokretu, nije uspješno opažana jer u RINEX datoteci nedostaje podataka opažanja.

Slika 118 prikazuje broj satelita koje opaža uređaja Trimble R12i pod utjecajem malog ometača. Utjecaj ometača vidljiv je na grafu kao smanjenje broja opažanih signala satelita prilikom svakog prolaza automobila pokraj prijemnika. Trajanje utjecaja je približno pola minute po prolazu automobila, nakon čega uređaj doseže početni broj vidljivih satelita. Prikaz pojedinačnih signala praćenih satelita iz izvješća TBC softvera pokazuje vrlo kratkotrajne gubitke signala većeg broja satelita nego što je prikazano na grafu. Iako je utjecaj ometača zamjetljiv i gotovo sigurno utječe na kvalitetu pozicioniranja, broj opažanih satelita dovoljan je za uspješno pozicioniranja tokom cijele sesije.



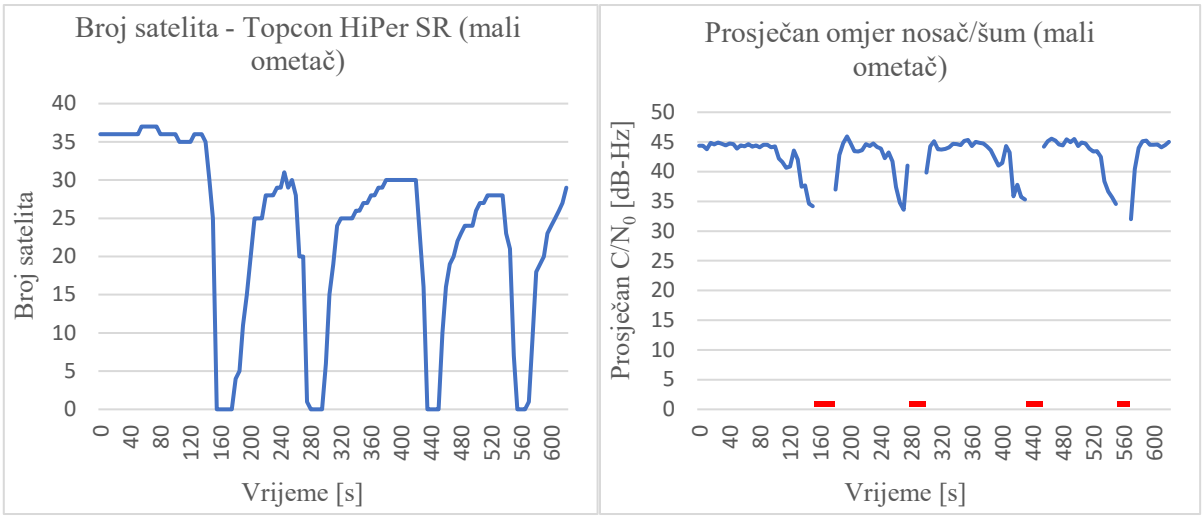
Slika 118. Broj vidljivih satelita – Trimble R12i (mali ometač u pokretu)

Slika 119 prikazuje broj opažanih satelita, koje pod utjecajem velikog ometača u pokretu, opaža uređaj Trimble R12i. Kao i kod sesije s malim ometačem, utjecaj traje približno pola minute kada automobil prolazi pokraj prijemnika, no pozicioniranje je i dalje moguće tijekom gotovo čitave sesije.



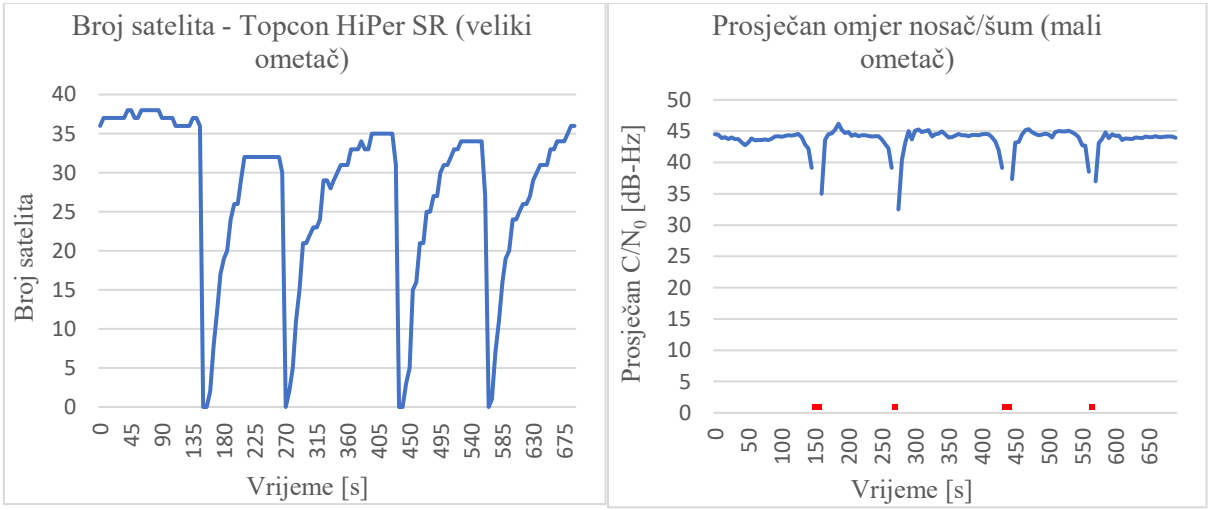
Slika 119. Broj vidljivih satelita – Trimble R12i (veliki ometač u pokretu)

Slika 120 prikazuje broj satelita, kao i njihovu prosječnu snagu, koje opaža uređaj Topcon HiPer SR pod utjecajem malog ometača u pokretu. Svakim prolaskom automobila s ometačem pokraj uređaja, uređaj gubi sve opažane GNSS signale. Potpuni gubitak signala traje približno 20 sekundi prilikom svakog prolaza, a prije gubitka signala vidljiv je pad prosječne snage L1 nosača opažanih satelita na drugom grafu. Uređaj nije u mogućnosti opažati početni broj satelita gotovo čitavu sesiju, čak ni kada je ometač u automobilu udaljen približno 500 metara od uređaja.



Slika 120. Broj satelita i prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR (mali ometač u pokretu)

Slika 121 prikazuje broj satelita, kao i njihovu prosječnu snagu, koje opaža uređaj Topcon HiPer SR pod utjecajem velikog ometača u pokretu. Prilikom prolaska automobila pokraj prijemnika, vidljiv je potpuni gubitak signala svih satelita koji traje nekoliko sekundi. Isto tako, vidljiv je pad prosječne snage GNSS signala.



Slika 121. Broj satelita i prosječna snaga signala – Trimble R12i (veliki ometač u pokretu)

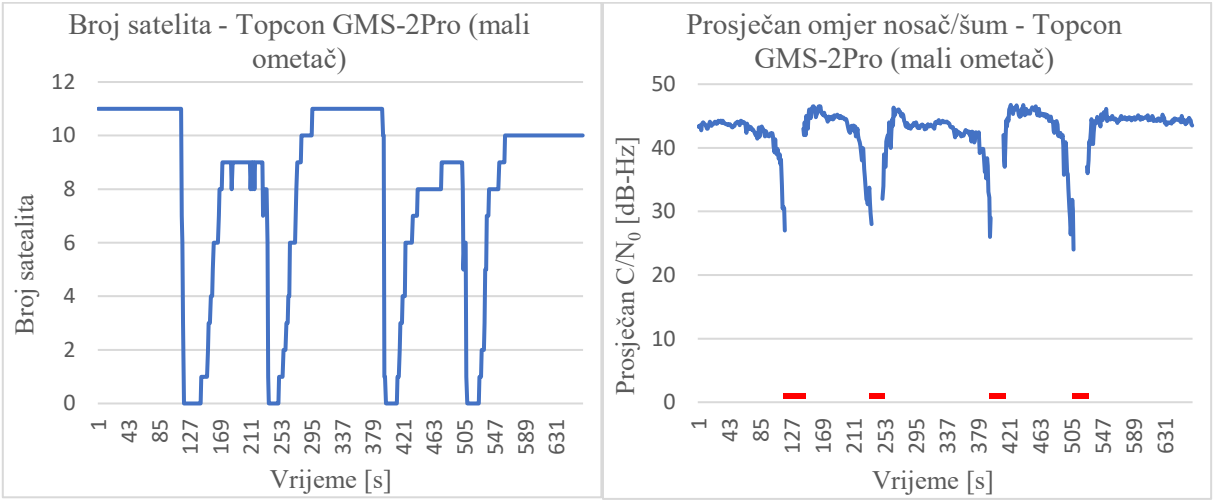
Utjecaj oba korištena ometača na precizne GNSS prijemnike vidljiv je iz grafova kao pad broja opažanih satelita prilikom prolaska automobila s ometačem pokraj spomenutih prijemnika. Ispitivanjem utjecaja ometača na oba Trimble uređaja može se zaključiti da taj utjecaj nije naročito značajan. Iako smanjenje broja opažanih satelita i njihove snage zasigurno uzrokuje smanjenje točnosti pozicioniranja, pozicioniranje je dostupno tijekom gotovo čitave sesije. Uređaj Topcon HiPer SR ipak pokazuje slabiju otpornost na ometanja signala jer svakim prolaskom automobila s ometačem, uređaj gubi signale svih vidljivih satelita što traje približno 20 sekundi za mali ometač, a oko 5 sekundi za veliki ometač, s tim da je djelovanje ometača, čak i ono minimalno, prisutno tijekom čitavog trajanja sesija.

7.2. Opažanje GIS/GNSS uređaja

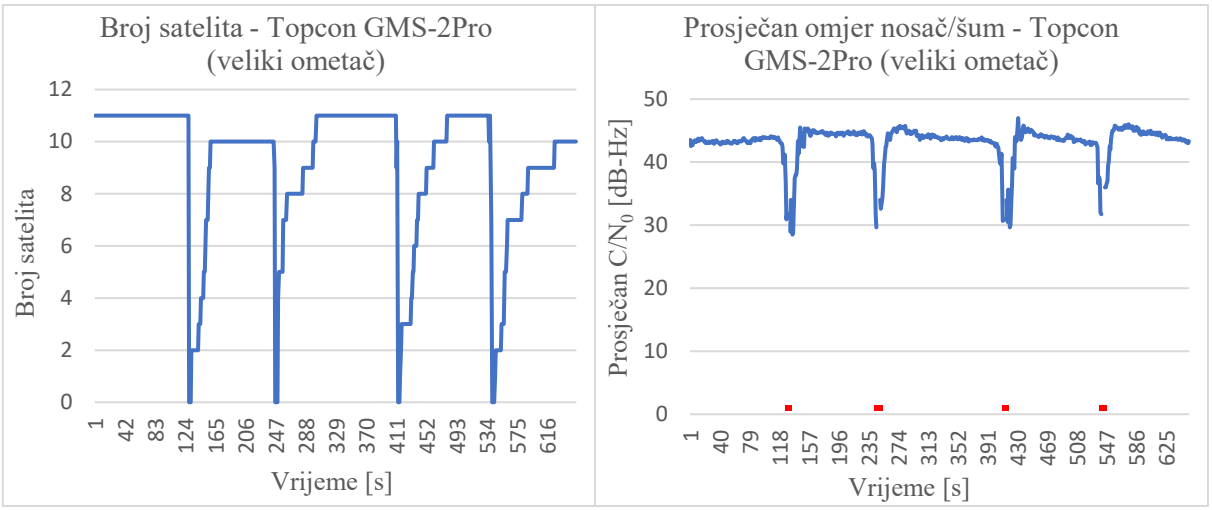
Ispitivanje utjecaja ometača u pokretu na uređaje CHCNAV LT700H i Topcon GMS-2PRO provedeno je istovremeno s ispitivanjem utjecaja na precizne GNSS prijemnike. Interval opažanja Topcon GMS-2Pro uređaja je jedna sekunda, dok je interval opažanja CHCNAV LT700H uređaja tri sekunde. Uređaj Topcon opaža samo GPS satelite, dok uređaj CHCNAV opaža satelita svih globalnih konstelacija. Elevacijska maska iznosi 5°.

Podatci opažanja uređaja Topcon GMS-2Pro pohranjeni su u *.tps* datoteci koja je konvertirana u RINEX postupkom iz poglavlja 6.1. RINEX datoteka obrađena je u programu Microsoft Excel, te su izrađeni grafički prikazi broja opažanih satelita i prosječnog omjera nosač/šum na L1 noseći signal. Automobil s malim ometačem prolazi pokraj prijemnika u otprilike 130., 240., 400. i 520. sekundi, dok s velikim ometačem prolazi u približno 130., 250., 410. i 540. sekundi, što je jasno vidljivo na grafovima.

Slika 122 prikazuje broj satelita, te prosječnu snagu GNSS signala, koje opaža uređaj Topcon GMS-2Pro pod utjecajem maloga ometača. Isto prikazuje i Slika 123, kada je ispitan utjecaj velikog ometača. Na grafovima koji prikazuju broj opažanih satelita vidljivo je da, prilikom prolaza automobila s ometačem, mali ometač uređaju blokira sve GNSS signale u trajanju od približno 15 sekundi, dok veliki ometač blokira sve signale na samo nekoliko sekundi. Isto tako, prosječna snaga prijema svih opažanih signala smanjena je pod utjecajem ometača. Iako Topcon GMS-2Pro opaža samo GPS signale, a uređaj Topcon HiPer SR opaža signale svih konstelacija, vidljiva je sličnost u grafovima opažanih satelita za oba uređaja, te oba uređaja imaju poprilično slabu ili nikakvu zaštitu od ometanja signala.



Slika 122. Prosječna snaga signala (mali ometač u pokretu)

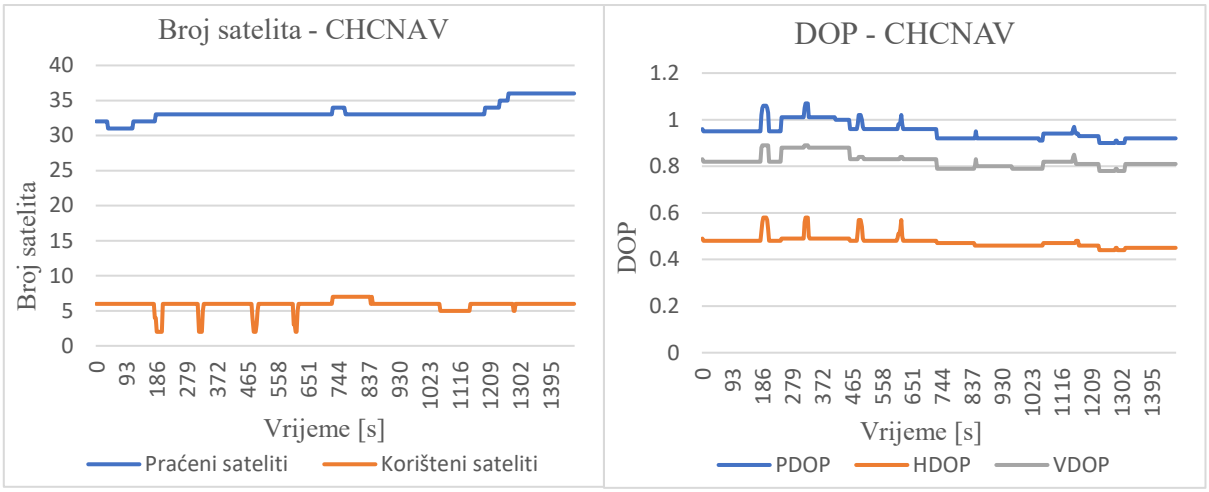


Slika 123. Prosječna snaga signala (veliki ometač u pokretu)

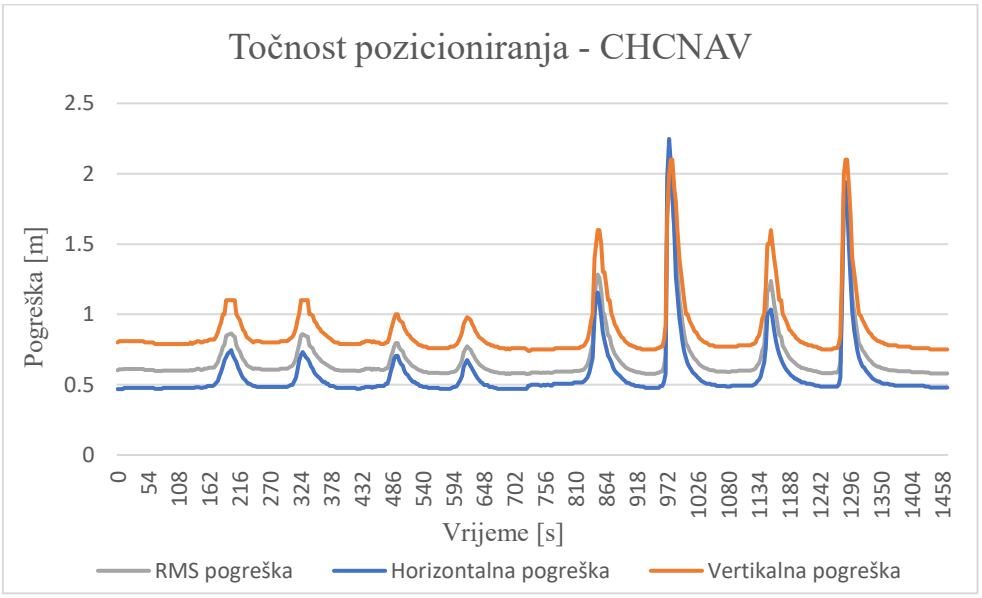
Podatci opažanja uređaja CHCNAV LT700H pohranjeni su u *.csv* datoteci. Datoteka je pokrenuta u softveru Microsoft Excel te su izrađeni grafički prikazi broja vidljivih i praćenih satelita, različitih DOP vrijednosti i točnosti opažanja.

Automobil s malim ometačem prolazi pokraj prijemnika u otprilike 190., 330., 490. i 620. sekundi, dok s velikim ometačem prolazi u približno 860., 980., 250., 1160. i 1280. sekundi, što je jasno vidljivo na sljedećim grafovima. Slika 124 prikazuje broj satelita i DOP vrijednosti opažanja uređaja CHCNAV za oba korištena ometača, a Slika 125 prikazuje točnosti, odnosno pogreške pozicioniranja tijekom sesija. Opažanja pod utjecajem malog ometača prikazana su od početka do približno 750. sekunde, a opažanja pod utjecajem velikog ometača od 750. sekunde do kraja sesije. Utjecaj malog ometača vidljiv je na grafu kao smanjenje korištenih satelita sa 6 na samo 2 prilikom svakog prolaska automobila s ometačem, dok je broj praćenih satelita približno 34 tijekom cijele sesije. Kada se broj korištenih satelita smanjuje vidi se porast svih DOP vrijednosti na drugom grafu. Također, svakim prolaskom automobila, srednja kvadratna pogreška raste s približno 0,6 metara na 1,1 metar.

Utjecaj velikog ometača ne pokazuje gotovo nikakve promjene u broju satelita ili DOP vrijednostima, no graf točnosti pozicioniranja pokazuje povećanje pogrešaka pozicioniranja u blizini velikog ometača, gdje srednja kvadratna pogreška doseže dva metra. Zanimljiva činjenica je da veliki ometač tako uzrokuje veću pogrešku pozicioniranja bez blokiranja satelita, dok mali ometač uzrokuje gubitke opažanih satelita no pogreška pozicioniranja je manja.



Slika 124. Broj satelita i DOP – CHCNAV



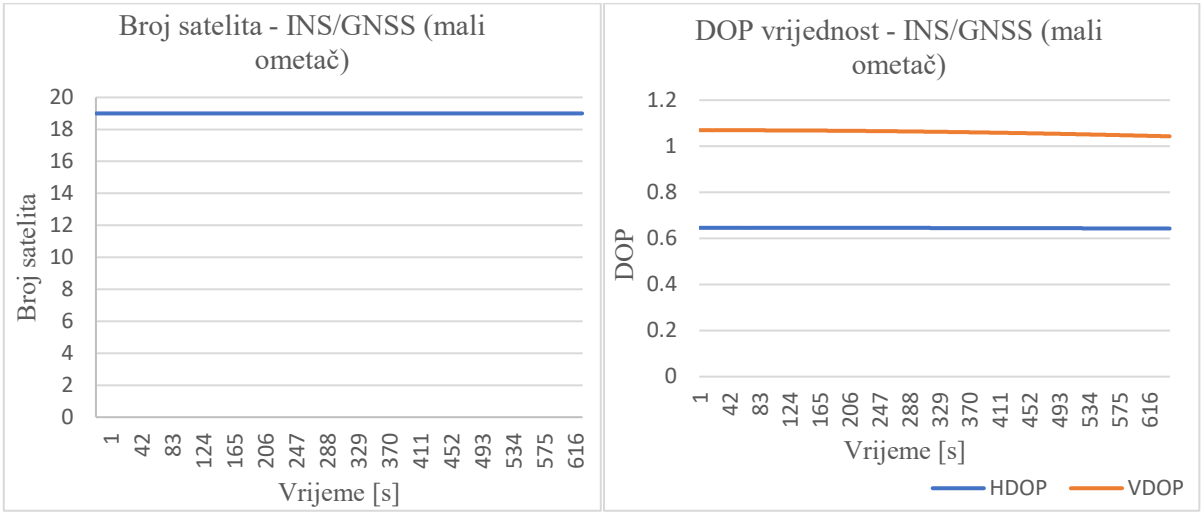
Slika 125. Točnost pozicioniranja - CHCNAV

7.3. Opažanje INS/GNSS uređaja

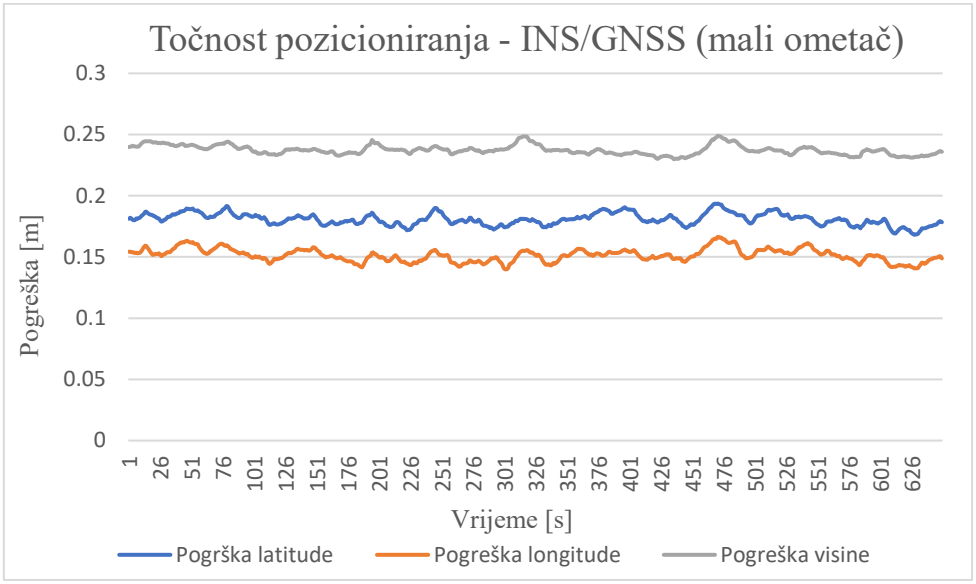
Ispitivanje utjecaja ometača na INS/GNSS uređaj Spatial provodi se istovremeno s ispitivanjima utjecaja ometača na precizne geodetske i GNSS/GIS uređaje. Uređaj opaža GPS, GLONASS i BeiDou satelite. INS/GNSS uređaj Spatial spaja se na računalo putem USB ulaza, a kontrolira se putem softvera *Spatial Manager 5.8*. Automobil s ometačem prolazi četiri puta pokraj prijemnika za svaki od ometača. Nakon opažanja i konvertiranja datoteke opažanja u *.csv* datoteku, dostupni su podaci GNSS opažanja, kao što su elipsoidne koordinate, broj vidljivih satelita, DOP i pogreške mjerenja.

Slika 126 prikazuje broj satelita, te pripadajućih vrijednosti DOP-a, koje opaža INS/GNSS uređaj Spatial pod utjecajem malog ometača, dok Slika 127 prikazuje točnost pozicioniranja tijekom iste sesije. Na grafu opažanih satelita te grafu s DOP vrijednostima

utjecaj maloga ometača nije moguće zamijetiti, a na grafu točnosti pozicioniranja vidljiva su vrlo mala povećanja pogreške visine, no nije sigurno da su promjene uzrokovana djelovanjem ometača.



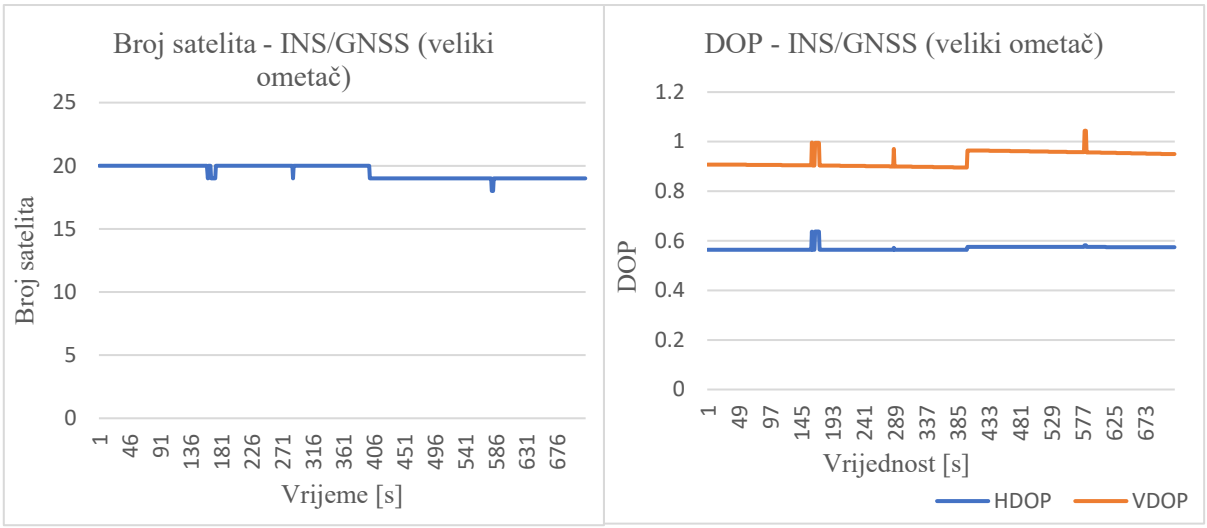
Slika 126. Broj opažanih satelita i DOP – INS/GNSS (mali ometač u pokretu)



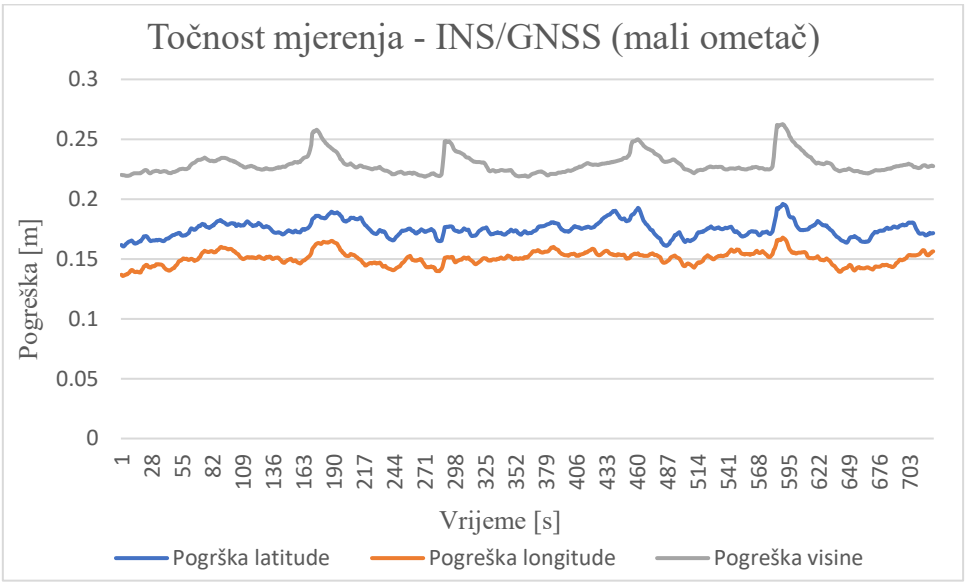
Slika 127. Točnost pozicionranja – INS/GNSS (mali ometač u pokretu)

Slika 128 prikazuje broj satelita, te pripadajućih vrijednosti DOP-a, koje opaža INS/GNSS uređaj Spatial pod utjecajem velikog ometača. Slika 129 prikazuje točnost pozicioniranja u istoj sesiji. Na grafovima s brojem opažanih satelita i DOP vrijednostima vidljiv je kratkotrajan gubitak jednog satelita i porast vrijednosti DOP-a, a na grafu koji prikazuje točnost pozicioniranja vidljiv je porast visinske pogreške s 22 na 25 centimetara prilikom svakog prolaza automobila s ometačem pokraj prijemnika.

Kao i kod ostalih ispitivanja ometača na INS/GNSS uređaj, isti pokazuje iznimno dobru zaštitu protiv ometanja čak i bez korištenja INS komponente. Utjecaj oba ometača je minimalan ili nepostojeći.



Slika 128. Broj opažanih satelita i DOP – INS/GNSS (veliki ometač u pokretu)

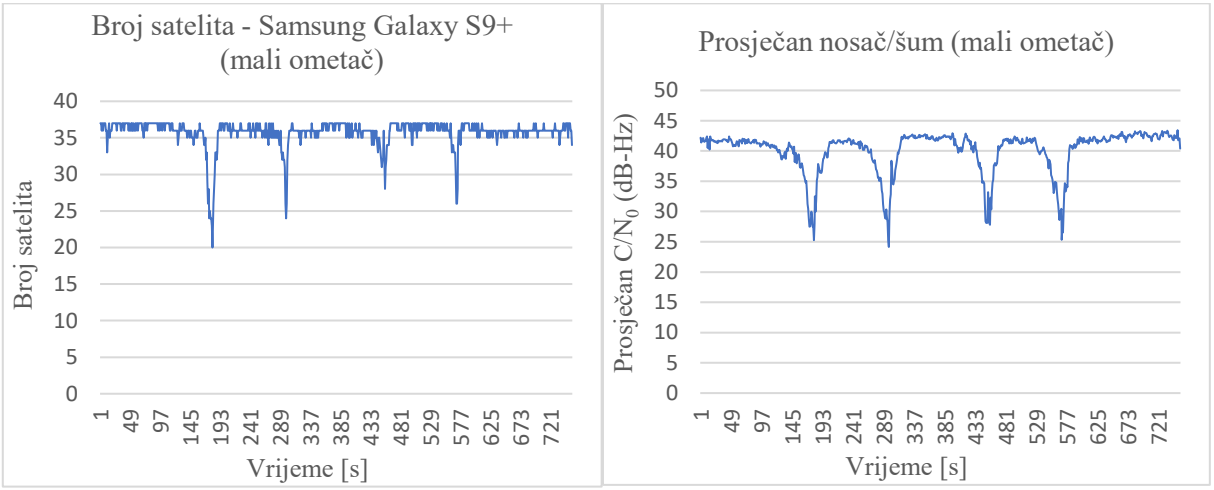


Slika 129. Točnost pozicionranja – INS/GNSS (veliki ometač u pokretu)

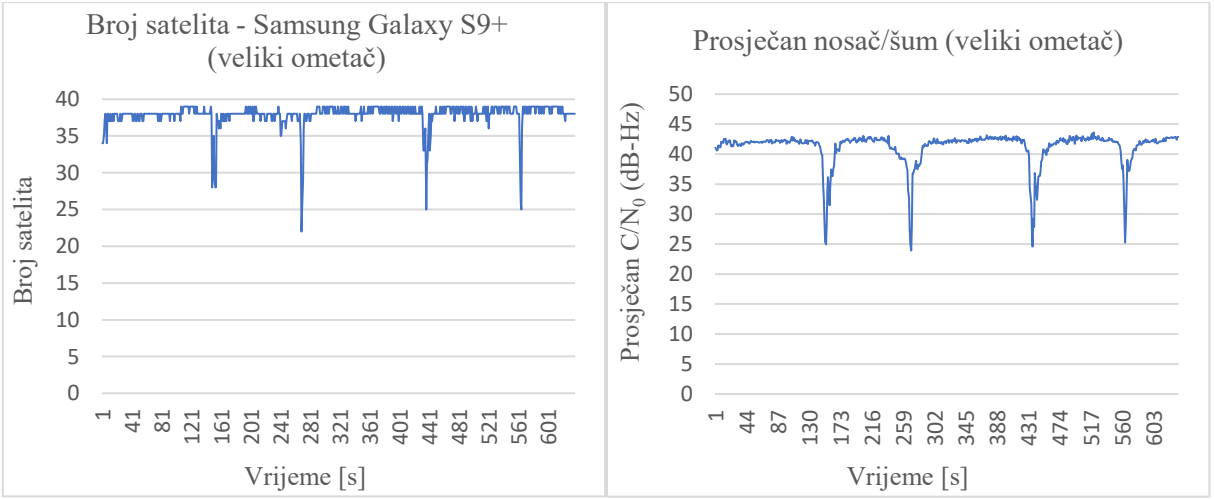
7.4. Opažanja mobilnog telefona

Opažanje utjecaja ometača u pokretu na pametni telefon Samsung Galaxy S9+ provedeno je istovremeno s ispitivanjem utjecaja ometača na ostale uređaje. Opažane su dvije sesije, jedna za svaki ometač, a automobil, na kojemu se nalaze ometači, prolazi pokraj prijemnika četiri puta po sesiji. Uređaj opaža signale satelita svih konstelacija. Opažanje je provedeno koristeći mobilnu aplikaciju *Geo++ RINEX logger*, koja pohranjuje podatke opažanja GNSS prijemnika iz pametnog telefona u memoriju uređaja kao RINEX datoteku. RINEX datoteka obrađena je u programu Microsoft Excel i izrađeni su grafovi s prikazima broja opažanih satelita i prosječne snage istih. Automobil s malim ometačem prolazi pokraj pametnih telefona u otprilike 180., 300., 560. i 580. sekundi, dok s velikim ometačem prolazi u približno 150., 270., 460., i 570. sekundi, što je jasno vidljivo na grafovima.

Slika 130 prikazuje broj satelita, te prosječnu snagu signala satelita, koje opaža pametni telefon Samsung Galaxy S9+ pod utjecajem malog ometača. Isto prikazuje i Slika 131 za veliki ometač. Sa slika je vidljivo da je domet malog ometača veći jer je utjecaj zamjetljiv približno 40 sekundi, dok je utjecaj velikog ometača zamjetljiv približno 20 sekundi prilikom svakog prolaza automobila. Uređaj opaža više od 35 satelita tijekom svake sesije, no prolaskom automobila s ometačem pokraj uređaja, broj opažanih satelita na sekundu opada čak i na 20, ali u kratkom periodu uređaj ponovo opaža inicijalni broj satelita. Također, prosječna snaga signala svih opažanih satelita, u neposrednoj blizini ometača, se smanjuje s prosječnih 42 dB-Hz na 25 dB-Hz prilikom korištenja malog te velikog ometača.



Slika 130. Broj opažanih satelita i prosječna snaga siganala – pametni telefon (mali ometač u pokretu)



Slika 131. Broj opažanih satelita i prosječna snaga siganala – pametni telefon (veliki ometač u pokretu)

8. KINEMATIČKO OPAŽANJE SA OMETAČEM U MIROVANJU

Utjecaj ometača na kinematičke GNSS prijemnike ispitan je 8. travnja od 13:30 do 14:00 na uređaj CHCNAV LT700H, te 27. svibnja 2021. godine od 12:30 do 13:10 po lokalnom vremenu (UTC + 2) na uređaje Trimble R8, Trimble R12i, Topcon HiPer SR, INS/GNSS Spatial i pametne telefone Samsung Galaxy S9+ te Samsung Galaxy A71. Mali ometač nalazi se u automobilu gdje se napaja putem automobilske utičnice, a veliki ometač je postavljen na stativ pokraj ceste. Za svaki ometač opažana je jedna sesija. Svi prijemnici, kao i pametni telefoni, te antena od INS/GNSS uređaja, postavljeni su na posebno izrađen stalak, korišten i kod statičkih opažanja. Uređaji su najprije dobro osigurani kako ne bi pali sa stalka u toku vožnje, te je isti stalak postavljen na krov automobila.

Slika 132 prikazuje lokaciju ispitivanja, te je na slici plavom bojom naznačena putanja automobila s prijemnicima, a crvenom točkom pozicija ometača.

Slika 132. Prikaz putanje kinematičkih mjerenja i pozicija ometača

Nakon uključenja malog ometača automobil se kreće približno 30 km/h po naznačenoj putanji. Nakon trećeg prolaska automobila pokraj ometača, mali ometač se ugasi te se upali veliki ometač i nakon toga automobil prolazi pokraj ometača još tri puta.

8.1. Opažanje geodetskih uređaja

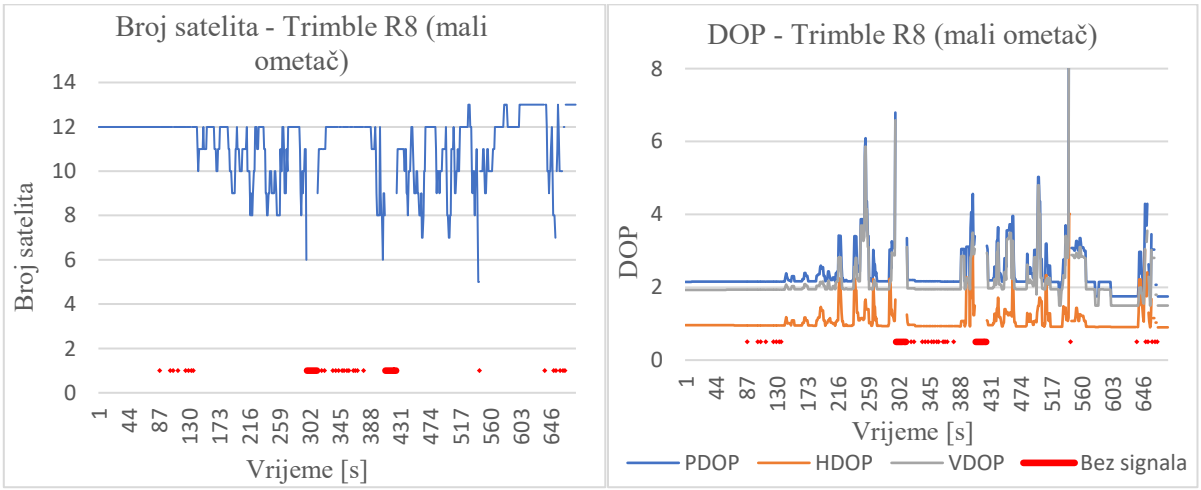
Kinematička opažanja uređaja Trimble R8, Trimble R12i i Topcon HiPer SR provedena su 27. svibnja 2021. godine. Uređaj Trimble R12i opaža sve konstelacije, dok Topcon HiPer SR i Trimble R8 opažaju samo GPS i GLONASS satelite. Interval opažanja svih prijemnika je jedna sekunda. Metoda opažanja je RTK, tako da su svi prijemnici povezani na sustav CROPOS. U obje sesije uređaji se nalaze na krovu automobila, a prilikom svake sesije automobil prolazi tri puta pokraj ometača u mirovanju.

Rezultati mjerenja su koordinate opažanih točaka, no za svako opažanje dostupni su dodatni podatci kao što su broj vidljivih satelita, DOP, pogreške pozicioniranja i drugi. Uređaj

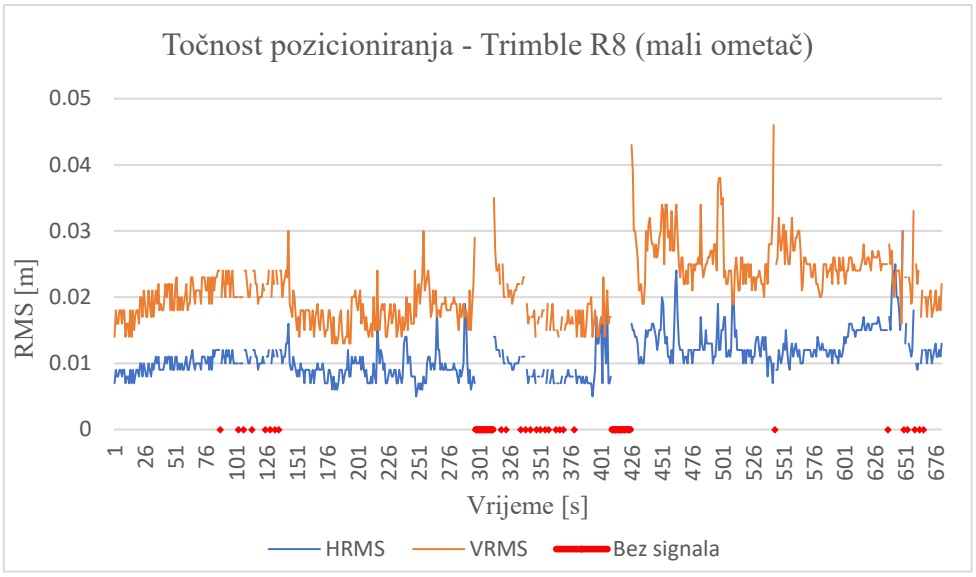
Topcon HiPer SR podatke, to jest izvješće opažanja pohranjuje u tekstualnu datoteku, a oba Trimble uređaja izvješće pohranjuju u *.htm* datoteci koja se pokreće u internetskoj tražilici. Kopiranjem ovih podataka u datoteku programa Microsoft Excel, podatci su sistematizirani i prikazani na sljedećim grafovima.

Ukoliko nestane GNSS signala prijemnici prestaju opažati, a povratkom signala opažanje se nastavlja gdje je i stalo. Upravo iz tog razloga opažanja nisu sistematizirana prema brojevima opažanih točaka, jer na taj način nestanak GNSS signala ne bi bio evidentiran, nego se podatci organiziraju prema vremenu. Interval opažanja je jedna sekunda, stoga ukoliko izvješće ne sadrži podatke opažanja za ikoju sekundu tijekom sesije, pretpostavka je da je signal izgubljen, no to ne mora biti slučaj. Postoji mogućnost da opažanje nije pohranjeno zbog slabije internetske veze ili drugih nedostataka uređaja. Također treba uzeti u obzir da se auto s prijemnicima kreće po putanji, te uzrok kratkotrajnih prekida signala može bit i vegetacija, odnosno visoka stabla koja blokiraju GNSS signal.

Slika 133 prikazuje broj satelita, te DOP vrijednosti, koje opaža uređaj Trimble R8 prilikom kinematičkih mjerenja, kada je na putanji postavljen mali ometač. Slika 134 prikazuje točnost pozicioniranja toga uređaja tijekom iste sesije. Približna vremena prolazaka automobila pokraj ometača iznose 320, 430 i 540 sekundi od početka sesije. Sukladno tome, na grafu je vidljiv potpuni gubitak signala tijekom prvog i drugog prolaza automobila pokraj ometača u trajanju od približno 20 sekundi, a kod trećeg prolaza gubi signal samo na trenutak. Broj satelita mijenja se tijekom gotovo čitave sesije, najviše između 8 i 12 satelita, a vidljivi su i povremeni i vrlo kratkotrajni gubitci signala nepoznatog uzroka. DOP vrijednosti mijenjaju se sukladno broju opažanih satelita, a u trenutku kada je vidljivo samo pet satelita, vrijednost visinskog, stoga i pozicijskog DOP-a iznosi čak 20. Horizontalna točnost pozicioniranja iznosi približno centimetar, dok visinska točnost iznosi približno 2 cm do maksimalno 5 cm.

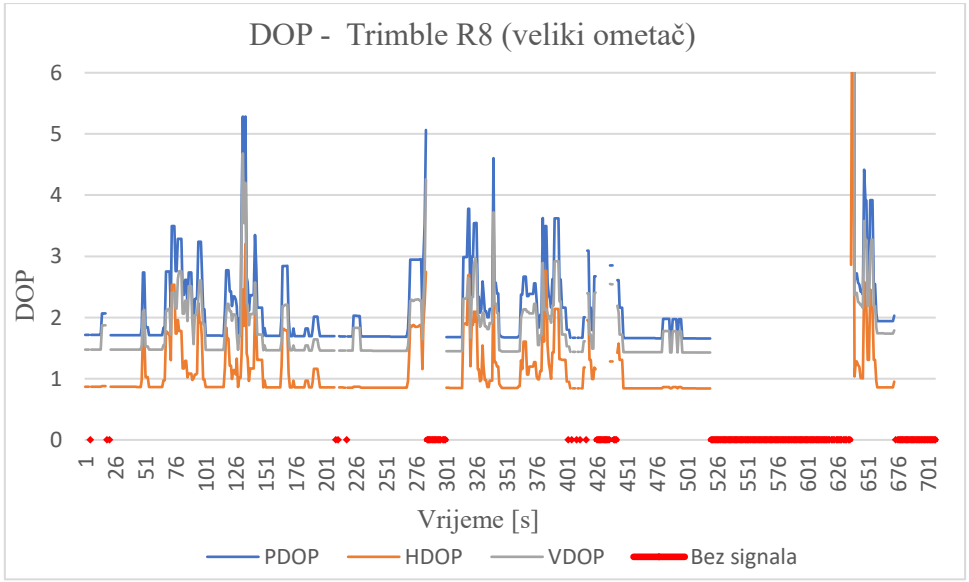


Slika 133. Broj opažanih satelita i DOP – Trimble R8, kinematika (mali ometač)

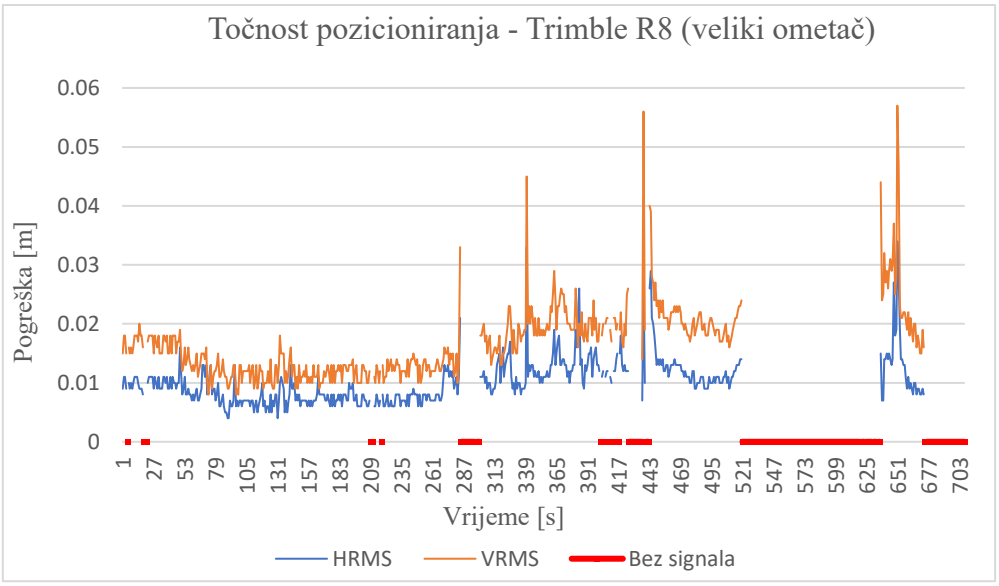


Slika 134. Točnost pozicioniranja – Trimble R8, kinematika (mali ometač)

Slika 135 prikazuje broj satelita, te DOP vrijednosti, koje opaža uređaj Trimble R8 prilikom kinematičkih mjerenja, kada je na putanji postavljen veliki ometač. Zbog nedostatka jednog izvješća opažanja graf broja vidljivih satelita nije priložen. Približna vremena prolazaka automobila pokraj ometača iznose 300, 440 i 550 sekundi od početka sesije. Prva dva prolaza automobila pokraj velikog ometača uzrokuju gubitak signala u trajanju od približno 20 sekundi. Prilikom trećeg prolaza automobila uređaj gubi GNSS signal na dvije minute, a nakon povratka signala visinski i pozicijski DOP iznose gotovo 23. Nije poznato je li uzrok tome ometač. Slika 136 prikazuje točnost pozicioniranja uređaja Topcon HiPer SR za istu sesiju. Horizontalna te vertikalna točnost pozicioniranja iznose između 0,5 i 3 cm, a neposredno prije gubitka signala dosežu i 6 cm.

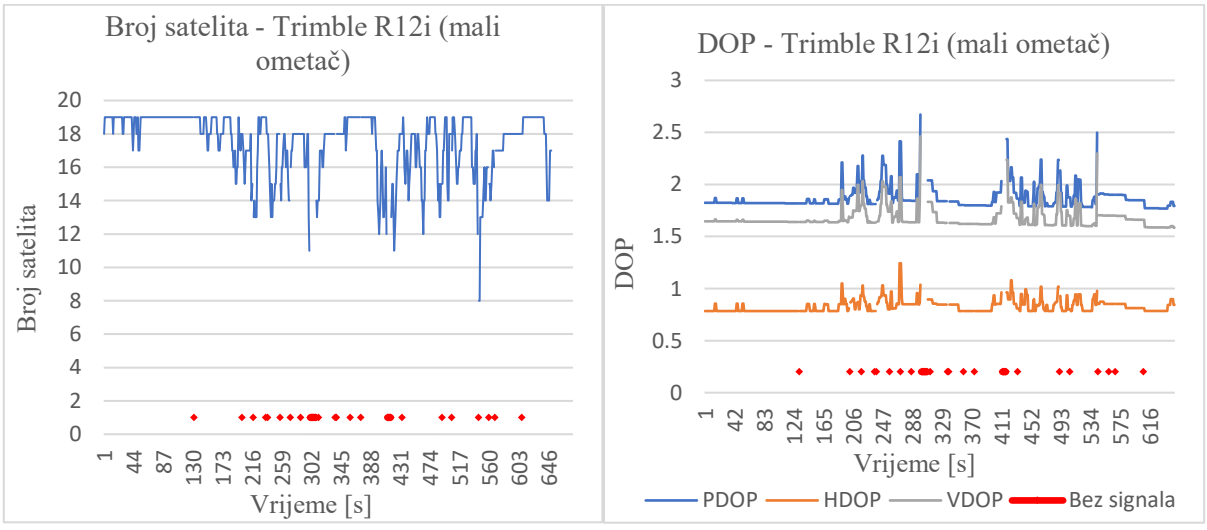


Slika 135. DOP – Trimble R8, kinematika (veliki ometač)

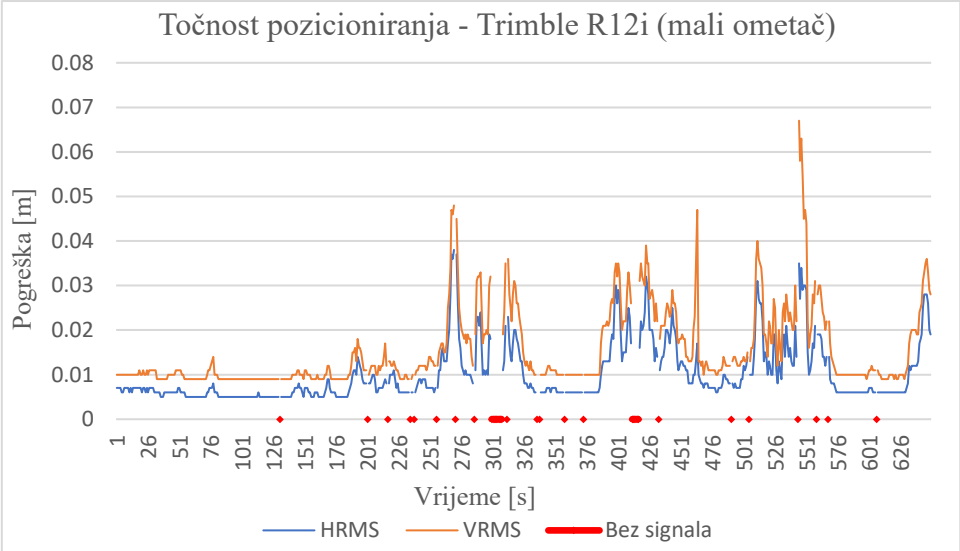


Slika 136. Točnost pozicioniranja – Trimble R8, kinematika (veliki ometač)

Slika 137 prikazuje broj opažanih satelita i DOP, a Slika 138 točnost pozicioniranja uređaja Trimble R12i tijekom sesije RTK opažanja, a kada se na putanji nalazi mali ometač. Približna vremena prolazaka automobila pokraj ometača iznose 320, 430 i 540 sekundi od početka sesije. Prolaskom automobila s prijemnicima pokraj malog ometača, kod uređaja Trimble R12i vidljiv je kratkotrajan gubitak GNSS signala, te je na trećem grafu vidljiv pad točnosti pozicioniranja. Horizontalna i vertikalna točnost pozicioniranja iznose manje od centimetra, no u blizini ometača vertikalna točnost na trenutak doseže i 7 cm, a horizontalna 4 cm. Tijekom gotovo cijele sesije također je vidljiv kratkotrajan gubitak GNSS signala satelita i konstantna promjena broja opažanih satelita, ponajviše između 12 i 19. Osim ometača, uzrok tome može biti i okolna vegetacija, slaba internetska veza ili nešto drugo.

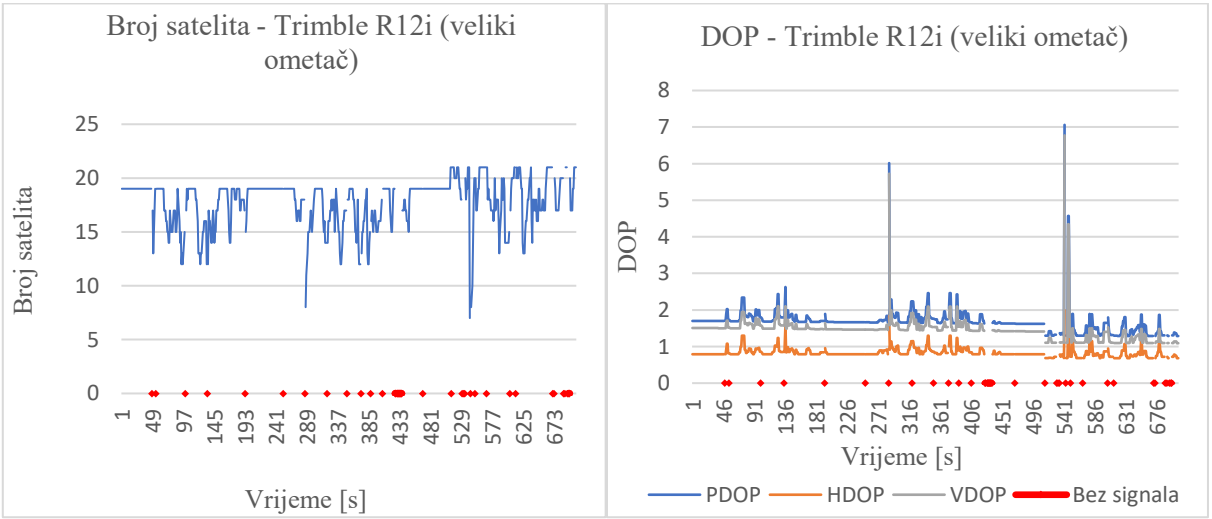


Slika 137. Broj opažanih satelita i DOP – Trimble R12i, kinematika (mali ometač)

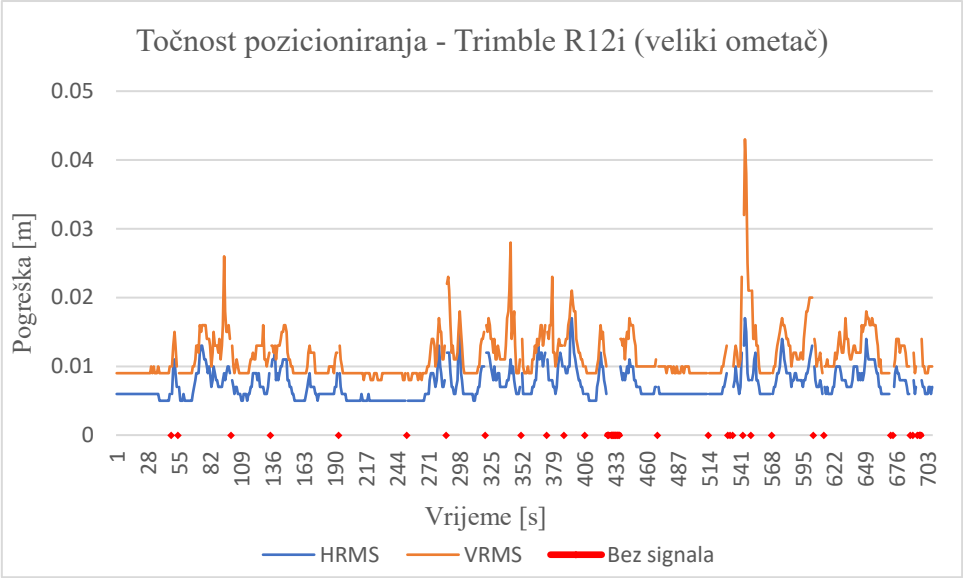


Slika 138. Točnost pozicioniranja – Trimble R12i, kinematika (mali ometač)

Slika 139 prikazuje broj satelita, te DOP vrijednosti, koje opaža uređaj Trimble R12i tijekom kinematičkih mjerenja, kada je na putanji postavljen veliki ometač. Približna vremena prolazaka automobila s prijemnicima pokraj ometača iznose 300, 440 i 550 sekundi od početka sesije. Prilikom prvog i trećeg prolaska automobila smanjen je broj opažanih satelita i visinski te pozicijski DOP rastu do 7. Prilikom drugog prolaska automobila nestalo je GNSS signala na nekoliko trenutaka. Slika 140 prikazuje točnost pozicioniranja uređaja Trimble R12i tijekom iste sesije, i vidljivo je da se točnost mijenja ovisno o broju opažanih satelita no veći dio vremena iznosi manje od 2 cm.

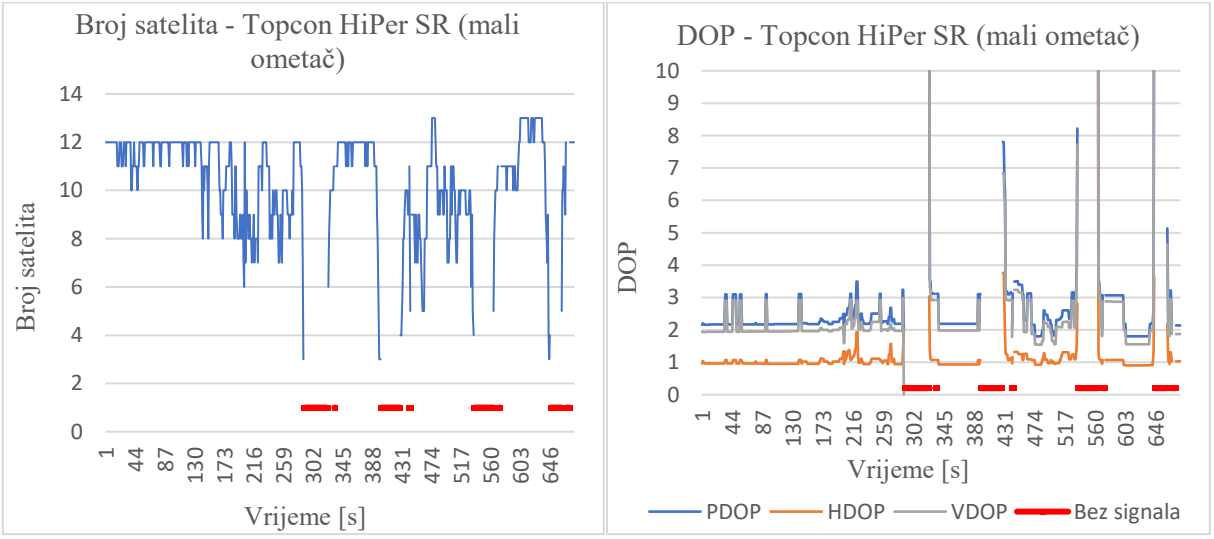


Slika 139. Broj opažanih satelita i DOP – Trimble R12i, kinematika (veliki ometač)

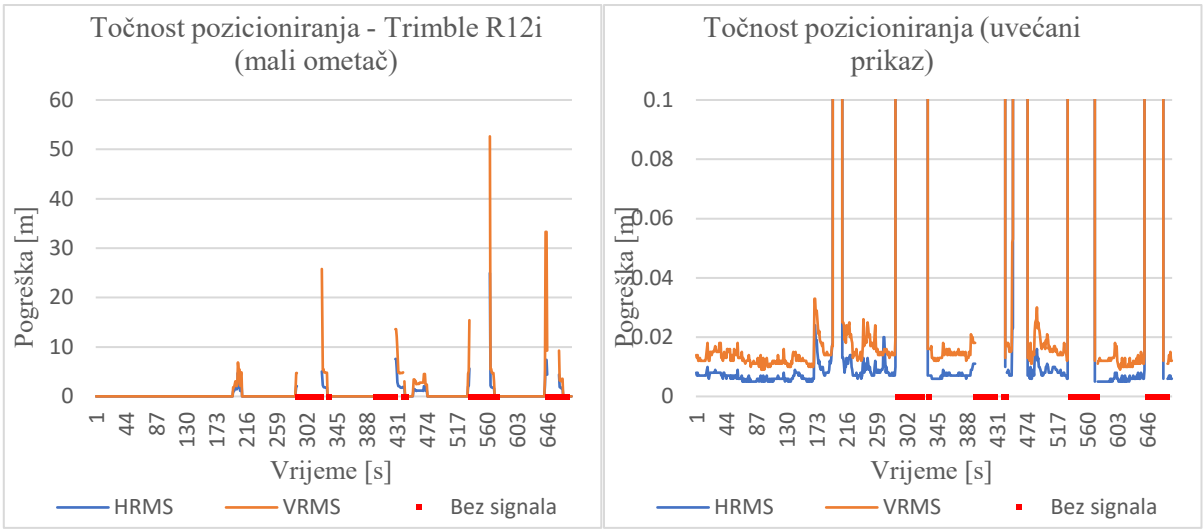


Slika 140. Točnost pozicioniranja – Trimble R12i, kinematika (veliki ometač)

Slika 141 prikazuje broj satelita, te vrijednosti DOP-a, koje opaža uređaj Topcon HiPer SR tijekom RTK opažanja, kada je na putanji postavljen mali ometač. Na grafovima su jasno vidljivi prolasci automobila s GNSS prijamnicima pokraj maloga ometača, jer svakim prolaskom automobila uređaj Topcon nije u mogućnosti opažati satelite približeno pola minute. Neposredno prije gubitka i nakon ponovnog prijema GNSS signala, DOP vrijednosti pozicije i visine sežu i do 30. Slika 142 prikazuje točnost pozicioniranja Topcon uređaja tijekom iste sesije opažanja. Na grafu je vrlo kratkotrajno vidljiv iznos visinske pogreške koja iznosi preko 50 metara, dok horizontalna iznosi približno 30 metara.

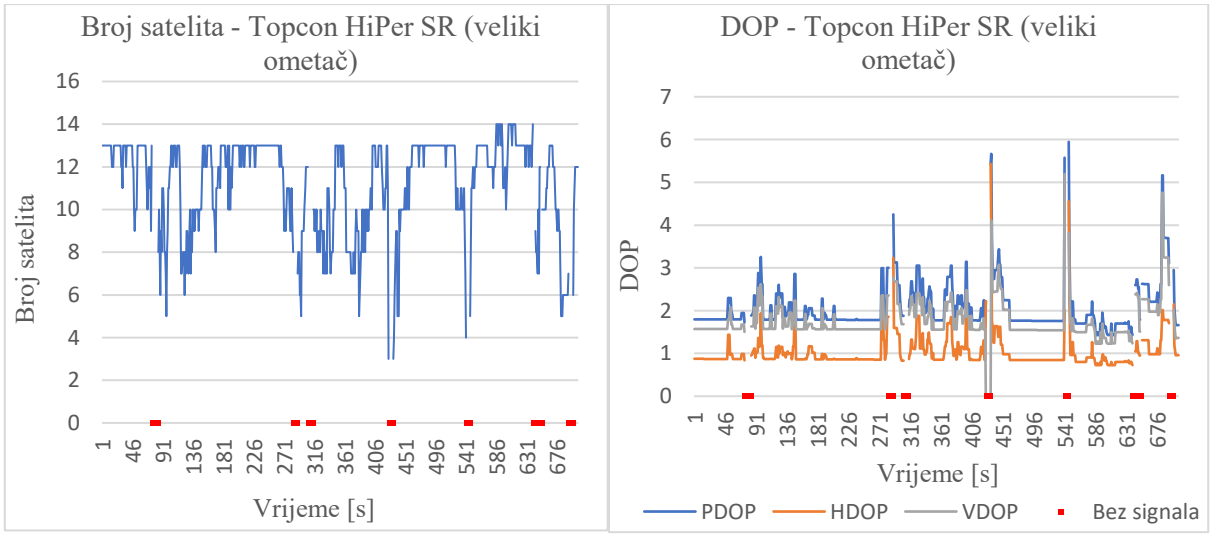


Slika 141. Broj opažanih satelita i DOP – Topcon HiPer SR, kinematika (mali ometač)

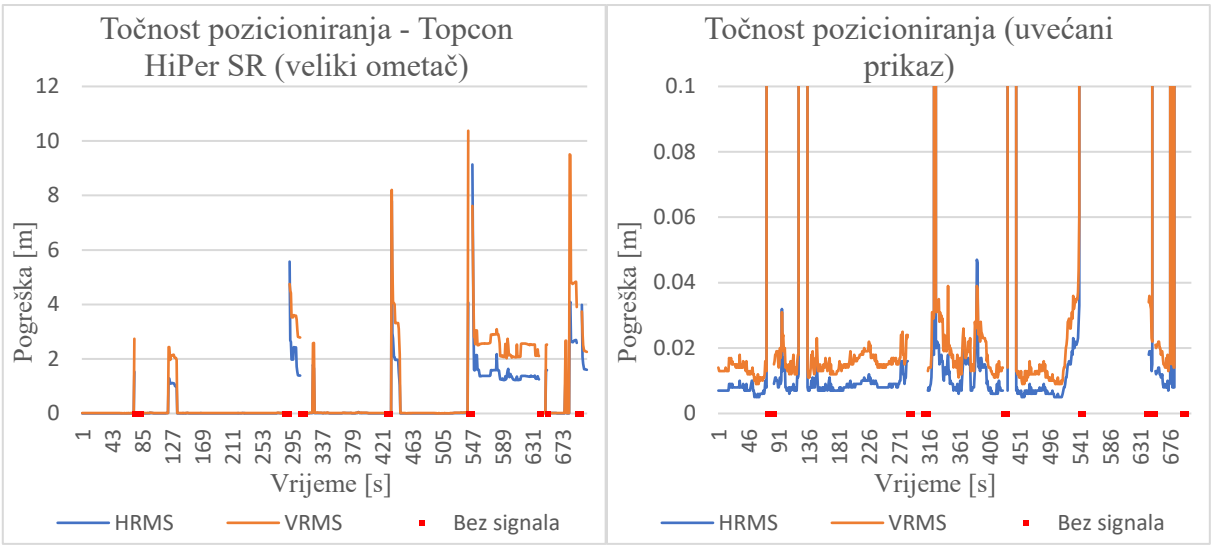


Slika 142. Točnost pozicioniranja – Topcon HiPer SR, kinematika (mali ometač)

Slika 143 prikazuje broj satelita, te vrijednosti DOP-a, koje opaža uređaj Topcon HiPer SR tijekom sesije RTK opažanja, a kada je na putanji automobila postavljen veliki ometač. Približna vremena prolazaka automobila s prijemnicima pokraj ometača iznose 300, 440 i 550 sekundi od početka sesije. Prilikom svakog prolaska automobila pokraj ometača vidljivo je smanjenje broja opažanih satelita, a na trenutak i potpuni gubitak GNSS signala. Osim kada je pod utjecajem ometača, uređaj u još nekoliko prilika na trenutak potpuno gubi sve GNSS signale, iz nepoznatog razloga. Slika 144 prikazuje točnost pozicioniranja Topcon uređaja za istu sesiju. I dok većinu sesije vertikalna i horizontalna točnost pozicioniranja iznose manje od 2 cm, vrlo kratkotrajno u nekoliko opažanja, iznos doseže i 10 metra, kada se smanji broj opažanih satelita.



Slika 143. Broj opažanih satelita i DOP – Topcon HiPer SR, kinematika (veliki ometač)



Slika 144. Točnost pozicioniranja – Topcon HiPer SR, kinematika (veliki ometač)

Utjecaj ometača na kinematička mjerenja preciznih GNSS prijemnika jasno je vidljiv iz priloženih grafova. Prilikom prolaza automobila s prijemnicima pokraj GNSS ometača, ometači uzrokuju gubitak signala opažanih satelita te porast DOP-a i smanjenje točnosti pozicioniranja, što je na većini grafova i vidljivo. Sam utjecaj ometača na prijemnike u pokretu nije dugotrajan, osobito na Trimble prijemnike, gdje je signal u potpunosti blokiran tek nekoliko sekundi prilikom prolaza automobila. Mali ometač ipak pokazuje značajan utjecaj na prijemnik Topcon, te u potpunosti blokira mogućnost pozicioniranja uređaja na gotovo pola minute prilikom svakog prolaska prijemnika pokraj ometača. No osim utjecaja ometača, na prijemnike u pokretu djeluju i drugi čimbenici. Kako se uz cestu, koja je zapravo trajektorija opažanja, nalazi visoko drveće, gotovo je sigurno da to negativno utječe na prijem signala, te na trenutke može uzrokovati gubitak većeg broja opažanih satelita.

8.2. Opažanje GIS/GNSS uređaja

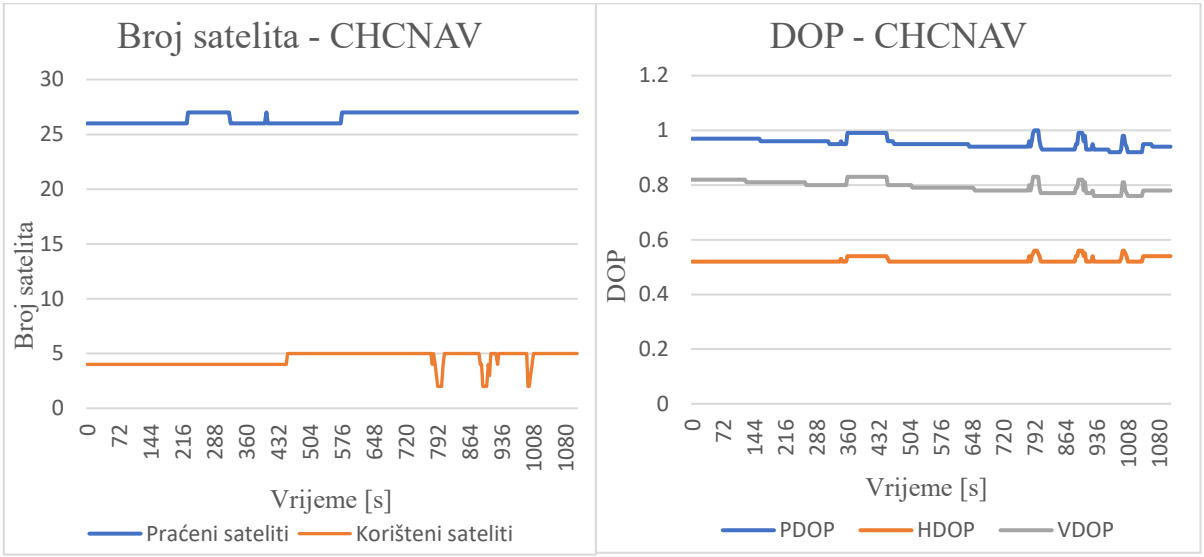
Ispitivanje utjecaja ometača na uređaj CHCNAV LT700H provedeno je 4. travnja 2021. Uređaj je pričvršćen na stalak koji je postavljen na krov automobila, a automobil se kreće po putanji opisanoj na početku ovoga poglavlja. Ometači su u mirovanju i nalaze se neposredno u blizini ceste. Interval opažanja je 3 sekunde, a opažana je jedna duža sesija u kojoj je prvo ispitan utjecaj velikog ometača a zatim utjecaj malog ometača. Nakon tri prolaza automobila, odnosno CHCNAV prijemnika pokraj svakog ometača sesija je završena.

Ispitivanje utjecaja ometača na uređaj Topcon GMS-2Pro provedeno je istodobno s ispitivanjem utjecaja na CHCNAV uređaj, no podatci opažanja nisu dostupni.

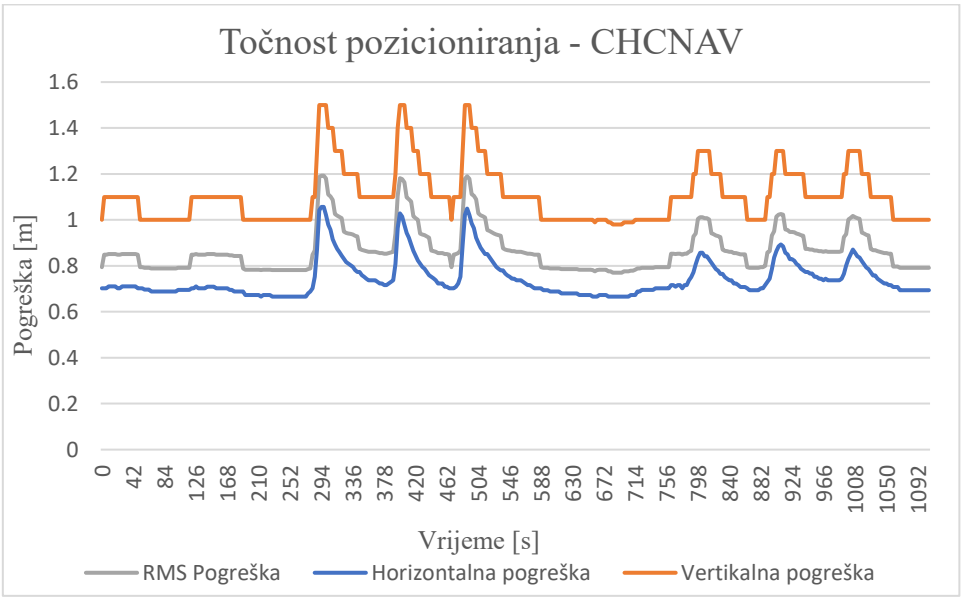
Podatci opažanja uređaja CHCNAV LT700H pohranjeni su u *.csv* datoteci. U softveru Microsoft Excel izrađeni su grafički prikazi broja vidljivih i praćenih satelita, različitih DOP-ova i točnosti opažanja.

Slika 145 prikazuje broj satelita i DOP vrijednosti iz opažanja CHCNAV uređaj u pokretu. Do 650. sekunde uključen je veliki ometač, a zatim je do kraja sesije uključen mali

ometač. Veliki ometač ne utječe značajno na broj satelita, niti na DOP, no Slika 146 prikazuje točnost pozicioniranja u sesiji i utjecaj velikog ometača ipak je nedvojbeno prisutan. Svakim prolazom CHCNAV uređaja pokraj velikog ometača srednja kvadratna pogreška pozicioniranja raste sa početnih 0,8 na 1,2 metra. Za razliku od velikog ometača, mali ometač uzrokuje pad broja korištenih satelita sa šest na dva svakim prolazom uređaja pokraj ometača. Isto tako uzrokuje i povećanja vrijednosti DOP-a i srednje kvadratne pogreške pozicioniranja, koja raste sa početnih 0,8 na 1,0 metar. Iako je utjecaj malog ometača vidljiv u smanjenju broj satelita, pogreška pozicioniranja manjeg je iznosa nego u slučaju ometanja velikog ometača. Isti zaključak donesen je i kod statičkih opažanja i ometačem u pokretu.



Slika 145. Broj satelita i DOP – CHCNAV, kinematika



Slika 146. Točnost pozicioniranja – CHCNAV, kinematika

8.3. Opažanje INS/GNSS uređaja

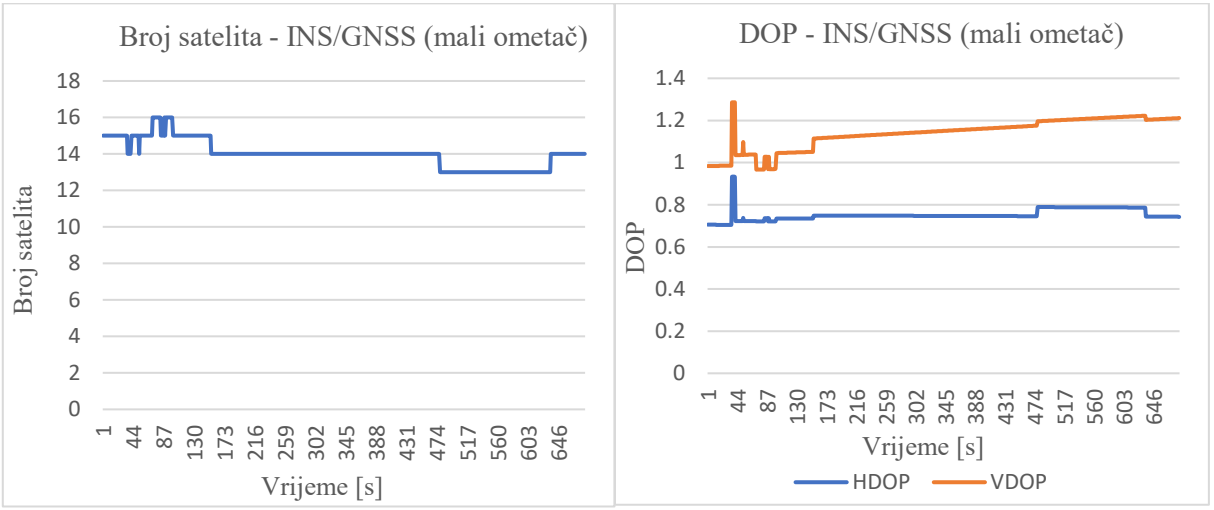
Ispitivanje utjecaja ometača na kinematička mjerenja INS/GNSS uređaja Spatial provedeno je 27. svibnja 2021., istovremeno s ispitivanjima utjecaja ometača na precizne geodetske prijemnike. INS/GNSS uređaj Spatial spaja se na računalo putem USB ulaza, a kontrolira se putem softvera *Spatial Manager 5.8*. Antena uređaja postavljena je na krov automobila, dok se sam uređaj i laptop koji ga kontrolira nalaze u automobilu. Interval opažanja je jedna sekunda. Ometači su postavljeni u neposrednu blizinu trajektorije opažanja, a sama opažanja su podijeljena na dvije sesije, po jedna za svaki od ometača. Slika 147 prikazuje trajektoriju uređaja Spatial kada je uključen mali ometač, a Slika 148 prikazuje trajektoriju kada je uključen veliki ometač. U programu Google Earth Pro detaljno su pregledane obje trajektorije te nisu uočena nikakva odstupanja pod utjecajem ometača. U svakoj sesiji automobil s prijemnicima prolazi tri puta pokraj ometača. Nakon provedbe opažanja i konvertiranja datoteke opažanja u *.csv* datoteku, podatci broja opažanih satelita, DOP-a te točnosti pozicioniranja prikazani su grafički, koristeći program Microsoft Excel.

Slika 147. Trajektorija INS/GNSS Spatial – Mali ometač

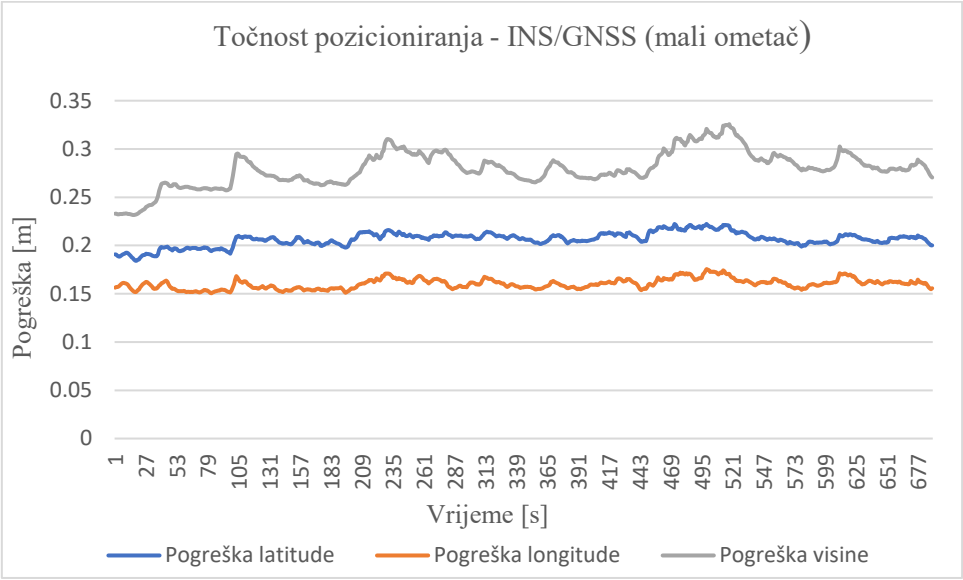
Slika 148. Trajektorija INS/GNSS Spatial – Veliki ometač

Slika 149 prikazuje graf broja opažanih satelita i DOP-a, koje opaža INS/GNSS uređaj prilikom ispitivanja utjecaja malog ometača na pokretne prijemnike. Slika 150 prikazuje

točnost pozicioniranja tijekom trajanja iste sesije. Niti jedan graf ne pokazuje značajne promijene tijekom vremena, koje su vezane za utjecaj ometača, stoga je moguće zaključiti da utjecaja maloga ometača nema ili je minimalan.



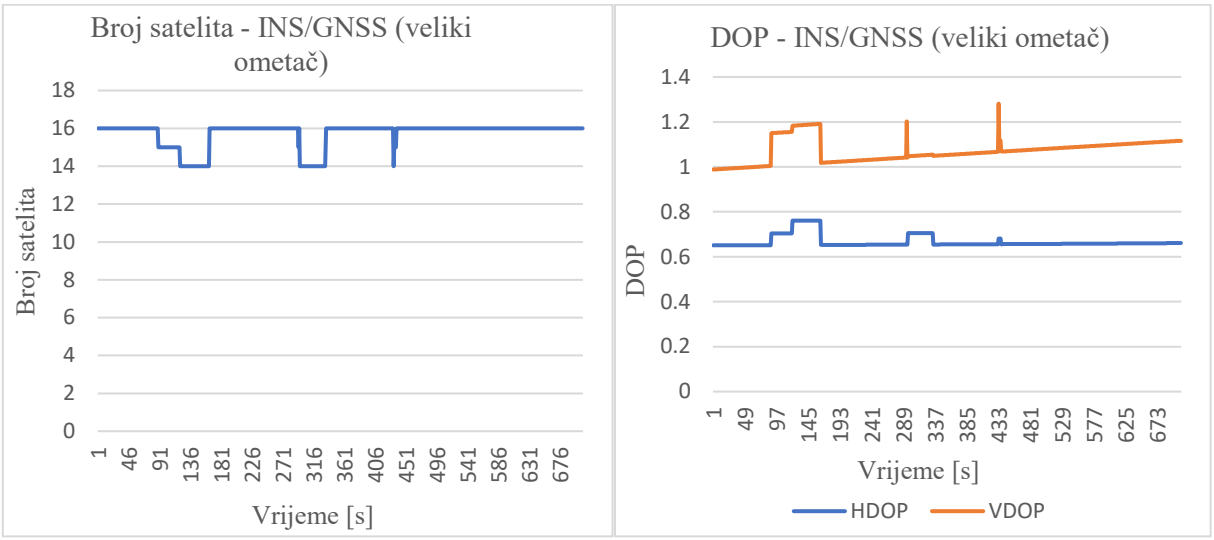
Slika 149. Broj opažanih satelita i DOP – INS/GNSS, kinematika (mali ometač)



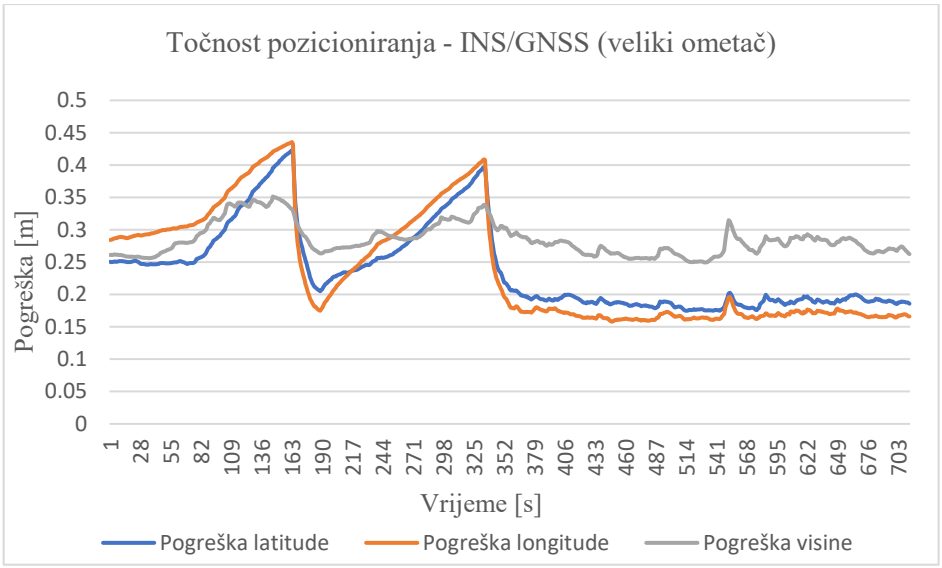
Slika 150. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS, kinematika (mali ometač)

Slika 151 prikazuje graf broja opažanih satelita i DOP-a, koje opaža INS/GNSS uređaj Spatial prilikom ispitivanja utjecaja velikog ometača na pokretne prijemnike, dok Slika 152 prikazuje točnost pozicioniranja tijekom sesije. Približna vremena prolazaka automobila s prijemnicima pokraj ometača iznose 300, 440 i 550 sekundi od početka sesije. Vidljiv je pad broja opažanih satelita na tri mjesta, a tako i porast DOP-a, zajedno sa smanjenjem točnosti pozicioniranja. Usporedbom vremena prolaska automobila pokraj ometača i vremena s opažanjima loše kvalitete, vidljivo je da se ne poklapaju u potpunosti. Pad broja opažanih satelita i točnosti kvalitete pozicioniranja na približno 300 i 550 sekundi opažanja vjerojatno jesu uzrokovani utjecajem velikog ometača, no kako je pad točnosti opažanja na 150 i 300

sekundi izgledom i intenzitetom vrlo sličan, postoji mogućnost da uzrok pada kvalitete opažanja ipak nije veliki ometač.



Slika 151. Broj opažanih satelita i DOP – INS/GNSS, kinematika (veliki ometač)



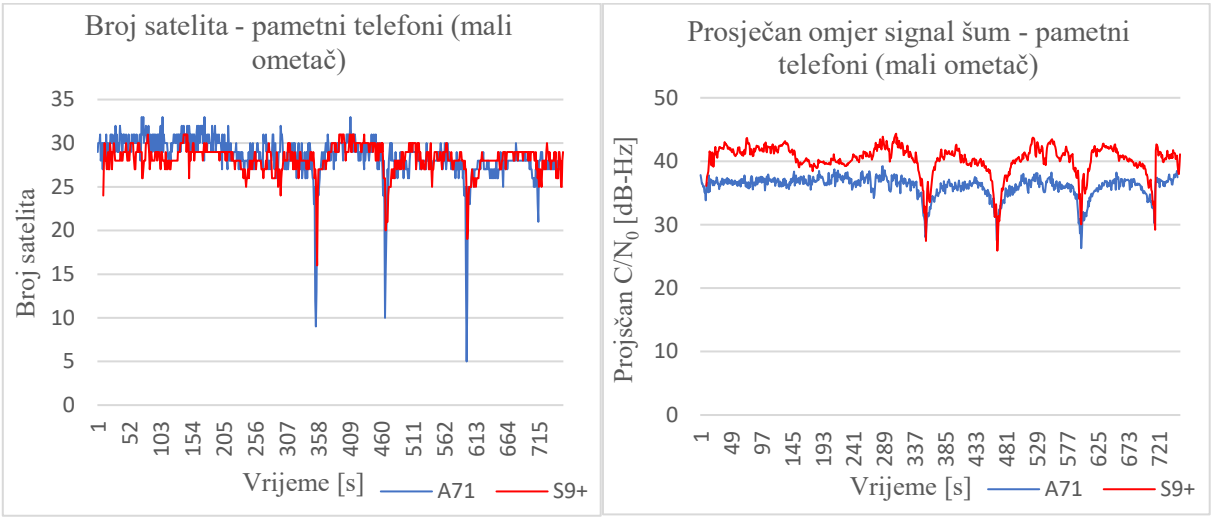
Slika 152. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS, kinematika (veliki ometač)

8.4. Opažanje mobilnih telefona

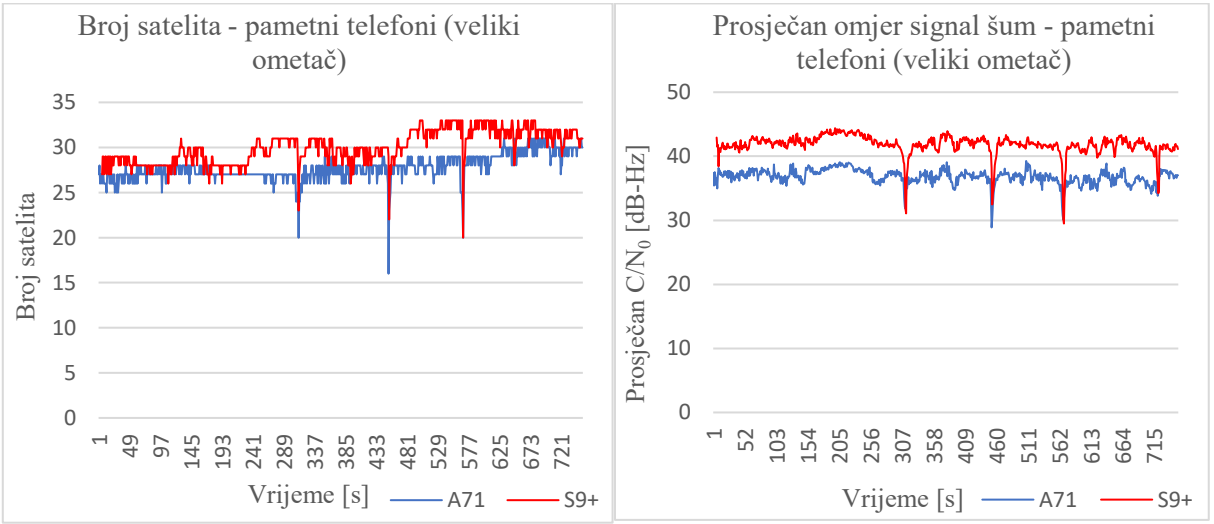
Opažanje utjecaja ometača na kinematička mjerenja pametnih telefona Samsung Galaxy S9+ i Samsung Galaxy A71, provedena su istovremeno s ispitivanjem utjecaja ometača na precizne GNSS prijemnike i INS/GNSS uređaj. Mobiteli su postavljeni na posebno izrađen stalak koji je učvršćen za krov automobila. Opažane su dvije sesije, po jedna za svaki korišteni ometač, a u svakoj sesiji prijemnik pokraj ometača prolazi tri puta. Opažanja su provedena uz pomoć mobilne aplikacije *Geo++ RINEX logger*, koja pohranjuje neobrađena mjerenja GNSS

prijemnika pametnog telefona u memoriju uređaja kao RINEX datoteku. Ista datoteka je obrađena u programu Microsoft Excel i izrađeni su grafovi s prikazima broja opažanih satelita i njihove prosječne snage.

Slika 153 prikazuje broj satelita, i njihovu prosječnu snagu, koje opažaju pametni telefoni prilikom kinematičkih mjerenja, a koji su pod utjecajem malog ometača. Isto prikazuje i Slika 154, kada je ispitan utjecaj velikog ometača. Djelovanjem malog ometača, broj opažanih satelita uređaja Samsung Galaxy A71 na trenutke pada s približno 30 na 5, a broj opažanih satelita uređaja Samsung Galaxy S9+ pada na 16, tako da ovaj uređaj ipak pokazuje bolju otpornost na ometanja. Iz grafova je vidljivo da veliki ometač djeluje slabije od malog, kako je broj izgubljenih signala satelita pod njegovim utjecajem manji. Isto tako, utjecaj velikog ometača vremenski je kraći prilikom prolaza automobila, što znači da ima manji doseg. Rezultati ispitivanja pokazuju konzistentnost utjecaja ometača na pametne telefone.



Slika 153. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – pametni telefoni, kinematika (mali ometač)



Slika 154. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – pametni telefoni, kinematika (veliki ometač)

9. ISPITIVANJE UTJECAJA OMETAČA NA BESPILOTNU LETJELICU

Utjecaj malog GNSS ometača na bespilotnu letjelicu DJI Phantom 4, ispitala je i analizirala kolegica Dora Hulina 2018. godine u svom diplomskom radu, iz kojega je jasno vidljivo da na međusobnoj udaljenosti od 20 metara između ometača i letjelice, postavljene na stativ, letjelica ne prima GNSS signale, dok na 30 metara opaža samo signale 3 satelita, a na 50 metara 15 satelita. Svrha ponovnoga ispitivanja utjecaja ometača na bespilotnu letjelicu je proširenje spoznaje, kako letjelica reagira na gubitak GNSS signala, ali prilikom polijetanja i tijekom leta, pod utjecajem malog i velikog ometača.

Bespilotna letjelica (BPL) DJI Phantom prvenstveno se koristi za snimanje iz zraka. Uređaj posjeduje GNSS prijemnik te na taj način može letjeti po unaprijed zadanoj putanji. Slika 155 prikazuje letjelicu, a Tablica 17 tehničke specifikacije BPL.

Slika 155. Bespilotna letjelica DJI phantom 4 (URL 36)

Tablica 17. Tehničke specifikacije BPL DJI Phantom 4 (URL 37)

LETJELICA	
Masa	1380 g
Dijagonalna veličina (bez propelera)	350 mm
Maksimalna brzina	20 m/s
Operativna temperatura	0° - 40°
Maksimalno vrijeme leta	28 min
Satelitski sustavi	GPS i GLONASS
Točnost pozicioniranja	Vertikalno ± 0,1 m (koristeći Vision pozicioniranje) ± 0,5 m (koristeći GPS pozicioniranje) Horizontalno ± 0,3 m (koristeći Vision pozicioniranje)

	± 1,5 m (koristeći GPS pozicioniranje)
SUSTAV VISION	
Visinski raspon	0 – 10 m
Operativni raspon	0 – 10 m
Domet senzora prepreka	0,7 – 15 m
Vidno polje	Prema naprijed: 60°(H), ±27° Prema dolje :70°(ispred i iza), 50° (lijevo, desno)
Frekvencija mjerenja	Prema naprijed: 10 Hz Prema dolje: 20 Hz
KONTROLER	
Frekvencija korištenja	2,400 – 2,483 GHz
Max udaljenost prijenosa podataka	5 km
Radna temperatura	0° C do 40° C
Baterija	6000 mAh LiPo 2S
Radni napon	1.2 A 7.4 V
Video izlaz	USB

Ispitivanje utjecaja GNSS ometača na bespilotnu letjelicu DJI Phantom 4 provedeno je 8. lipnja 2021. godine. Lokacija ispitivanja je Savski nasip, jugoistočni Zagreb, s druge strane obale od odlagališta otpada Jakuševec (Slika 156).

Slika 156. Lokacija ispitivanja utjecaja ometača na bespilotnu letjelicu

Na početku ispitivanja, mjerna vrpca postavljena je duž ceste, a ometač je postavljen na sam početak vrpce, kako prikazuje Slika 157. Zatim se pali ometač, a letjelica se pomiče po vrpci i traži se iznos maksimalne udaljenosti na kojoj ometač pokazuje utjecaj na BPL. Isto se ponavlja za oba ometača. Tako utjecaj velikog ometača utječe na gubitak GNSS signala na

udaljenosti od približno 10 metara, a utjecaj maloga ometača iznosi približno 20 metara. Točnu udaljenost nije moguće odrediti.

Slika 157. Ispitivanje dometa velikog ometača na BPL

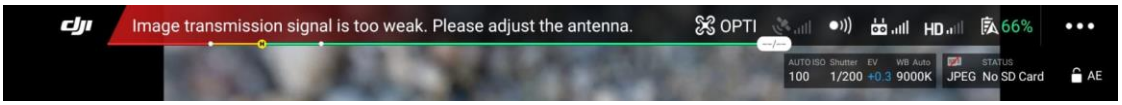
Prije polijetanja BPL izvršene su potrebne kalibracije kako bi letjelica sigurno poletjela. Slika 158 prikazuje dio ekrana mobilnog telefona spojenog s kontrolerom, koji prikazuje status letjelice ako nema GNSS signala ili je signal slab. Ukoliko prije polijetanja BPL ne prikuplja GNSS signale status letjelice glasi *Ready to GO (Vision)*, a ako nakon polijetanja BPL nema GNSS signala, status letjelice glasi *In-Flight (Vision)*. Letjelicom je tada moguće upravljati koristeći kontroler, a BPL koristi *Vision* sustav za izbjegavanje prepreka.

Vision sustav je sustav koji se sastoji i od dva optička senzora okrenuta prema naprijed i dva optička senzora okrenuta prema dolje, zajedno s dva procesora koji obrađuju sliku. Ovaj sustav prikuplja 3D informacije iz digitalnih slika koje senzori prikupljaju uz pomoć stereopsije, odnosno uspoređivanja informacija o sceni s dvije točke gledišta i računanja pozicije objekta iz dvije vidljive slike (URL 38)

Slika 158. Prikaz statusa letjelice kada nema GNSS signala ili je slab

Posebne greške javljaju se ukoliko se u neposrednoj blizini kontrolera ili BPL nalazi veliki ometač koji ometa vezu kontrolera i letjelice. Slika 159 prikazuje status BPL ukoliko je

prijenos slike s kamere letjelice na mobilni telefon slab. Ukoliko se intenzitet velikog ometača još poveća, veza letjelice i kontrolera potpuno se prekida (Slika 160) te ukoliko se u određenom intervalu ne uspije ponovo povezati, BLP slijeće na početnu poziciji ukoliko je to moguće.



Slika 159. Prikaz statusa kada je signal prijenosa slike slab

Slika 160. Prikaz statusa kada je veza letjelice i kontrolera izgubljena

Ispitan je i utjecaj oba ometača na BPL kada se letjelica kreće po unaprijed definiranoj putanji. Minimalna visina putanje je 10 metara, stoga utjecaj ometača na letjelicu nije bio zamjetan. U daljnjim istraživanjima moguće je ponoviti isto ispitivanje, ali kada letjelica prolazi neposredno pokraj ometača.

10. DISKUSIJA

Nakon svih provedenih opažanja i analize rezultata tih opažanja slijedi diskusija. Prva stvar koju je moguće zamijetiti još prilikom opažanja na terenu, je daleko veći doseg utjecaja malog i jeftinog GNSS ometača od onoga većega i složenijeg ometača. Tako je prilikom ispitivanja utjecaja ometača na uređaj Topcon GMS-2Pro, mali ometač, već na 220 metara udaljenosti, potpuno blokirao GNSS signale koje opaža spomenuti Topcon uređaj, iz čega se može zaključiti da doseg utjecaja malog ometača iznosi 220 ili više metara. Značajan utjecaj velikog ometača na većinu ispitanih uređaja vidljiv je tek na 10 metara udaljenosti od tih uređaja, a tada se javlja i poseban slučaj ometanja kod oba Trimble uređaja, jer veliki ometač uzrokuje gubitak *bluetooth* veze između kontrolera i Trimble prijemnika. I dok se Trimble R12i ubrzo oporavio od gubitka veze s kontrolerom te nastavio opažanja, Trimble R8 sesiju nije opažao jer nije uspostavio vezu s kontrolerom gotovo čitavu sesiju. Unatoč mogućeg gubitka veze s kontrolerom u blizini velikog ometača, oba Trimble uređaja pokazuju iznimno dobre sposobnosti opažanja u blizini ometača. Uspoređujući utjecaje ometača na korištene uređaje Topcon i Trimble proizvođača, Trimble se pokazuje daleko boljim, s obzirom da kod svih statičkih opažanja broj opažanih satelita, kod oba Trimble uređaja, ne prelazi manje od 5, čak niti na 10 metara udaljenosti od malog ometača. S druge strane, mali ometač uzrokuje gubitak svih opažanih GNSS signala uređaja Topcon HiPer SR već na 50 metara udaljenosti. Izvještaj procesiranja baznih linija u TBC softveru sadrži grafove praćenih signala satelita svih opažanih sesija preciznih GNSS prijemnika. Ono što se može zaključiti uspoređujući grafove praćenih satelita i elevacije istih satelita iz planiranja opažanja je to da ometači ponajprije uzrokuju gubitke signala satelita nižih elevacija, a približavanjem ometača, odnosno pojačavanjem utjecaja ometanja, gube se signali satelita sve viših elevacija, sve dok svi signali nisu blokirani. Prilikom ispitivanja kinematičkih mjerenja, kada su ometači u mirovanju, svi precizni GNSS instrumenti pokazuju vrlo česte promjene broja opažanih satelita i kratkotrajne gubitke GNSS signala tijekom cijele sesije, čemu su uzrok najvjerojatnije visoka stabla koja blokiraju signal, slaba internetska veza ili druge nesavršenosti uređaja. Prolaskom preciznih GNSS prijemnika pokraj ometača, kod gotovo svih uređaja vidljiv je gubitak GNSS signala satelita. Kod oba Trimble uređaja gubitak signala traje nekoliko sekundi, no pod utjecajem malog ometača uređaj Topcon HiPer SR gubi signal oko pola minute prilikom svakog prolaska pokraj ometača. Ispitivanja utjecaja malog ometača na već spomenuti Topcon GMS-2Pro uređaj, kod statičkih opažanja vidljiv je trenutan gubitak svih GNSS signala, a kada se opaža sesija s ometačem u pokretu, jasno je vidljiv svaki prolazak automobila pokraj uređaja, jer uređaj gubi sve opažane signale satelita na približno 20 sekundi prilikom prolaska automobila. Djelovanje velikog ometača je slabije, stoga ovaj uređaj čak i na 10 metara udaljenosti od velikog ometača još uvijek uspješno opaža vrlo nizak broj satelita. Slijedi CHCNAV LT700H uređaj. Zanimljivost ovoga uređaja je to da veliki ometač uzrokuje značajno smanjenje točnosti pozicioniranja, no nikako ne utječe na broj vidljivih satelita, dok utjecaj malog ometača jasno uzrokuje smanjenje broja opažanih satelita, no ima puno manji utjecaj na točnost pozicioniranja. Značajan utjecaj ometača na INS/GNSS uređaj Spatial nije vidljiv niti u jednoj sesiji opažanja, a utjecaj maloga ometača na pametne telefone značajan je tek u neposrednoj blizini ometača, što potvrđuje činjenicu da su jednostavni prijemnici često otporniji na ometanje zbog različitog načina

filtriranja signala. Kod ispitivanja utjecaja ometača, kad se između ometača i prijemnika nalazi nasip, sa sigurnošću se može potvrditi da nasip skoro u potpunosti blokira ometanje signala i jedini uređaj koji pokazuje vidljiv utjecaj ometača je Topcon GMS-2Pro, a i taj utjecaj je minimalan. Djelovanjem malog ometača na bespilotnu letjelicu, letjelica pokazuje gubitak GNSS signala ukoliko je udaljenost između letjelice i ometača manja od 20 metara. Isto tako, veliki ometač uzrokuje gubitak GNSS signala letjelice ukoliko je međusobna udaljenost manja od približno 10 metara. Ukoliko se kontroler ili letjelica nalaze u neposrednoj blizini velikog ometača, kvaliteta veze se smanjuje ili se veza potpuno gubi.

11. ZAKLJUČAK

Iz svih provedenih ispitivanja u ovome radu može se zaključiti da postoji jasna razlika utjecaja oba korištena ometača na različite uređaje. Iako je međusobna razlika korištenih ometača vrlo očita već prilikom prvih ispitivanja, ponajprije u dometu djelovanja, isto tako, vidno različite vrste prijamnika posjeduju različite sposobnosti zaštite od ometanja.

Počevši od preciznih GNSS prijemnika, oba Trimble uređaja pokazuju vrlo dobru zaštitu od ometanja. Trimble R12i (2021.) trenutno je najnoviji model prijemnika na tržištu, a direktnom usporedbom utjecaja ometača na njegovog prethodnika Trimble R8, razvitak tehnologije je nedvojben. Treći ispitani precizni GNSS prijemnik je Topcon HiPer SR. Zajedno s ispitanim GNSS/GIS uređajem Topcon GMS-2Pro, ova dva uređaja gotovo i ne posjeduju zaštitu od ometanja, te je utjecaj malog ometača na oba uređaja daleko veći nego na sve ostale ispitane uređaje. Kako su oba uređaja već stariji modeli prijemnika, postoji mogućnost da su Topcon uređaji novije generacije ipak nešto bolji u smislu obrane od ometanja signala. Ukoliko precizni GNSS uređaj ne posjeduje dobru zaštitu od ometanja, savjet je da kod preciznih mjerenja, naročito u urbanim područjima, sesije opažanja traju duže.

Opažanja uređaja CHCNAV LT700H pokazuju dobru zaštitu od ometanja pod utjecajem malog ometača, kako na 10 metara udaljenosti od ometača broj vidljivih satelita iznosi 11 od inicijalno opažanih 15, no iz grafa točnosti pozicioniranja pogreška pozicioniranja se udvostručuje. Utjecaj velikog ometača niti na jednom grafu ne prikazuje gubitak signala satelita no pogreška pozicioniranja se utrostručuje tijekom rada ometača.

Opažanja INS/GNSS uređaja Spatial ne pokazuju značajan utjecaj prilikom ispitivanja ometača, niti na 10 metara udaljenosti od oba ometača, niti kod kinematičkih mjerenja.

Kao što je navedeno i u diskusiji, mobilni telefoni pokazuju iznimno dobru otpornost na ometanja, a značajan utjecaj oba ometača vidljiv je tek u neposrednoj blizini telefona.

Razmatrajući opažanja mobilnih telefona, INS/GNSS uređaja te CHCNAV LT700H uređaja, utjecaj ometača na ove prijemnike nije naročito značajan čak ni na 10 metara udaljenosti. Isto tako, na 10 metara udaljenosti, Trimble prijemnici uspijevaju opažati relativno visok broj satelita, stoga samo Topcon uređaji pokazuju značajan utjecaj ometača. Kako se danas najveći broj ljudi pozicionira uz pomoć mobilnih telefona, ovo istraživanje pokazuje da su svi korisnici relativno sigurni od ometanja signala, osim ako se ne nalaze u neposrednoj blizini ometača. Ukoliko se ometači ili prijemnici kreću, utjecaj ometača najčešće je vrlo kratkotrajan, a stoga i zanemariv. Iz svih provedenih ispitivanja moguće je zaključiti da dva ispitana ometača ne predstavljaju gotovo nikakvu opasnost, prvenstveno zbog nedovoljne snage i kratkog dometa.

POPIS LITERATURE

Bačić, Ž. (2019/20): Navigacija, prezentacije s predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.

Benshoof, P., Hoey, M., D. (2005): Civilian GPS Systems and Potential Vulnerabilities, USAF 746 TS/CAX.

Feixue, W., Junwei N., Xiaodong, D.(2012): GNSS Open Signals Interference Issues and Countermeasures

Gao, G. X., Sgammini, M., Lu, M., & Kubo, N. (2016). Protecting GNSS Receivers From Jamming and Interference. Proceedings of the IEEE, 104(6), 1327–1338. doi:10.1109/jproc.2016.2525938

Hulina, D. (2018): Ispitivanje utjecaja GNSS ometača

Morales Ferre, R., Fuente, A., Lohan, E. S. (2019): Jammer Classification in GNSS Bands Via Machine Learning Algorithms

Rügamer, A., Kowalewski, D. (2015): Jamming and Spoofing of GNSS Signals – An Underestimated Risk?!, Njemačka

POPIS MREŽNIH MJESTA

URL 1: https://en.wikipedia.org/wiki/L_band

URL 2: https://www.orolia.com/resources/blog/lisa-perdue/2019/gnss-constellation-code-signal-frequency-services-what

URL 3: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Signal_Plan

URL 4: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Navigation_Message

URL 5: https://www.orolia.com/sites/default/files/GNSS_Frequency_Spectrum_Infographic.png

URL 6: https://blog.meinbergglobal.com/2020/04/12/gnss-jamming-and-how-to-mitigate-it/

URL 7: https://www.maritimeglobalsecurity.org/media/1043/2019-jamming-spoofing-of-gnss.pdf

URL 8: https://space-of-innovation.com/gnss-jamming-and-spoofing-hazard-or-hype/

URL 9: https://insidegnss.com/gps-jamming-and-interference-sparks-uk-concerns-technical-solutions/

URL 10: https://www.gpsworld.com/anti-jam-technology-demystifying-the-crpa/

URL 11: https://www.gnssplanning.com/

URL 12: https://r12i.trimble.com/

URL 13: https://geocentar.com/proizvod/gnss-topcon-hiper-sr/

URL 14: https://www.topconpositioning.com/support/products/fc-5000-field-controller

URL 15: https://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/pdf/HiPerSR_E.pdf

URL 16: https://agsgps.com/product/used-trimble-r8-gnss-model-4-system/

URL 17: https://gnssgpssystems.net/trimble-r8-model-3-gps-glonass-base-rover-receiver-set-w-tsc2-data-collector/

URL 18: https://surveysolutionsgroup.co.uk/wp-content/uploads/2020/09/R12i_2.jpg

URL 19: https://axis-gps.com/en/product/trimble-tsc7/

URL 20: https://r12i.trimble.com/img/Datasheet%20-%20Trimble%20R12i%20GNSS%20Receiver%20-%20English%20US%20-%20Screen.pdf

URL 21: https://geo-matching.com/mobile-gis-systems-and-field-controllers/gms-2pro-superceded

URL 22: https://www.geohide.com/data/file/TOPCON_GMS-2.pdf

URL 23: https://mytabletguide.com/chc-navigation-launches-lt700h-rtk-gnss-tablet/

URL 24: https://www.chcnav.com/uploads/LT700_DS_EN.pdf

URL 25: https://www.advancednavigation.com/products/spatial

URL 26: https://www.techinsights.com/blog/samsung-galaxy-s9-teardown

URL 27: https://jm-elektronika.hr/product/samsung-galaxy-s9-plus-g965/

URL 28: https://www.amazon.com/Samsung-SM-A715F-Caribbean-Cameras-Android/dp/B084GBC1KH

URL 29: https://hr.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel

URL 30: https://play.google.com/store/apps/details?id=de.geopp.rinexlogger&hl=hr&gl=US

URL 31: https://www.advancednavigation.com/products/spatial

URL 32: https://ftdichip.com/drivers/d2xx-drivers/

URL 33: https://www.cropos.hr/servisi/gpps

URL 34: https://www.igs.org/wg/rinex/

URL 35: https://developer.topcon.com/en/tps2rin

URL 36: https://www.aviteh.hr/dji-phantom-4-rtk.html

URL 37: https://www.dji.com/hr/phantom-4/info

URL 38: https://www.dji.com/newsroom/news/inside-a-drone-computer-vision

POPIS SLIKA

Slika 1. Spektar frekvencija GNSS signala različitih konstelacija (URL 5) 3
Slika 2. Jamming (lijevo) i spoofing (desno) GNSS signala (URL 7) 5
Slika 3. Snaga prijama signala CRPA antene pod utjecajem ometača (URL 10) 9
Slika 4. Lokacija provedenih mjerenja (Google Maps) 10
Slika 5. Broj vidljivih satelita i DOP (8. 4. 2021.) 11
Slika 6. Broj vidljivih satelita i DOP (18. 5. 2021.) 12
Slika 7. Broj vidljivih satelita i DOP (27. 5. 2021.) 12
Slika 8. Topcon HiPer SR (URL 13) i kontroler Topcon FC-5000 (URL 14) 13
Slika 9. Trimble R8 i kontroler Trimble TSC3 (URL 16) 14
Slika 10. Trimble R12i (URL 18) i kontroler Trimble TSC7 (URL 19) 15
Slika 11. Topcon GMS-2Pro (URL 21) 16
Slika 12. CHCNAV LT700H (URL 23) 17
Slika 13. INS/GNSS Spatial (URL 25) 18
Slika 14. Samsung Galaxy S9+ (lijevo)(URL 27) i Samsung Galaxy A71 (desno)(URL 28). 19
Slika 15. Broadcom BCM47752 (GNSS prijemnik iz uređaja Samsung Galaxy S9+)(URL 26) 19
Slika 16. Mali ometač 20
Slika 17. Veliki ometač 21
Slika 18. Sučelje aplikacije Geo++ RINEX logger 22
Slika 19. Sučelje računalnog programa Spatial Manager 23
Slika 20. CROPOS servisi i karakteristike (URL 33) 24
Slika 21. Dio RINEX datoteke opažanja 25
Slika 22. Skica položaja prijemnika i ometača prilikom statičkih opažanja 26
Slika 23. Stativ sa prijemnicima prilikom statičkih opažanja 26
Slika 24. Grafički prikaz izjedančenih točaka opažanih uređajima Trimble R8 (lijevo) i Trimble R12i (desno) 30
Slika 25. Grafički prikaz izjedančenih točaka opažanih uređajem Topcon HiPer SR 30
Slika 26. Dio grafa praćenih signala uređaja Topcon HiPer SR 31
Slika 27. Broj opažanih satelita - Trimble R8 na udaljenosti 220 metara od ometača 32
Slika 28. Broj opažanih satelita - Trimble R8 na udaljenosti 100 metara od ometača 32
Slika 29. Broj opažanih satelita - Trimble R8 na udaljenosti 50 metara od ometača 33
Slika 30. Broj opažanih satelita - Trimble R8 na udaljenosti 20 metara od ometača 33

Slika 31. Broj opažanih satelita - Trimble R8 na udaljenosti 10 metara od ometača 34
Slika 32. Broj opažanih satelita - Trimble R12i na udaljenosti 220 metara od ometača 34
Slika 33. Broj opažanih satelita - Trimble R12i na udaljenosti 100 metara od ometača 35
Slika 34. Broj opažanih satelita - Trimble R12i na udaljenosti 50 metara od ometača 35
Slika 35. Broj opažanih satelita - Trimble R12i na udaljenosti 20 metara od ometača 36
Slika 36. Broj opažanih satelita - Trimble R12i na udaljenosti 10 metara od ometača 36
Slika 37. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR na udaljenosti 220 metara od ometača.. 37
Slika 38. Prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR na udaljenosti 220 metara od ometača37
Slika 39. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR na udaljenosti 100 metara od ometača.. 38
Slika 40. Prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR na udaljenosti 100 metara od ometača38
Slika 41. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR na udaljenosti 50 metara od ometača.... 39
Slika 42. Prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR na udaljenosti 50 metara od ometača. 39
Slika 43. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR na udaljenosti 20 metara od ometača.... 40
Slika 44. Prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR na udaljenosti 20 metara od ometača. 40
Slika 45. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR na udaljenosti 10 metara od ometača.... 41
Slika 46. Prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR na udaljenosti 10 metara od ometača. 41
Slika 47. Broj opažanih satelita – Trimble R8 s ometačem iza nasipa 42
Slika 48. Broj opažanih satelita – Trimble R12i s ometačem iza nasipa 43
Slika 49. Broj opažanih satelita – Topcon HiPer SR s ometačem iza nasipa 43
Slika 50. Prosječna snaga siganala – Topcon HiPer SR s ometačem iza nasipa..... 43
Slika 51. Grafički prikaz točaka – Topcon HiPer SR 45
Slika 52. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 220 metara od malog ometača..... 46
Slika 53. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 100 metara od malog ometača..... 46
Slika 54. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 50 metara od malog ometača..... 46
Slika 55. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 20 metara od malog ometača..... 47
Slika 56. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 10 metara od malog ometača..... 47
Slika 57. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 220 metara od velikog ometača..... 48
Slika 58. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 100 metara od velikog ometača..... 48

Slika 59. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 50 metara od velikog ometača 49
Slika 60. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 20 metara od velikog ometača 49
Slika 61. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro na udaljenosti 10 metara od velikog ometača 49
Slika 62. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro – mali ometač iz nasipa 50
Slika 63. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – Topcon GMS-2Pro – veliki ometač iz nasipa 50
Slika 64. Grafički prikaz točaka opažanih CHCNAV uređajem 51
Slika 65. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, 220 m) 52
Slika 66. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, 220 m) 52
Slika 67. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, 100 m) 53
Slika 68. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, 100 m) 53
Slika 69. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, 50 m) 54
Slika 70. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, 50 m) 54
Slika 71. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, 20 m) 54
Slika 72. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, 20 m) 55
Slika 73. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, 10 m) 55
Slika 74. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, 10 m) 56
Slika 75. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, 220 m) 56
Slika 76. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, 220 m) 56
Slika 77. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, 100 m) 57
Slika 78. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, 100 m) 57
Slika 79. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, 50 m) 58
Slika 80. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, 50 m) 58
Slika 81. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, 20 m) 58
Slika 82. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, 20 m) 59
Slika 83. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, 10 m) 59
Slika 84. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, 10 m) 60
Slika 85. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (mali ometač, nasip) 61
Slika 86. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (mali ometač, nasip) 61
Slika 87. Broj satelita i DOP – CHCNAV LT700H (veliki ometač, nasip) 61

Slika 88. Točnost poziconiranja - CHCNAV LT700H (veliki ometač, nasip) 62
Slika 89. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (220 m)..... 63
Slika 90. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial(220 m) 63
Slika 91. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (100 m)..... 63
Slika 92. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial (100 m) 64
Slika 93. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (50 m)..... 64
Slika 94. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial (50 m) 64
Slika 95. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (20 m)..... 65
Slika 96. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial (20 m) 65
Slika 97. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (10 m)..... 65
Slika 98. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial (10 m) 66
Slika 99. Broj satelita – INS/GNSS Spatial (nasip) 66
Slika 100. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS Spatial (nasip) 66
Slika 101. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 220 m).... 67
Slika 102. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 100 m).... 68
Slika 103. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 50 m)..... 68
Slika 104. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 20 m)..... 69
Slika 105. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 10 m)..... 69
Slika 106. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, 2 m)..... 70
Slika 107. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 220 m).. 70
Slika 108. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 100 m).. 71
Slika 109. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 50 m).... 71
Slika 110. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 20 m).... 72
Slika 111. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 10 m).... 72
Slika 112. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, 2 m)..... 73
Slika 113. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (mali ometač, nasip) 74
Slika 114. Broj opažanih satelita i snaga signala – pametni telefoni (veliki ometač, nasip) ... 74
Slika 115. Prikaz putanje automobila i pozicije prijemnika..... 75
Slika 116. Grafički prikaz opažanih točaka – ometač u pokretu..... 76
Slika 117. Broj vidljivih satelita – Trimble R8 (veliki ometač u pokretu)..... 77
Slika 118. Broj vidljivih satelita – Trimble R12i (mali ometač u pokretu)..... 78
Slika 119. Broj vidljivih satelita – Trimble R12i (veliki ometač u pokretu)..... 78

Slika 120. Broj satelita i prosječna snaga signala – Topcon HiPer SR (mali ometač u pokretu) 79

Slika 121. Broj satelita i prosječna snaga signala – Trimble R12i (veliki ometač u pokretu) . 79

Slika 122. Prosječna snaga signala (mali ometač u pokretu) 80

Slika 123. Prosječna snaga signala (veliki ometač u pokretu) 81

Slika 124. Broj satelita i DOP – CHCNAV 82

Slika 125. Točnost pozicioniranja - CHCNAV 82

Slika 126. Broj opažanih satelita i DOP – INS/GNSS (mali ometač u pokretu) 83

Slika 127. Točnost pozicionranja – INS/GNSS (mali ometač u pokretu) 83

Slika 128. Broj opažanih satelita i DOP – INS/GNSS (veliki ometač u pokretu) 84

Slika 129. Točnost pozicionranja – INS/GNSS (veliki ometač u pokretu) 84

Slika 130. Broj opažanih satelita i prosječna snaga siganala – pametni telefon (mali ometač u pokretu) 85

Slika 131. Broj opažanih satelita i prosječna snaga siganala – pametni telefon (veliki ometač u pokretu) 85

Slika 132. Prikaz putanje kinematičkih mjerenja i pozicija ometača 86

Slika 133. Broj opažanih satelita i DOP – Trimble R8, kinematika (mali ometač) 87

Slika 134. Točnost pozicioniranja – Trimble R8, kinematika (mali ometač) 88

Slika 135. DOP – Trimble R8, kinematika (veliki ometač) 88

Slika 136. Točnost pozicioniranja – Trimble R8, kinematika (veliki ometač) 89

Slika 137. Broj opažanih satelita i DOP – Trimble R12i, kinematika (mali ometač) 89

Slika 138. Točnost pozicioniranja – Trimble R12i, kinematika (mali ometač) 90

Slika 139. Broj opažanih satelita i DOP – Trimble R12i, kinematika (veliki ometač) 90

Slika 140. Točnost pozicioniranja – Trimble R12i, kinematika (veliki ometač) 91

Slika 141. Broj opažanih satelita i DOP – Topcon HiPer SR, kinematika (mali ometač) 91

Slika 142. Točnost pozicioniranja – Topcon HiPer SR, kinematika (mali ometač) 92

Slika 143. Broj opažanih satelita i DOP – Topcon HiPer SR, kinematika (veliki ometač) 92

Slika 144. Točnost pozicioniranja – Topcon HiPer SR, kinematika (veliki ometač) 93

Slika 145. Broj satelita i DOP – CHCNAV, kinematika 94

Slika 146. Točnost pozicioniranja – CHCNAV, kinematika 94

Slika 147. Trajektorija INS/GNSS Spatial – Mali ometač 95

Slika 148. Trajektorija INS/GNSS Spatial – Veliki ometač 95

Slika 149. Broj opažanih satelita i DOP – INS/GNSS, kinematika (mali ometač) 96

Slika 150. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS, kinematika (mali ometač) 96

Slika 151. Broj opažanih satelita i DOP – INS/GNSS, kinematika (veliki ometač) 97
Slika 152. Točnost pozicioniranja – INS/GNSS, kinematika (veliki ometač) 97
Slika 153. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – pametni telefoni, kinematika (mali ometač) 98
Slika 154. Broj opažanih satelita i prosječna snaga signala – pametni telefoni, kinematika (veliki ometač) 98
Slika 155. Bespilotna letjelica DJI phantom 4 (URL 36) 99
Slika 156. Lokacija ispitivanja utjecaja ometača na bespilotnu letjelicu 100
Slika 157. Ispitivanje dometa velikog ometača na BPL 101
Slika 158. Prikaz statusa letjelice kada nema GNSS signala ili je slab 101
Slika 159. Prikaz statusa kada je signal prijenosa slike slab 102
Slika 160. Prikaz statusa kada je veza letjelice i kontrolera izgubljena 102

POPIS TABLICA

Tablica 1. Pregled provedenih mjerenja 10
Tablica 2. Tehnička specifikacije uređaja Topcon HiPer SR (URL 15) 13
Tablica 3. Tehničke specifikacije uređaja Trimble R8 (URL 17) 14
Tablica 4. Tehničke specifikacije uređaja Trimble R12i (URL 20) 15
Tablica 5. Tehničke specifikacije uređaja Topcon GMS-2Pro (URL 22) 16
Tablica 6. Tehničke specifikacije uređaja CHCNAV LT700H (URL 24) 17
Tablica 7. Tehničke specifikacije uređaja Spatial tvrtke Advanced Navigation (URL 25) 18
Tablica 8. Tehničke specifikacije malog ometača (Hulina, 2018) 20
Tablica 9. Tehničke specifikacije velikog ometača (Hulina, 2018.) 21
Tablica 10. Koordinate virtualnih referentnih stanica 28
Tablica 11. Izjednačene koordinate točaka opažane uređajem Trimble R8 28
Tablica 12. Izjednčene koordinate točaka dobivene opažanjem uređaja Trimble R12i 29
Tablica 13. Izjednčene koordinate točaka dobivene opažanjem uređaja Topcon HiPer SR 29
Tablica 14. Koordinate točaka iz apsolutnih opažanja uređaja Topcon GMS2-Pro 44
Tablica 15. Koordinate točaka iz apsolutnih opažanja uređaja CHCNAV LT700H 51
Tablica 16. Izjednačene koordinate točaka opažanja s ometačem u pokretu 76
Tablica 17. Tehničke specifikacije BPL DJI Phantom 4 (URL 37) 99