

Analiza statičkog i dinamičkog određivanja položaja sustavom GPS pomoću pametnih telefona

Glažar, Dominik

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:868449>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-30**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

DOMINIK GLAŽAR

**ANALIZA STATIČKOG I DINAMIČKOG ODREĐIVANJA
POLOŽAJA SUSTAVOM GPS POMOĆU PAMETNIH
TELEFONA
DIPLOMSKI RAD**

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**ANALIZA STATIČKOG I DINAMIČKOG ODREĐIVANJA
POLOŽAJA SUSTAVOM GPS POMOĆU PAMETNIH
TELEFONA**

**ANALYSIS OF STATIC AND DYNAMIC GPS
POSITIONING USING SMARTPHONES**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Satelitska navigacija

Mentor: izv. prof. dr. sc. David Brčić

Komentor: Tomislav Krljan, mag. ing. traff.

Student: Dominik Glažar

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112075911

Rijeka, srpanj 2023.

Student: Dominik Glažar

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112075911

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom
**ANALIZA STATIČKOG I DINAMIČKOG ODREĐIVANJA POLOŽAJA
SUSTAVOM GPS POMOĆU PAMETNIH TELEFONA**

izradio samostalno pod mentorstvom
izv. prof. dr. sc. Davida Brčića

te komentorstvom Tomislava Krljana mag. ing. traff.

stručnjaka iz tvrtke Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



Dominik Glažar

Student: Dominik Glažar

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112075911

IZJAVA STUDENTA – AUTORA

O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG DIPLOMSKOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor diplomskog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa diplomskim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog diplomskog rada kao autorskog djela pod uvjetima Creative Commons licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>.

Student



Dominik Glažar

SAŽETAK

Tehnologija određivanja položaja satelitskim putem postoji preko 50 godina, no nije uvijek bila precizna koliko je danas. Svejedno, preciznost ovog načina određivanja položaja nije savršena. S obzirom da gotovo svaki pametni telefon ima mogućnost određivanja položaja na ovaj način, u ovom diplomskom radu obrađena je tema analize statičkog i dinamičkog određivanja položaja sustavom GPS pomoću pametnih telefona u kojoj su prikazane detaljne razlike u točnosti određivanja položaja između korištenih uređaja u usporedbi s referentnim točkama i rutom. Korisnici nerijetko koriste pametne telefone kao primaran izvor položaja što može dovesti do lažne sigurnosti u vlastiti položaj. U ovom radi istraživala se njihova točnost u Riječkom zaljevu. Odabrani su isključivo GPS sateliti iz razloga što je sustav GPS-a najzastupljeniji u određivanju položaja. Korištenjem referentne stanice i rute, napravljeno je mjerenje GPS položaja s četiri pametna telefona te jednog referentnog multi-frekvencijskog GNSS prijamnika. Sva odstupanja od referentnih podataka prikazana su grafički i statistički, dok su rezultati detaljno analizirani i rastumačeni. Mjerenja su podijeljena na statička i dinamička, radi boljeg utvrđivanja točnosti određivanja položaja pametnih telefona u realnim uvjetima. Mjerenje je obavljeno u Rijeci, ispred Kostrenske obale i u Bakarskom zaljevu radi povoljnog balansa između otvorenih i ograničenih uvjeta otvorenosti okoliša. Dinamičko mjerenje je podijeljeno na ustaljenu plovidbu otvorenim područjem, manevriranje u zatvorenom području te manevriranje u otvorenom području. Uvidjele su se velike razlike između pojedinih uređaja, uključujući i velika odstupanja, no opća pokrivenost GPS satelitima promatranog područja je dobra te se točnost položaja nije značajno mijenjala ovisno o lokaciji mjerenja. Radi bolje analize sposobnosti pametnih telefona za pružanje adekvatne usluge satelitskog određivanja položaja bilo bi dobro obaviti još mjerenja u različitim vremenskim uvjetima.

Ključne riječi: satelitsko određivanje položaja, statistička obrada podataka, statička i dinamička mjerenja, analiza uspješnosti, pogreška položaja, koordinatna odstupanja, Sjeverni Jadran

Ovaj rad podržan je od Sveučilišta u Rijeci, projekta *uniri-technic 18-66: Istraživanje okolišnih utjecaja na rad satelitskih navigacijskih sustava u pomorskoj navigaciji*, voditelj: izv. prof. dr. sc. David Brčić

SUMMARY

Satellite based positioning has existed for over 50 years, but this service wasn't always as precise as it is today. Regardless, satellite based positioning services are still not perfectly precise. Considering that just about every modern smartphone can provide it's user with real-time satellite position, this master's thesis was created to analyse the precision of static and dynamic gps positioning using smartphones. Precision and correction of positions is thoroughly compared between each device in comparison with referent point and track. In current time, most smartphones have the ability to provide satellite based positioning and a significant amount of people use those services as their primary mean of navigation unaware that it might not be correct. Rijeka Bay was chosen to test these services. Considering that GPS is prevalent in amount of satellites in GNSS, only that system will be used in comparisons for smartphones. Using referent point and track, GPS position measurement was created with four smartphones and one multifrequency GNSS receiver. All deviations are shown both graphically, as well as numerically, and their outputs are explained. Measurements were divided to static and dynamic measurements to try and recreate typical real life conditions. Testing grounds for these measurements was Rijeka, Kostrena shore and Bakar Bay due to a favourable contrast between an open and constrained nearby geographical relief. Dynamic measurement was divided into three categories containing stabilized sailing in open areas, manoeuvring in sky constrained areas, and manoeuvring in once again open areas. Large deviations were noted between devices, including very large fluctuations; however, overall coverage with GPS satellites was found to be good and position precision on average was not considerably affected by changing environment. For a better insight in smartphones' GPS positioning capabilities in Rijeka Bay, further research in varying weather conditions is recommended.

Keywords: coordinate deviations, North Adriatic, performance analysis, position error, satellite based positioning, static and dynamic measurements, statistical data processing

This thesis was supported by the University of Rijeka research project *uniri-technic 18-66: Research of environmental impact on the operation of satellite navigation systems in maritime navigation*, project leader: Assoc. Prof. David Brčić.

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
SUMMARY.....	II
SADRŽAJ.....	III
1. UVOD	1
1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA	1
1.2. RADNA HIPOTEZA.....	2
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA	2
1.4. ZNANSTVENE METODE	3
1.5. STRUKTURA RADA	3
2. TEORETSKA PODLOŽNICA I PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	5
2.1. OPĆENITO O GNSS-U	5
2.2. GPS SIGNALI.....	11
2.3. ATMOSFERA I VANJSKI UTJECAJI NA SATELITE	13
2.4. UKUPAN PRORAČUN POGREŠKE POLOŽAJA	16
2.5. SATELITSKO ODREĐIVANJE POLOŽAJA	20
3. METODOLOGIJA EKSPERIMENTA MJERENJA POLOŽAJA....	26
3.1. PODRUČJE I RAZDOBLJE ISTRAŽIVANJA.....	26
3.2. POSTAVKE ISTRAŽIVANJA	31
3.3. OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA	37
3.4. KORIŠTENI PROGRAMSKI ALATI	38
3.5. PRIPREMA I OBRADA PODATAKA	39
4. ANALITIKA REZULTATA	43
4.1. STATIČKI DIO ISTRAŽIVANJA.....	43

4.1.1. Samsung A6.....	44
4.1.2. Samsung S6	49
4.1.3. Samsung S8	55
4.1.4. Zbirni rezultati	60
4.2. DINAMIČKI DIO ISTRAŽIVANJA	63
4.2.1. Analiza prve faze	64
4.2.2. Analiza druge faze.....	71
4.2.3. Analiza treće faze	79
5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	85
5.1. STATIČKO MJERENJE	85
5.2. DINAMIČKO MJERENJE.....	87
6. ZAKLJUČAK	90
LITERATURA	92
POPIS SLIKA.....	96
POPIS TABLICA.....	99
PRILOZI.....	99
1. Kod pojedinog statičkog mjerenja	99
2. Kod ukupnog statičkog mjerenja	103
3. Kod dinamičkog mjerenja odstupanja	106

1. UVOD

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

U prošlosti je određivanje položaja na Zemlji bio poprilično zahtjevan zadatak, pogotovo u uvjetima bez prepoznatljivih objekata koji mogu poslužiti za orijentaciju. Radio navigacija je pružila mogućnost određivanja položaja na Zemlji. Omega, DECCA i Navigacija dugog dometa (eng. Long Range Navigation LORAN) sustavi predstavljaju početak radionavigacije dugog dometa. To su bili terestrički hiperbolički radionavigacijski sustavi koji su pružali azimute i udaljenosti do radiostanica preko velikih udaljenosti i time omogućavali određivanje položaja na Zemlji. Preciznost ovih sustava je bila tehnološki ograničena na odstupanje izračunatog položaja od više stotina metara u odnosu na stvarni položaj. Početkom satelitskih navigacijskih sustava se smatraju 1960-te godine prvom upotrebom američkog vojnog satelitskog sustava Transit. Za pogodnu pokrivenost Zemlje satelitskim signalima, bilo je potrebno imati konstelaciju od najmanje pet satelita u orbiti, iako je u orbiti uobičajeno istovremeno bilo barem 10 satelita, po jedan rezervni za svaki od pet potrebnih. Mali broj satelita je značio da su pojedina područja na Zemlji bila nepokrivena ikakvim satelitom više sati. Transit je upotrebljavao Dopplerov učinak za određivanje položaja na Zemlji prateći kretanje satelita po nebu iz oka promatrača. Prvi Globalni navigacijski satelitski sustav (eng. Global Navigation Satellite System GNSS) je Globalni sustav za određivanje položaja (eng. Global Positioning System GPS) s početkom rada u 1978. godini, a javnom dostupnošću u 1994. godini. GPS je danas najčešće korišten sustav u globalnom satelitskom određivanju položaja te se koristi u svakodnevnom civilnom životu. Većina modernih pametnih telefona ima mogućnost satelitskog određivanja položaja te se u ovom radu analizira njihova statička i dinamička preciznost na području Riječkog zaljeva. Okolne uvjete određivanja položaja satelitskim putem mogu se podijeliti na povoljne i nepovoljne. U ovom radu osmišljen je upravo takav kontrast u određivanju položaja satelitskim putem za pomorske potrebe. Korisnici pametnih telefona često koriste usluge lokacije prijenosnih elektroničkih uređaja te se postavlja pitanje koliko su takvi uređaji precizni u povoljnim uvjetima naprama nepovoljnim uvjetima. U ovom radu obrađuje se tema usporedbe točnosti i preciznosti satelitskog određivanja položaja između pametnih telefona koji predstavljaju jednostavne prijavnike i namjenskih multi-frekvencijskih prijavnika, koji predstavljaju najbolju praktičnu točnost. Pametne telefone predstavljaju

četiri uređaja različitih tipova i sposobnosti pri čemu se uspoređuje položaj dobiven isključivo putem Globalnog sustava za određivanje položaja (eng. Global Positioning System GPS) radi njegove najveće zastupljenosti u satelitskom određivanju položaja. Kao točni referentni položaji koriste se unaprijed znani položaji te položaji dobiveni multi-frekvencijskim prijamnikom. Mjerenja su izvršena na lokaciji Pomorskog fakulteta u Rijeci te kroz plovidbu Riječkim i Bakarskim zaljevom. Došlo se do zaključka da postoje veće razlike između pojedinih pametnih telefona te je teško utvrditi sve elementi koji su utjecali na takva odstupanja. Utvrđeno je da su sposobnosti određivanja položaja pametnih telefona u nepovoljnim uvjetima značajno manja negoli s uređajima čija je primarna namjena određivanje položaja satelitskim putem.

Na osnovi relevantnih činjenica o problematici znanstvenoga istraživanja može se definirati **problem istraživanja**: točnost određivanja položaja GPS sustavom na području Riječkog zaljeva.

Relevantne spoznaje o problematici i problemu istraživanja predstavljaju znanstvenu podlogu za definiranje **predmeta istraživanja**: istražiti i objasniti statističke podatke o dobivenim položajnim zapisima te protumačiti utjecaj vanjskih elemenata na točnost dobivenog položaja.

Problem i predmet istraživanja je **objekt istraživanja**, a to je analiziranje preciznosti satelitskog određivanja položaja pametnim telefonima koristeći GPS u otvorenim i više zatvorenim područjima Riječkog zaljeva u različitim uvjetima u usporedbi s namjenskim uređajem za satelitsko određivanje položaja kao najprecizniju amatersku vrijednost određivanja položaja.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Problem, predmet i objekt istraživanja determinirali su paradigmu za postavljanje **radne hipoteze**: pametni telefoni se mogu koristiti kao primaran izvor određivanja položaja koristeći sustav GPS u Riječkom zaljevu.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

U izravnoj vezi sa znanstvenim problemom, predmetom i objektom znanstvenog istraživanja postavljene radne hipoteze determinirani su **svrha i ciljevi istraživanja**:

statistički prikazati odstupanja izračunatih položaja pojedinih pametnih telefona u različitim okruženjima u usporedbi s najboljim praktički mogućim izračunatim položajem za to područje, koji je definiran multi-frekvencijskim prijamnikom.

Da bi se primjereno riješio postavljeni problem istraživanja, ostvario predmet istraživanja, dokazala postavljena hipoteza i postigli svrha i ciljevi istraživanja, u ovom je diplomskom radu primjenom znanstvenih metoda potrebno dati odgovore na brojna pitanja od kojih su najvažnija sljedeća:

- 1) Jesu li područja omeđena brdovitim reljefom poput Bakarskog zaljeva dobro pokrivena GPS satelitima?
- 2) Kako utječu meteorološki uvjeti na točnost određivanja položaja sustavom GPS?
- 3) Kakva je razlika u odstupanju dobivenog položaja između prijamnika u kretanju i stacionarnog prijamnika?

1.4. ZNANSTVENE METODE

U istraživanju teme ovoga rada, kao i u prezentaciji rezultata istraživanja korištene su u pravilnim omjerima znanstvene metode deskripcije, metoda analize i sinteze, metoda indukcije i dedukcije, kompilacije te komparativna metoda.

1.5. STRUKTURA RADA

Ovaj rad se sastoji od šest međusobno povezanih poglavlja u cilju istraživanja zajedničke tematske cjeline.

Prvo poglavlje **UVOD** sadrži problem, predmet i cilj istraživanje, kao i predstavljenu radnu hipotezu, korištene znanstvene metode te opis strukture rada.

Drugo poglavlje **TEORETSKA PODLOŽNICA I PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA** predstavlja upoznavanje čitatelja s osnovnom tematikom i korištenih načina određivanja položaja sustavom GPS. Također objašnjeno je zašto dolazi do mogućih odstupanja točnosti položaja kao i očekivanu preciznost položaja dobivenog satelitskim putem pomoću pametnih telefona na temelju postojećih istraživanja.

Treće poglavlje **METODOLOGIJA EKSPERIMENTA MJERENJA POLOŽAJA** objašnjava način na koje se ovo istraživanje temelji, korištene uređaje, vremenske i okolišne uvjete, podjelu mjerenja, korištene pretpostavke u mjerenju, korištene programske alate, matematičke formule te ostale oblike formatiranja podataka potrebnih za dobivanje adekvatnih rezultata za ovu usporedbu.

Četvrto poglavlje **ANALITIKA REZULTATA** prikazuje dobivene rezultate podijeljene po spomenutim podjelama. Rezultati su prikazani grafički i statistički. Na temelju snimljenih podataka u mjerenju ističu se i objašnjavaju zanimljivosti u rezultatima.

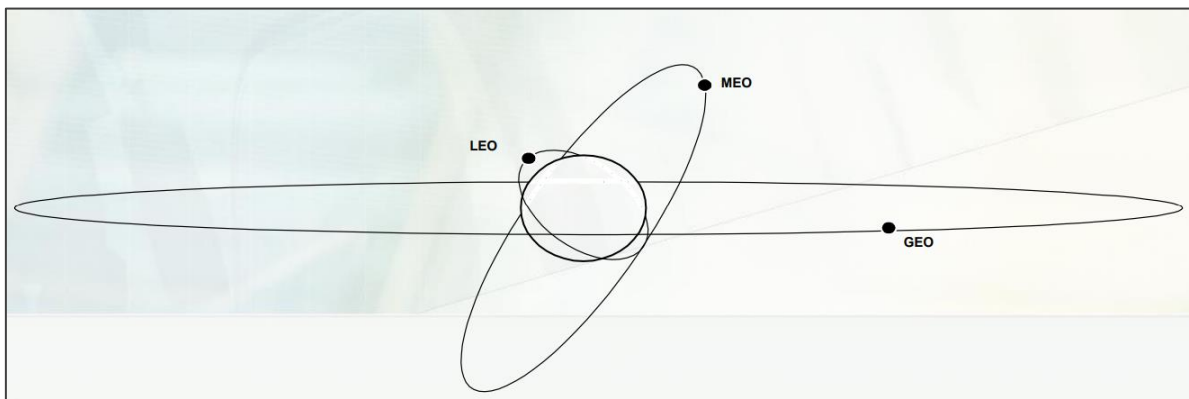
Peto poglavlje **ZAKLJUČNA RAZMATRANJA** sažeto prikazuje rezultate te njihove međusobne povezanost i korelacije. Razmatraju se dobiveni rezultati s obzirom na očekivane.

Šesto poglavlje **ZAKLJUČAK** predstavlja sveukupni sažetak dobivenih rezultata te prihvatljivost o korištenju pametnih telefona za usluge satelitskog određivanja položaja u pomorske svrhe u Riječkom zaljevu na temelju međunarodnih zahtjeva i rezultata mjerenja.

2. TEORETSKA PODLOŽNICA I PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

2.1. OPĆENITO O GNSS-U

Globalni navigacijski satelitski sustavi ili GNSS se sastoje od konstelacija satelita koji pružaju vlastite položaje i vremenske podatke iz svemira prema GNSS prijamnicima.¹ Konstelacija satelita predstavlja sustav skupine umjetnih satelita koji zajedno djeluju u cilju obavljanja iste zadaće te imaju zajednički sustav upravljanja.² GNSS prijamnici računaju vlastiti položaj na temelju primljenih podataka. Uspoređivanjem vremena slanja signala sa satelita i primanje signala u prijamniku, uz znanu brzinu propagacije radio valova, moguće je dobiti udaljenost do satelita kao jednu od stajnica u određivanju položaja. Po definiciji, GNSS pruža globalnu pokrivenost satelitskim signalima. Primjer takvih sustava su europski Galileo, američki GPS, ruski GLONASS (rus. Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) te kineski BeiDou. Uz globalne, postoje i drugi regionalni sustavi poput indijskog IRNSS (eng. Indian Regional Navigation Satellite System) i japanskog QZSS (eng. Quasi-Zenith Satellite System).



Slika 1. Prikaz različitih orbita satelita u GNSS sustavu

Izvor: izradio student

Slika 1. prikazuje korištene vrste orbita po visini i inklinaciji u GNSS sustavu. Inklinacija satelita predstavlja kut orbite u odnosu na ekvator Zemlje.³ Satelite oko Zemlje

¹ EUSPA, *What is GNSS?*, <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss>, prosinac 2021

² L. Matignon, *Satellite constellations, a race is engaged*, Space Legal Issues, svibanj 2019.

³ P. Goldreich, *Inclination of Satellite Orbits about an Oblate Precessing Planet*, The Astronomical Journal, Volume 70, edition 1, veljača 1965.

možemo podijeliti u četiri kategorije ovisno o njihovim orbitama. Sateliti u niskoj orbiti oko Zemlje (eng. Low Earth Orbit LEO) se nalaze na visini manjoj od 2000 km. Sateliti u srednje visokoj orbiti oko Zemlje (eng. Medium Earth Orbit MEO) se nalaze između visoke orbite oko Zemlje (eng. High Earth Orbit HEO) i niske orbite oko Zemlje (eng. Low Earth Orbit LEO) na visini između 2000 i 35 786 km.⁴ Sateliti preko 35 786 km spadaju u kategoriju visoke orbite oko Zemlje. Geostacionarni sateliti (eng. Geosynchronous Equatorial Orbit GEO) su sateliti na visini od 35 786 km koji se rotiraju istom brzinom kao i Zemlja u smjeru Zemljine rotacije te se time njihov prividni položaj na nebeskoj sferi iz oka promatrača ne mijenja.

GPS sateliti se nalaze u srednje visokoj orbiti oko Zemlje na prosječnoj visini od 20 200 km.⁵ Svaki satelit ima vrijeme ophodnje oko Zemlje od 12 sati. Sateliti u GPS konstelaciji su posloženi u 6 jednako udaljenih orbita oko Zemlje. Svaka orbita sadrži četiri orbitalna utora (eng. slots) u kojima se nalaze osnovni sateliti. Ova podjela od 24 orbitalnih utora osigurava da korisnici uvijek mogu vidjeti barem četiri satelita iz bilo koje točke na Zemlji. U lipnju 2011. godine, GPS konstelacija se povećala za tri satelita. Tri od 24 orbitalnih utora su prošireni te šest satelita je premješteno za osiguravanje efektivne pokrivenosti Zemlje s konstelacijom od 27 orbitalnih utora.⁶ Inklinacija orbita je 55°. Ukupno se nalazi 38 GPS satelita u orbiti od čega su 32 upotrebljiva.

U veljači 2023. godine Galileo ima 28 satelita u orbiti od čega su 23 upotrebljiva.⁷ Sateliti se nalaze u MEO orbiti na prosječnoj visini od 23 222 km te je svakom satelitu za vrijeme ophodnje oko Zemlje potrebno oko 14 sati. Prednosti ovog sustava u odnosu na GPS je bolja pokrivenost polarnih područja i bolja preciznost u odnosu na ostale sustave.⁸ Sustav je podijeljen na tri orbite u kojima se nalaze osam satelita. Inklinacija orbita je 56°. Na svakoj orbiti će se nalaziti još dva satelita u rezervi.

GLONASS se sastoji od 25 satelita u orbiti od kojih su 24 upotrebljiva. Sateliti se nalaze na visini od 19 100 km te vrijeme ophodnje oko Zemlje traje oko 11 sati i 15 minuta. Konstelacija je podijeljena u tri orbite od kojih svaka ima 8 slotova. Inklinacija orbita je

⁴ H. Riebeek, Earth Observatory, *Catalog of Earth Satellite Orbits*, <https://earthobservatory.nasa.gov/features/OrbitsCatalog/page1.php>, rujan 2009.

⁵ GPS.GOV, *Space Segment*, <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>, svibanj 2022.

⁶ Ibidem

⁷ EUSPA, *Constellation Information*, <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>, lipanj 2023.

⁸ K. Kazmierski, R. Zajdel, K. Sośnica, *Evolution of orbit and clock quality for real-time multi-GNSS solutions*, Springer Link, kolovoz 2020.

64,8°. ⁹ U odnosu na GPS prednost ovog sustava je bolja preciznost položaja u polarnim područjima.

BeiDou se sastoji od 30 satelita u orbiti od kojih je 24 na visini od 21 528 km i inklinaciji od 55°, a šest na visini od 35 786 km od kojih su tri geostacionarni sateliti, a tri postavljeni u orbitama s inklinacijom od 55°. ¹⁰ BeiDou je precizniji od GPS-a u području Azije i Pacifika. ¹¹

Performanse GNSS sustava se određuju pomoću četiri kriterija:

- Preciznost: razlike između izračunatog položaja, brzine ili vremena prijavnika i stvarnih vrijednosti
- Integritet: sposobnost sustava za održavanje vjerodostojnosti podataka ili pravovremenog uzbunjivanja u slučaju pogreške
- Kontinuitet: sposobnost sustava za funkcioniranje bez poteškoća
- Dostupnost: postotak vremena u kojem signal ispunjava prethodno navedena tri kriterija

Osnovne komponente satelitskog navigacijskog sustava se mogu podijeliti na:

- Prostorna komponenta (konstelacija satelita postavljena s ciljem pokrivanja prostora na i oko Zemljine površine)
- Kontrolna komponenta (upravljački elementi sustava, uključujući brojne algoritme koji osiguravaju određivanje položaja i brzine s definiranom razinom kvalitete)
- Korisnička komponenta (korisnička oprema, uključuje prijavnik, antenu i pomoćne komponente)
- Prijenosni medij (prostor kroz koji se šire satelitski signali, prvenstveno ionosfera i troposfera)

⁹ GLONASS APPLIED CONSUMER CENTER, *About GLONASS*, https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/, lipanj 2023.

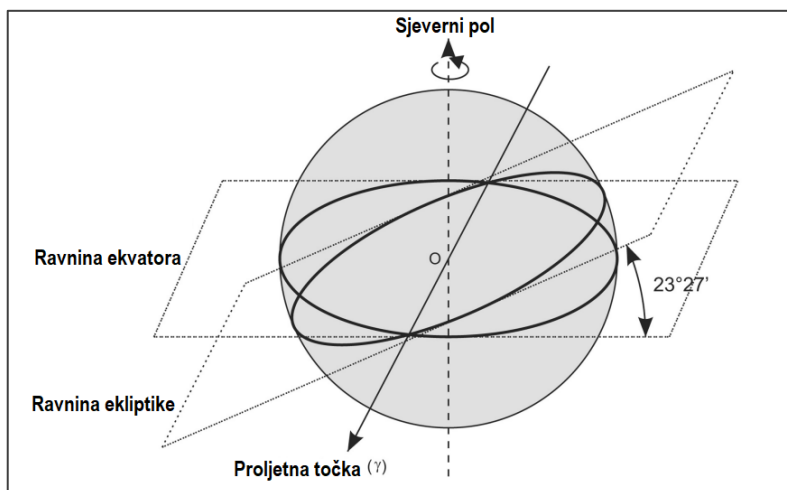
¹⁰ BeiDou Navigation Satellite System, *BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard*, izdanje 2.0, China Satellite Navigation Office, prosinac 2018., str 4

¹¹ M. Sahakyan, *China and Eurasian powers in a multipolar world order 2.0: security, diplomacy, economy and cyberspace*, Routledge, 2023.

Zemaljske nadzorne stanice nadgledaju rad, položaj i brzinu svakog satelita te prosljeđuju te informacije upravljačkim stanicama. Upravljačke stanice na temelju tih informacija računaju kretanje satelita u sljedećih nekoliko sati te potrebne ispravke sata. Ovi izračuni i ispravci se šalju svakom satelitu zasebno koji zatim prosljeđuje informacije prijammniku.

Nebeska sfera (eng. Celestial sphere) je zamišljena sfera proizvoljnog radijusa po kojoj se kreću nebeska tijela. Ukoliko se u središtu sfere nalazi motritelj tada je riječ o topocentričnoj nebeskoj sferi, a ukoliko je središte sfere središte Zemlje, tada je riječ o geocentričnoj sferi.¹²

Iz nebeskog ekvatorskog koordinatnog sustava moguće je opisati zemaljski Kartezijev (pravokutni) koordinatni sustav. Taj sustav se naziva inercijalnim koordinatnim sustavom usmjerenim na Zemlju (eng. Earth-Centred Inertial coordinate system ECI), koji se uobičajeno koristi u astronomskim proračunima. U Slici 2. prikazan je navedeni sustav sa središtem Zemlje označenim ishodištem O , Z os je polarna os, X os prolazi kroz proljetnu točku γ ,¹³ a Y os je odabrana da tvori desnokretni sustav i leži u ekvatorijalnoj ravnini za 90° u smjeru suprotnom od kazaljke na satu od X osi.¹⁴



Slika 2. Prikaz ECI koordinatnog sustava

Izvor: pripremio student temeljem Ibidem, str 201, slika 9.1

¹² D. Špoljarić, E-škola astronomije, *Nebeski koordinatni sustavi*, <https://eskola.zvezdarnica.hr/osnove-astronomije/polozajna-i-efemeridna-astronomija/nebeski-koordinatni-sustavi/>, lipanj 2023.

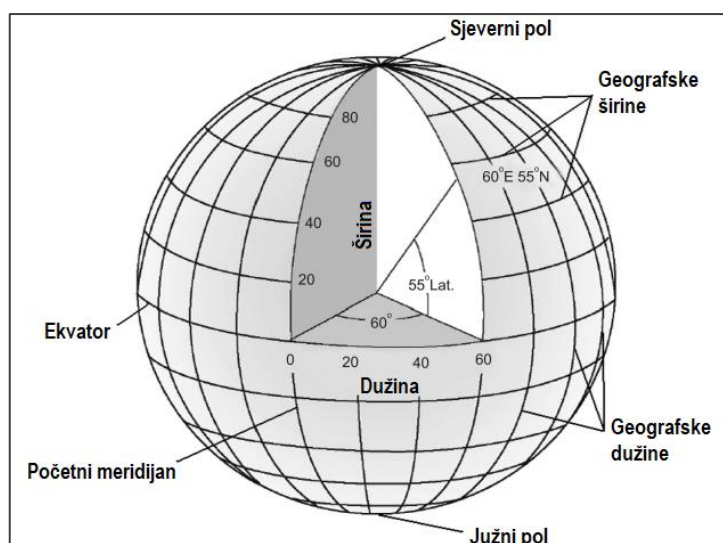
¹³ Proljetna točka je jedno od dvaju presjecišta nebeskog ekvatora i ekliptike

¹⁴ B. Bhatta, *Global Navigation Satellite Systems New Technologies and Applications*, drugo izdanje, CRC Press, Chennai, 2021., str 200

Međutim, ni nebeski ekvatorski ni ECI sustav nisu praktični za određivanje položaja na Zemlji. Budući da je proljetna točka fiksna točka, ona se ne rotira s rotacijom Zemlje oko svoje osi te sukladno tome, određeno mjesto na Zemlji ne zadržava iste vrijednosti koordinata. Ovi se sustavi uglavnom koriste za određivanje položaja zvijezda.

Za potrebe određivanja položaja, bolje je koristiti referentnu sliku koja se rotira sa Zemljom, dopuštajući jednu vrijednost koordinate za danu lokaciju cijelo vrijeme. U tu svrhu dizajniran je geografski koordinatni sustav (eng. Geographical Coordinate System GCS). GCS izražava svaku lokaciju na zemlji s dvije od tri koordinate krivuljastoga koordinatnog sustava (eng. Curvilinear coordinates), koji je poravnat s osi vrtnje Zemlje. GCS koristi 3D sfernu površinu za određivanje položaja na Zemlji. Položaj bilo koje točke na Zemljinoj površini može se definirati referentnom vrijednosti pomoću geografske širine i dužine. Geografska dužina i širina su kutovi mjereni od središta zemlje do točke na površini zemlje. Dakle, ishodište ovog koordinatnog sustava je središte Zemlje. Kut između linije koja spaja točku sa središtem Zemlje i ravnine ekvatora naziva se geografska širina. Kutna udaljenost u smjeru suprotnog od kazaljke na satu između ravnine početnog meridijana i ravnine meridijana točke mjerena u ravnini ekvatora naziva se zemljopisna dužina. U ovom sustavu, „horizontalne linije“ su linije geografske širine ili paralele. „Okomite linije“ su linije geografske dužine ili meridijani. Ove linije obuhvaćaju globus i tvore rešetkastu mrežu.

Iz GCS-a moguće je definirati ekvivalentni Kartezijev koordinatni sustav naziva koordinatni sustav usmjeren na Zemlju (eng. Earth-Centred Earth-Fixed coordinate system ECEF). Primjer ECEF koordinatnog sustava je prikazan u Slici 3.



Slika 3. Prikaz ECEF koordinatnog sustava

Izvor: pripremio student po Ibidem, str. 203, slika 9.3

Na Slici 3. istaknuto je da je sredina prikaza iz koje se mjere kutovi središte Zemlje. Z os je polarna os, orijentirana prema sjeveru. X os je na ravnini ekvatora i prolazi kroz početni meridijan u Greenwichu. Y os leži na ravnini ekvatora pod kutom od 90° u smjeru suprotnom od kazaljke na satu od X osi. GCS i ECEF koordinatni sustavi su vrlo praktični za određivanje položaja i dva su najčešće korištena referentna koordinatna sustava za satelitske navigacijske sustave. U upotrebi je mnogo različitih koordinatnih sustava i treba znati koji se trenutno koristi za prikaz. Ovo je izrazito bitno kod uspoređivanja različitih sustava određivanja položaja.

Zemlja je najbolje nazvana kao sferoid s obzirom da ne postoji uobičajeno geometrijsko tijelo koje odgovara Zemljinoj formi. Sferoid je baziran na elipsi, a elipsa je definirana s dva polumjera. Duži polumjer elipse se naziva velika poluos (eng. semi-major axis) dok se kraći polumjer naziva mala poluos (eng. semi-minor axis). Rotiranjem sfere oko male poluosi dobiva se sferoid ili elipsoid. Sferoid može bit definiran s malom poluosi a , velikom poluosi b ili spljoštenosti f . Spljoštenost je razlika između dvije osi, a izražena je izrazom koji slijedi:

$$f = (a - b)/a \quad (1)$$

Druga vrijednost koja može opisati oblik Zemlje je ekscentričnost e koja je prikazana izrazom:

$$e^2 = (a^2 - b^2)/a^2 \quad (2)$$

Zemlja je blago spljošten sferoid s poluosima od 6 378 i 6 357 km, iako odstupanja od nekoliko kilometara kroz oblik Zemlje postoje.

1983. godine, novi Zemaljski datum Svjetski geodetski sustav 1984 (eng. World Geodetic System 1984 WGS-84) je usvojen temeljen na mjerenjima iz 1980. godine prošlim Geodetskim datumom 1980 (eng. Geodetic Reference System 1980 GRS80). WGS-84 je referentni sustav i geodetski datum u kojem je Zemlja u središtu. Preciznost točke središta Zemlje je procijenjena na 2 cm.¹⁵ WGS-84 je baziran na modelima koji opisuju veličinu, oblik, gravitaciju i geomagnetska područja Zemlje. WGS-84 je referentni sustav GPS-a, dakle svi dobiveni položaji GPS-om se određuju koordinatama po WGS-84 datumu. Dužine

¹⁵ GISGeography, *Geodetic Datums: NAD 27, NAD 83 and WGS84*, svibanj 2022., <https://gisgeography.com/geodetic-datums-nad27-nad83-wgs84/>, (07.07.2023.)

poluosi Zemlje po WGS-84 iznose 6 378 137 i 6 356 752,31 m.¹⁶ WGS-84 je najnoviji i najčešće korišten geocentrični datum u uporabi te služi kao baza na kojoj se određuju položaji diljem svijeta.

2.2. GPS SIGNALI

Opisat će se signali GPS-a s obzirom da je to sustav koji se koristio u kasnijim usporedbama u ovom radu. GPS je u početku sadržavao dva koda, kod grube akvizicije (eng. Coarse Acquisition C/A) na L1 pojasu (1575,42 MHz) i precizni kod (eng. Precision P) kod na L1 i L2 (1227,60 MHz) pojasu. C/A kod je bio dostupan civilima, dok je kod P koristila američka vojska. C/A kod je pseudonasumičan kod (eng. pseudorandom code PRN) dužine sekvence (eng. chip) od 1023 bita koji se ponavlja svaku milisekundu. Brzina prijenosa koda je 1,023 Mcps [Megachips/s]. Svaki satelit ima unikatan PRN kod što omogućava prijammiku praćenje većeg broja satelita na istoj frekvenciji.¹⁷

P kod je također PRN, ali svaki P kod satelita je $6,1871 \cdot 10^{12}$ bitova dug (6 187 100 000 000 bitova). Ovaj kod ima brzinu prijenosa od 10,23 Mcps te se ponavlja jednom tjedno. Vrlo velika dužina ovog koda smanjuje dvosmislenosti udaljenosti. Dok je C/A kod unikatan za svaki satelit, P kod je manji dio od glavnog (eng. Master) P koda dužine $2,35 \cdot 10^{14}$ bitova (235 000 000 000 000 bitova) i svaki satelit odašilje svoj zadani dio glavnog koda. Za prevenciju korištenja P koda od strane neovlaštenih osoba, P kod je moduliran s W kodom koji je posebna enkripcijska sekvenca, te je stvoren Y kod i to je kod kojeg sateliti odašilju. Ovaj zaštićeni kod se zove P(Y) kod. Y kod je tajan, ali zna se da radi na frekvenciji od 500 kHz što je 20 puta sporije od frekvencije P koda.¹⁸

Uz PRN kod, prijammnik mora znati detaljne informacije o satelitskom položaju u konstelaciji. GPS odašilje ove informacije u C/A i P(Y) kodu na brzini od 50 bitova po sekundi te se ove informacije nazivaju navigacijska poruka. Navigacijska poruka se sastoji od tri dijela, a to su GPS satelitsko vrijeme te status satelita, zatim efemeride i završno

¹⁶ NOAA, Vertical Datum Transformation, *A tutorial on Datums*, svibanj 2019., <https://vdatum.noaa.gov/docs/datums.html>, (07.07.2023.)

¹⁷ GeoConnect, *GPS Signals (L1, L2, L5)*, 2023., <http://geoconnect.com.au/gps-signals-11-12-15/>, (07.07.2023.)

¹⁸ Ibidem

almanah. Navigacijska poruka se sastoji od okvira (eng. frame) od 1500 bitova koja je podijeljena u pet podokvira (eng. subframe) pojedinačne veličine 300 bitova. Brzina odašiljanja je 50 bit/s što znači da je potrebno šest sekundi za jedan subframe. Prvi subframe se sastoji od GPS sustavnog vremena te statusa satelita, spojeni drugi i treći subframe se sastoji od efemerida satelita te spojeni četvrti i peti subframe se sastoji od 1/25 almanaha. Dakle, za preuzimanje cijelog almanaha veličine 15 000 bitova je potrebno 12,5 minuta.¹⁹ Za GPS, efemeride se šalju satelitima svakih dva sata.²⁰

Almanah je skup podataka s informacijama približnih položaja svih satelita u konstelaciji tog sustava (poput GPS-a). Svaki satelit u konstelaciji odašilje almanah za sve satelite u konstelaciji. GPS almanah ima rok validnosti od šest ili sedam dana.²¹ Za razliku od almanaha, efemeride sadrže vrlo precizne informacije o orbiti i položaju pojedinog satelita te su potrebne za računanje položaja prijamnika. Budući da almanah traje duže razdoblje, GPS prijamnik sprema prikupljeni almanah u unutarnju memoriju što smanjuje vrijeme potrebno za dobivanje položaja satelita, a time i efemerida što posljedično smanjuje i vrijeme računanja položaja prijamnika, nakon ponovnog naknadnog uključivanja prijamnika. Ukoliko je GNSS prijamnik ugašen duže razdoblje ili je isključen pomaknut preko veće udaljenosti (preko nekoliko stotina kilometara), ulazi u „hladno“ stanje te je sljedećim uključivanjem potrebno duže vrijeme za lociranje satelita zbog neaktualnog almanaha. „Toplo“ stanje prijamnika je stanje prijamnika u kojemu su spremljeni almanah podaci još uvijek aktualni.²² Za „hladni“ GPS prijamnik, vrijeme uspostavljanja kontakta sa satelitima može iznositi do prethodno spomenutih 12,5 min. U slučaju prekida kontakta satelita i prijamnika tijekom prikupljanja podataka, potrebno je cijeli proces započeti iznova. Prikupljanjem podataka potrebnih za određivanje položaja isključivo preko komunikacije sa satelitima u dobrim uvjetima i pripremljenim almanahom traje do jedne minute. GPS prijamnici ugrađeni u pametne telefone mogu koristiti i Internet za brže prikupljanje podataka o satelitima putem potpomognutog GPS-a (eng. A-GPS, tj. Assisted GPS) u kojem se almanah i efemeride preuzimaju preko Interneta puno većim brzinama te stabilnijim načinom komunikacije.²³

¹⁹ Ibidem

²⁰ P. D. Grooves, *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, Artech House, Second Edition, 2013., str. 328

²¹ B. Bhatta, *Global Navigation Satellite Systems New Technologies and Applications*, CRC Press, Chennai, India, Second edition, 2021., str 43

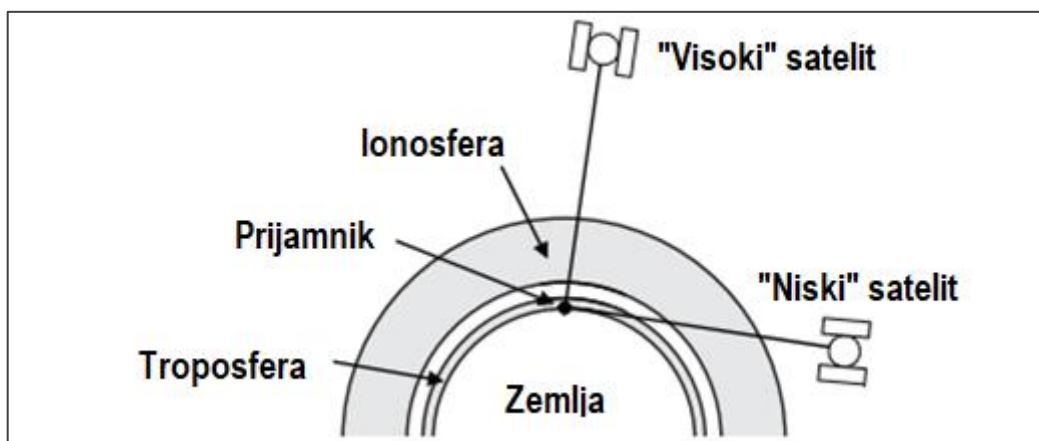
²² P. D. Grooves, Ibidem

²³ B. Bhatta, Ibidem, str. 167-168

2.3. ATMOSFERA I VANJSKI UTJECAJI NA SATELITE

Zemljina atmosfera se dijeli na neutralnu atmosferu i ionosferu. Neutralna atmosfera se sastoji od troposfere, stratosfere, mezosfere, termosfere i egzofere. Navedeni slojevi su električki neutralni.

Troposfera je najniži dio Zemljine atmosfere te je neposredno u kontaktu sa Zemljinom površinom. Prostire se od površine Zemlje do visina između 7 i 14 km, ovisno o točki promatranja. Iznad polova visina troposfere je 7 km, a iznad ekvatora 14 km. Stratosfera se u većini istraživanja upari s troposferom radi sličnih utjecaja na propagaciju satelitskih signala. Iz tog razloga, područje troposferskog kašnjenja se smatra područje atmosfere do 50 km visine. Troposfera je nedisperzivan medij za frekvencije do 30 GHz, dakle refrakcija satelitskih signala nije ovisna o frekvenciji signala u troposferi. Sve frekvencije satelitskih signala trpe jednaku razinu refrakcije koja je ovisna o temperaturi, atmosferskom tlaku, vlažnosti zraka i visine satelita na nebeskoj sferi. Ukoliko se zamisli topocentrična nebeska sfera koja čini područje između ravnine horizonta²⁴ i zenita²⁵ prijamnika, dobije se vidljivo područje satelita. Utjecaj refrakcije satelitskih signala je veći produljivanjem puta propagacije signala u atmosferi. Slika 4. prikazuje razliku u putu signala iz satelita do prijamnika između satelita visoko na nebeskoj sferi i satelita nisko na nebeskoj sferi, odnosno satelita koji se nalazi blizu horizonta. Satelit blizu horizonta ima značajno veću količinu troposfere za prevaliti na putu do prijamnika.



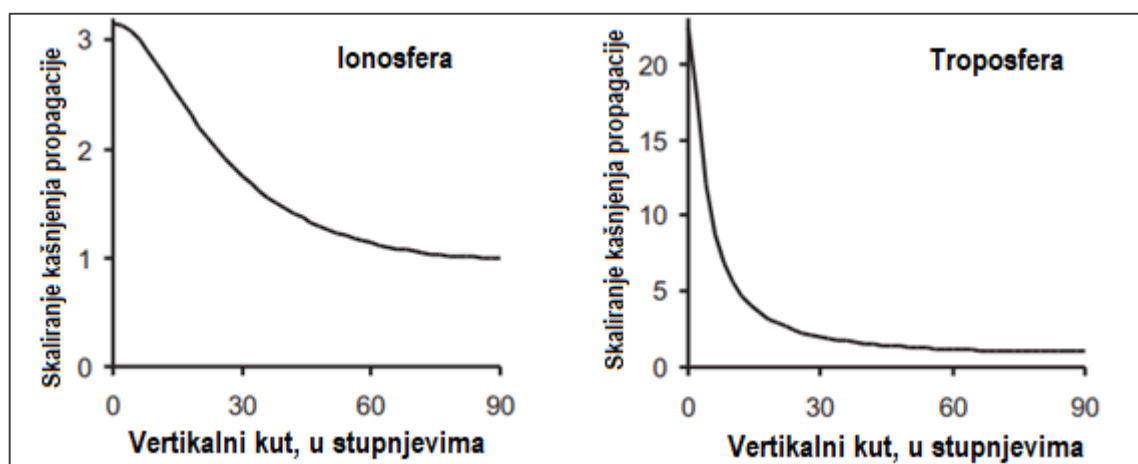
Slika 4. Prikaz satelita pri različitim visinama na nebeskoj sferi s prijamnikom u središtu

Izvor: pripremio student temeljem P. D. Grooves, Ibidem, slika 9.20

²⁴ Horizontom se smatra horizontalna ravnina u čijem se središtu nalazi satelitski prijamnik

²⁵ Točka koja se nalazi okomito iznad prijamnika

Najmanji utjecaj troposferskog kašnjenja je ukoliko se satelit nalazi u zenitu, pod uvjetom da ne postoje prepreke između prijavnika i satelita. Postavljanjem prijavnika na neku nadmorsku visinu, visina satelita može biti izražena i negativnim stupnjevima, odnosno ispod nultog stupnja horizontalne ravnine zbog zakrivljenosti Zemlje. Što se satelit nalazi niže na nebeskoj sferi, gledano iz položaja prijavnika, to je veće područje atmosfere kroz koje satelitski signal mora proći. Zbog toga se definira „kut maskiranja“ (eng. Mask angle) koji označava kut od horizonta prema zenitu ispod kojeg se sateliti ne uzimaju u izračun položaja.²⁶ Prikaz skaliranja kašnjenja propagacije satelitskih signala u atmosferi je evidentan na Slici 5.



Slika 5. Skaliranje kašnjenja propagacije izraženo po kutovima od horizonta prema zenitu

Izvor: pripremio student temeljem P. D. Grooves, Ibidem, slika 9.21

Idealan kut maskiranja uobičajeno iznosi između 10 i 15 stupnjeva. Daljnjim povećanjem kuta maskiranja u želji za pogodnijim filtriranjem vidljivih satelita se može postići suprotan učinak od željenog jer se traženo područje satelita na nebeskoj sferi previše suzi.

Ionosfera je dio Zemljine gornje atmosfere koja zauzima više atmosferskih slojeva između stratosfere i egzofere, a u kojoj ultraljubičasto i solarno zračenje ionizira atome i molekule te time čini sloj elektrona.²⁷ Ionosfera je disperzivan medij što znači da brzina propagacije satelitskog signala varira ovisno o frekvenciji signala. Postoje tri glavna područja ionosfere, koja se nazivaju D sloj, E sloj i F sloj. Ta područja nemaju jasne granice,

²⁶ B. Bhatta, Ibidem, str. 92

²⁷ National Oceanic and Atmospheric Administration, *Ionosphere*, <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/ionosphere>, lipanj 2023.

a nadmorske visine na kojima se pojavljuju variraju tijekom dana i između godišnjih doba. Sloj D je najniže područje te počinje na visini oko 60 ili 70 km iznad tla i proteže se do oko 90 km. Sljedeći je sloj E, koji počinje na visini oko 90 ili 100 km i proteže se do 120 ili 150 km iznad tla. Najviši dio ionosfere, sloj F, počinje na oko 150 km i proteže se daleko prema gore, ponekad i do 500 km iznad površine Zemlje.²⁸ Najznačajniji pojedinačni uzrok pogreške satelitskog određivanja položaja kod jedno-frekvencijskih GNSS prijamnika ima ionosferska refrakcija koja se određuje indeksom refrakcije. Aktivnost ionosfere na srednjim geografskim širinama je najstabilnija te otpornija na vanjske uvjete u odnosu na ostale geografske širine.²⁹ Ionizacija ionosferskih plinova u ionosferi i vlaga u troposferi predstavljaju primarne probleme koji utječu na propagaciju signala satelita.³⁰ Ionizacija ionosferskih plinova je uzrokovana solarnom radijacijom, zbog čega je pogreška u propagaciji signala u ionosferi manja noću nego danju.

Koronalno izbacivanje mase (eng. Coronal Mass Ejection ili CME) je eksplozivni izljev plazme sa Sunca. Eksplozija CME-a odnosi oko milijardu tona materijala sa Sunca vrlo velikim brzinama od nekoliko stotina kilometara u sekundi. CME sadrži zračenje čestica (uglavnom protona i elektrona) i magnetska polja jača od onoga što je inače prisutno u solarnom vjetru. Ove eksplozije potječu iz magnetski poremećenih područja Sunčeve gornje atmosfere ili korone, a njihova aktivnost u koroni se prati pomoću koronagrafa. CME putuju prema van kroz Sunčev sustav. Neki su usmjereni prema Zemlji, iako mnogi drugi potpuno promašuju Zemlju. Radijacijske oluje koje su dio CME-a mogu biti opasne za svemirske letjelice i astronaute. Ako se jak CME sudari sa Zemljom, poremećaj može poslati eksploziju čestičnog zračenja u Zemljinu gornju atmosferu. Kako zračenje stupa u interakciju s molekulama plina u Zemljinu atmosferu, dovodi do većih poremećaja ionosfere.³¹

Na satelite u svemiru djeluju mikro perturbacije koje miču satelite iz željenih orbita. Najveći učinak mikro perturbacija na satelite imaju asimetričnost Zemlje, gravitacijska privlačnost Mjeseca i Sunca te utjecaj Sunčevog tlaka elektromagnetskog zračenja.³² Sunčev tlak elektromagnetskog zračenja (eng. Solar Radiation Pressure ili SRP) je izraz kojim se opisuje djelovanje Sunčevog zračenja na objekte u svemiru. Budući da sateliti nisu zaštićeni

²⁸ UCAR, Center for Science Education, *The ionosphere*, <https://scied.ucar.edu/learning-zone/atmosphere/ionosphere>, 2014.

²⁹ A. Žic et al.: On GPS L1 Positioning Errors' Estimation in the Adriatic Region, 2020., str. 170

³⁰ B. Bhatta, Ibidem, str. 91

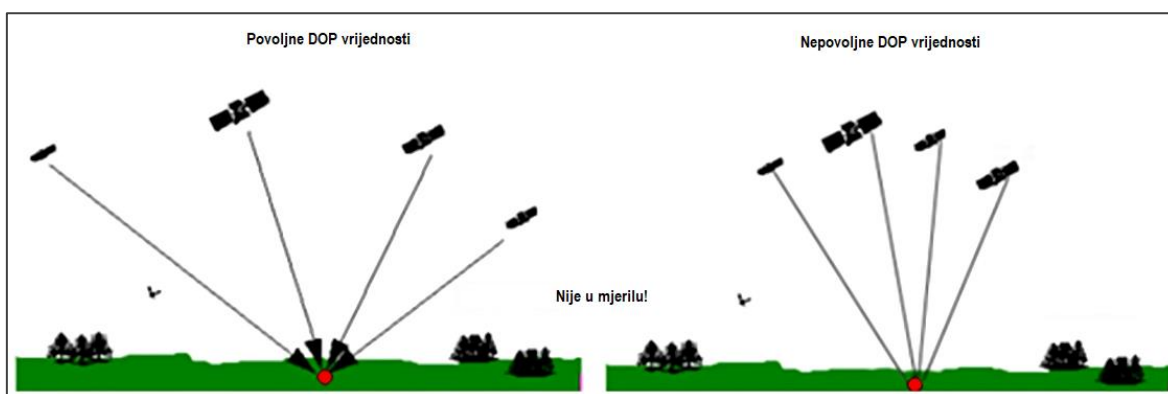
³¹ UCAR, Center for Science Education, *Coronal Mass Ejection (CME)*, <https://scied.ucar.edu/learning-zone/sun-space-weather/coronal-mass-ejection>, siječanj 2002.

³² B. Bhatta, Ibidem, str. 43

zaštitnim slojem atmosfere, na njih SRP ima značajan utjecaj.³³ Najjednostavniji i najčešće korišteni model djelovanja SRP-a objašnjava djelovanje sile SRP-a na pravocrtnoj liniji između Sunca i objekta sa smjerom djelovanja od Sunca prema van.³⁴

2.4. UKUPAN PRORAČUN POGREŠKE POLOŽAJA

Pojam „degradacija točnosti“ (eng. Dilution of precision DOP) označava utjecaj geometrije signala na navigacijsko rješenje.³⁵ DOP vrijednosti ovise o međusobnom položaju satelita i prijammika.³⁶ Primjer povoljnog i nepovoljnog razmještaja satelita je prisutan na Slici 6. Poželjno je imati veće razlike u kutovima između pojedinih satelita za ostvarivanje točnije pozicije.



Slika 6. Primjer povoljne i nepovoljne rasprostranjenosti satelita u odnosu na prijammnik

Izvor: pripremio student temeljem *Introduction to the Global Positioning System for GIS and TRAVERSE*, 2000., <http://www.cmtinc.com/gpsbook/> (02.07.2023.)

³³ A. Mostafa et al., Controlling the Perturbations of Solar Radiation Pressure on the Lorentz Spacecraft, Jeddah, kolovoz 2020.

³⁴ J. W. McMahon, *An Analytical Theory for the Perturbative Effect of Solar Radiation Pressure on Natural and Artificial Satellites*, University of Colorado, 2011., str. 6

³⁵ The Space Segment: Dilution of Precision, <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1771>, Pristupljeno: 27.05.2023.

³⁶ S. Kos, B. Pongračić, D. Brčić: A study on multi-constellation GNSS positioning performance in terms of maritime requirements, svibanj 2018., str. 71

Podjela DOP vrijednosti je prikazana u Tablici 1.

Tablica 1. Podjela komponenti odstupanja i DOP vrijednosti

Komponente odstupanja	DOP nazivi
σ_N sjeverna	D_N sjeverni DOP
σ_E istočna	D_E istočni DOP
σ_D vertikalna	D_V vertikalni DOP
σ_H horizontalna	D_H horizontalni DOP
σ_X X os	D_X X os DOP
σ_Y Y os	D_Y Y os DOP
σ_Z Z os	D_Z Z os DOP
σ_P opća pozicija	D_P prostorni DOP
σ_T sat prijamnika	D_T vremenski DOP
σ_G opći položaj i sat	D_G geometrijski DOP

Izvor: pripremio student temeljem P. D. Grooves, Ibidem, str. 425

Korisnička razdioba pogreške σ_ρ (eng. User Equivalent Range Error UERE) odnosi se na korisnika odnosno prijamnik. Definirana je kao udaljenost između satelita i prijamnika zbrojena s utjecajima kašnjenja signala, na temelju čega se određuje pseudoudaljenost. Ukupan proračun pogreške položaja (eng. Total Positioning Error Budget) ovisi o korisničkoj razdiobi pogreške te DOP vrijednosti. Ukupan proračun pogreške položaja je zbroj svih prethodno navedenih komponenti odstupanja pomnoženih s UERE. Skup formula s kojima se izračunava ukupan proračun pogreške položaja je prikazan u izrazu koji slijedi:

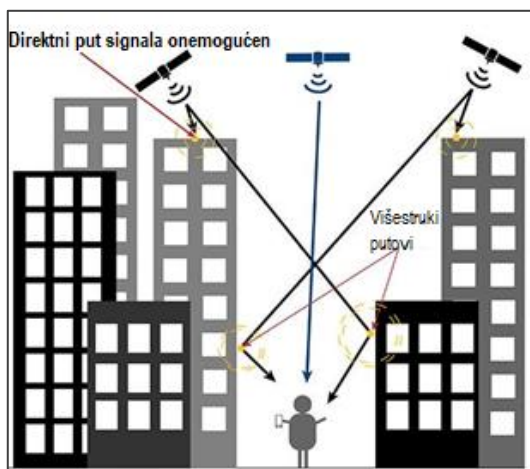
$$\begin{aligned} \sigma_N &= D_N \sigma_\rho, \sigma_E = D_E \sigma_\rho, \sigma_D = D_V \sigma_\rho, \sigma_H = D_H \sigma_\rho, \sigma_X = D_X \sigma_\rho, \\ \sigma_Y &= D_Y \sigma_\rho, \sigma_Z = D_Z \sigma_\rho, \sigma_P = D_P \sigma_\rho, \sigma_T = D_T \sigma_\rho, \sigma_G = D_G \sigma_\rho \end{aligned} \quad (3)$$

Izračunavanje točnog vremena prevaljenog puta satelitskog signala do prijamnika je osnova za određivanje položaja prijamnika, a na produživanje tog vremena djeluje niz faktora. Počevši od jednostavnijih razloga, postoji kašnjenje satelitske opreme kao i kašnjenje korisničke opreme. To su različita vremena potrebna za obradu signala unutar samih uređaja.

Pojam „višestruki putevi“ (eng. Multi-path) označava prolazak satelitskog signala do prijamnika nekim drugim putem od pravocrnoga.³⁷ Zbog reflektirajuće površine podloge te

³⁷ G. Xu, Y. Xu, GPS Theory, Algorithms and Applications, third edition, Springer, 2016., str. 115

okolnog reljefa ili objekta može doći do jednog ili više odbijanja signala na putu do prijammnika. Ovaj slučaj je čest ukoliko se prijammnik nalazi u urbanim sredinama kao što je prikazano na Slici 7.



Slika 7. Primjer učinka višestrukih puteva u urbanim sredinama

Izvor: pripremio student temeljem Multipath errors in GPS signals, <https://medium.com/predict/multipath-errors-in-gps-signals-de3a20440cf9>, 2022., (15.05.2023.)

Primljeni signal u prijammniku tada kasni zbog većeg prevaljenog puta, a taj put se tada smatra udaljenosti od poznatog položaja satelita prema položaju prijammnika te nastaju pogreške u točnosti položaja. Ovaj problem je teško ukloniti iz razloga što je ovisan o okolnom reljefu. Jedino pouzdano rješenje je izbjegavanje situacije zaklonjenosti GPS prijammnika. Također, okolni reljef i umjetne tvorevine koje se nalaze na njemu mogu zatvoriti vidljivi dio nebeske sfere, a time i broj satelita. Kao rješenje ovog problema postoji mogućnost korištenja više GNSS sustava istovremeno kao što je prikazano na Slici 8. čime se povećava broj dostupnih satelita na nebu.



Slika 8. Primjer blokiranja signala satelita umjetnim tvorevinama

Izvor: Septentrio, <https://www.septentrio.com/zh-hans/learn-more/about-GNSS/why-multi-frequency-and-multi-constellation-matters.>, 2022., (28.06.2023.)

Bitno je poznavati točno vrijeme odašiljanja signala te razliku vremena između satelitskog sata i sata prijamnika (eng. Clock bias). Sateliti koriste atomske satove vrlo visoke preciznosti koji su stalno nadzirani od strane zemaljskih kontrolnih stanica. Međutim, korisnički prijamnici uglavnom koriste kvarcne satove znatno lošije točnosti iz razloga cjenovne pristupačnosti. No čak i da su satovi savršeno sinkronizirani, problem nastaje u propagaciji signala odašiljanog sa satelita. Naime, signali se u vakuumu šire brzinom svjetlosti od 299 792 458 m/s. Prolaskom kroz zemljinu atmosferu, primarno ionosferu i troposferu, dolazi se do medija različite provodljivosti signala što mijenja brzinu rasprostiranja signala. Iz tog razloga potrebno je precizno izračunati stvarno vrijeme, a time i stvarnu udaljenost prijamnika od satelita, umjesto prvobitno dobivene pseudoudaljenosti. Pogreška izračuna navigacijskog rješenja proizlazi i iz razlike između stvarnog položaja satelita i položaja iz emitiranih efemerida.

Kašnjenja širenja signala proizlaze iz loma u ionosferi i troposferi, što rezultira izmjerenim pseudoudaljenostima. Troposfersko kašnjenje signala satelita u zenitu iznosi oko 2,5 m +/- 10 % ovisno o vremenskim uvjetima.³⁸ Ukoliko se satelit nalazi na visini od 5° iznad horizonta kašnjenje može iznositi do 30 m.³⁹ Modeli ispravka troposferskog kašnjenja mogu smanjiti većinu nastalih odstupanja položaja. U potpunosti ukloniti troposfersko kašnjenje signala je zahtjevno radi teškog predviđanja meteoroloških uvjeta na cijelom putu propagacije satelitskog signala. Kašnjenja zbog suhih plinova su uglavnom stabilna te ne predstavljaju problem u ispravicima matematičkim modelima. Međutim, količina vlage u atmosferi se uvelike mijenja te predstavlja najveću nepoznanicu u izračunima.

Kašnjenje signala satelita kroz ionosferu koji se nalazi u zenitu iznosi između 1 i 3 m noću te 5 do 15 m danju.⁴⁰ Gustoća elektrona u ionosferi se mijenja s brojem oslobođenih slobodnih elektrona kada su plinovite molekule ionizirane Sunčevim ultraljubičastim zračenjem. Ova gustoća je često opisuje se kao ukupni sadržaj elektrona (eng. Total Electron Content TEC) što je mjera broja slobodnih elektrona po kubnom metru. Ionosfersko kašnjenje ($\Delta\rho$) je proporcionalno količini elektrona sadržanoj na ukupnoj udaljenosti puta,

³⁸ Ibidem

³⁹ B. Bhatta, Ibidem, str. 95

⁴⁰ P. D. Grooves, Ibidem, str. 392

te obrnuto proporcionalno kvadratu prijenosne frekvencije satelitskih signala što je prikazano izrazom koji slijedi:⁴¹

$$\Delta\rho = \frac{40,3}{f^2} TEC \quad (4)$$

Ukupni sadržaj slobodnih elektrona izražava se u TECU jedinicama (engl. Total Electron Content Unit TECU), pri čemu je $1 TECU = 10^{16} \text{ elektrona}/m^2$.

Treba napomenuti i nenamjerna ili namjerna ometanja signala kao i postojanje relativističkih utjecaja između satelita i Zemlje koji dovode do razlike u brzini rada satova. GPS satelitski sat se kreće 45 milisekundi na dan brže nego li sat na Zemlji.⁴²

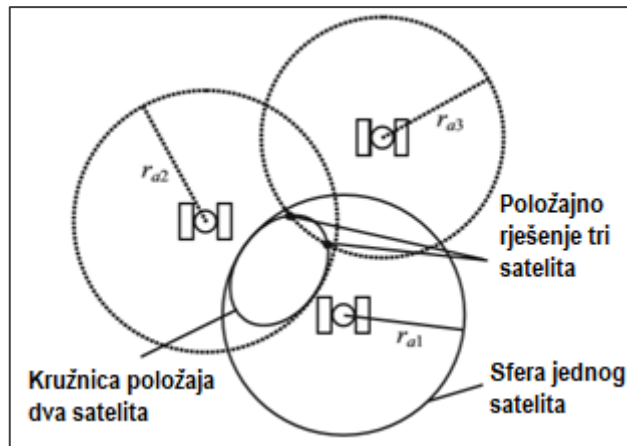
2.5. SATELITSKO ODREĐIVANJE POLOŽAJA

Koristeći izračunatu udaljenost na temelju vremena propagiranja jednog satelitskog signala, položaj prijamnika može biti bilo gdje na površini sfere radijusa r sa središtem na tom satelitu. Ovo je površina položaja (eng. Surface Of Position SOP). Kada se koriste udaljenosti dva satelita, geometrijsko mjesto položaja prijamnika je kružnica presjeka površina dviju sfera radijusa r_1 i r_2 . Dodavanje mjerenja udaljenosti trećeg satelita, položaj korisnika se ograničava na dvije točke na tom krugu. Za većinu slučajeva samo će jedan položaj biti moguć u praksi jer drugi može biti u svemiru, unutar Zemlje ili jednostavno izvan područja djelovanja korisnika.⁴³ Slika 9. prikazuje tri satelitske sfere te kružnicu koristeći dva satelita, te dvije točke položaja koristeći tri satelita.

⁴¹ J. S. Subirana, ESA Navipedia, *Ionospheric delay*, 2011., https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Ionospheric_Delay, (07.07.2023.)

⁴² *Real-World Relativity: The GPS Navigation System*, 2017., <https://www.astronomy.ohio-state.edu/pogge.1/Ast162/Unit5/gps.html>, (07.07.2023.)

⁴³ P. D. Grooves, *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, Artech House, Second Edition, 2013., str. 307



Slika 9. Prikaz površine položaja s jednim, dva i tri korištena satelita

Izvor: pripremio student temeljem Ibidem, slika 8.10

U GNSS-u prijamni i satelitski satovi nisu sinkronizirani. Izvršena mjerenja su pseudoudaljenosti, a ne udaljenosti. Pseudoudaljenost od satelita S do prijamne antene A glasi:

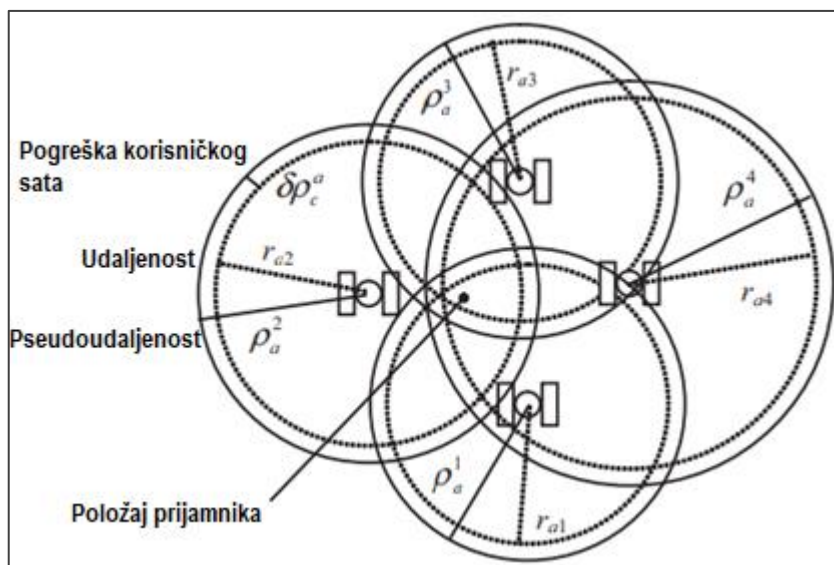
$$\rho_a^s = r_{as} + (\delta t_c^a - \delta t_c^s)c \quad (5)$$

gdje je r_{as} odgovarajući raspon, δt_c^a pomak sata prijavnika od vremena sustava, δt_c^s je pomak satelitskog sata, a c je konstanta brzine svjetlosti. Kontrolni segment mjeri pomake satelitskog sata te šalje ispravke satelitima. Pomak sata prijavnika je nepoznat, ali predstavlja istu nepoznanicu za sva istodobna mjerenja pseudoudaljenosti koja se računaju korištenjem određenog prijavnika. Dakle, osim ako se ne primjenjuju ograničenja, GNSS navigacijsko rješenje je četverodimenzionalno od kojih su tri dimenzije položaja i jedna vremenska dimenzija.⁴⁴ Određivanje četverodimenzionalnog navigacijskog rješenja zahtijeva mjerenje udaljenosti od najmanje četiri različita GNSS satelita. Ako se sfera radijusa jednakog pseudoudaljenosti postavi oko svakog od četiri satelita, uobičajeno ne postoji točka u kojoj se sve četiri sfere sijeku. Međutim, ako se pogreška udaljenosti zbog pomaka sata prijavnika $\delta \rho_c^a = \delta t_c^a c$, oduzme od svake izmjerene pseudoudaljenosti, rezultat je odgovarajuća udaljenost. Sfere polumjera jednakih udaljenosti tada će se presijecati na području korisnika.⁴⁵ Prema tome, $\delta \rho_c^a$ se može odrediti prilagođavanjem polumjera četiriju sfera za jednake iznose dok se ne presijeku. Navedeno je istaknuto na Slici

⁴⁴ Ibidem, str. 308

⁴⁵ Ibidem

10. Položaj satelita s ispravljenim vremenskim pomakom se dobije u navigacijskoj poruci. Ostale četiri nepoznanice u izračunu položaja prijmnika su položaj antene prijmnika, pogreške sata prijmnika, brzina antene prijmnika i brzina pomaka sata. Antena prijmnika i pogreška sata prijmnika su ista za sva mjerenja pseudoudaljenosti ukoliko je vrijeme primitka signala identično. Brzina antene i pomaka sata se mogu dobiti daljnjim izračunima.



Slika 10. Računanje položaja s četiri pseudoudaljenosti

Izvor: pripremio student temeljem Ibidem, slika 8.11

Prikazat će se primjer određivanja položaja prijmnika pomoću metode najmanjih kvadrata. Standardni postupak određivanja položaja predstavlja iterativni postupak, u kojem su željene točnosti određivanja koordinata položaja postavljene kao kriteriji zaustavljanja iteracije.⁴⁶ Za osnovnu opservacijsku jednadžbu satelitskog određivanja položaja potrebni podaci su koordinate položaja satelita X_{si} , Y_{si} i Z_{si} za svaki satelit, koordinate prijmnika X , Y i Z , brzina širenja satelitskog signala u vakuumu $c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ i razlika sata T . Opservacijska jednadžba satelitskog određivanja položaja glasi:⁴⁷

$$P_i = \sqrt{(X_{si} - X)^2 + (Y_{si} - Y)^2 + (Z_{si} - Z)^2} + cT \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (6)$$

⁴⁶ M. Brajković, *Procjena položaja satelitskim sustavom primjenom metode najmanjih kvadrata s težinskim koeficijentima koji minimiziraju ionosferske učinke na točnost procjene položaja*, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka, 2023., str. 14

⁴⁷ T. Kong, X. Wang, L. Ma, *Research on Satellite Positioning Based on Total Least Squares Algorithm*, IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series, Beijing, 2021.

Ako je $K_i^2 = X_{si}^2 + Y_{si}^2 + Z_{si}^2$ ($i = 1, 2, \dots, N$), a N broj satelita koji sudjeluju u određivanju položaja, linearna matrica glasi $P = GB$ čiji su članovi ispisani u sljedećem izrazu:

$$P = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} P_2^2 - P_1^2 + K_1^2 - K_2^2 \\ P_3^2 - P_1^2 + K_1^2 - K_3^2 \\ \dots \\ P_N^2 - P_1^2 + K_1^2 - K_N^2 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ -cT \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} X_{s1} - X_{s2} Y_{s1} - Y_{s2} Z_{s1} - Z_{s2} P_2 - P_1 \\ X_{s1} - X_{s3} Y_{s1} - Y_{s3} Z_{s1} - Z_{s3} P_3 - P_1 \\ \vdots \\ X_{s1} - X_{sN} Y_{s1} - Y_{sN} Z_{s1} - Z_{sN} P_N - P_1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

U određivanju položaja satelitskim putem pri korištenju metodu najmanjih kvadrata iterativnim postupkom potrebno je znati da postoji određeni početni položaj koji se nastoji što više približiti stvarnom položaju kroz iterativne cikluse. Iteracije se ponavljaju dok se ne dostigne zadovoljavajuća razina preciznosti, a broj iteracija ovisi o brzini približavanja željenom rješenju svake iteracije. Kombiniranjem pojedinih opservacijskih jednadžbi satelitskog određivanja položaja svakog satelit dobije se sljedeći izraz:

$$\begin{cases} P_1 = \sqrt{(X_{s1} - X)^2 + (Y_{s1} - Y)^2 + (Z_{s1} - Z)^2} + cT \\ P_2 = \sqrt{(X_{s2} - X)^2 + (Y_{s2} - Y)^2 + (Z_{s2} - Z)^2} + cT \\ \dots \\ P_i = \sqrt{(X_{si} - X)^2 + (Y_{si} - Y)^2 + (Z_{si} - Z)^2} + cT \\ P_N = \sqrt{(X_{sN} - X)^2 + (Y_{sN} - Y)^2 + (Z_{sN} - Z)^2} + cT \end{cases} \quad (8)$$

Prikazana jednadžba se može prikazi linearno na sljedeći izraz:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} (P_i^2 - P_1^2 + K_i^2 - K_1^2) \\ & = (X_{s1} - X_{si})X + (Y_{s1} - Y_{si})Y + (Z_{s1} - Z_{si})Z + (P_1 - P_i)(-cT) \end{aligned} \quad (9)$$

Uzimajući u obzir da postoje pogreške u stvarnoj promatranoj količini P i u matrici koeficijenta G , algoritam ukupnih najmanjih kvadrata je korišten za rješavanje matrice.

Prvo je konstruirana proširena matrica $C = [-P: G]$. U ovom slučaju, rang $\{C\} = 5$, korištena je dekompozicija singularne vrijednosti za dobivanje sljedećeg izraza:

$$C = U\Sigma V^T = \sum_{k=1}^5 \sigma_k u_k v_k^T \quad (k = 1, 2, 3, 4, 5) \quad (7)$$

gdje su u_k i v_k lijevi i desni pojedinačni vektori proširene matrice. σ_k je pojedinačna vrijednost koja odgovara C . Postoji unikatno rješenje matrici koje je izraženo izrazom:

$$\hat{C} = \begin{bmatrix} v_4(2) & v_4(3) & v_4(4) & v_4(5) \\ v_4(1) & v_4(1) & v_4(1) & v_4(1) \end{bmatrix}^T \quad (8)$$

Prvo se linearizira, budući da je jednačba pozicioniranja nelinearna jednačba. Proširenje Taylorovog niza jednačbe (8) izvodi se na početnoj vrijednosti, a članovi višeg reda su izostavljeni. Završni linearna jednačba tada postaje:

$$P_i = F(X_0, Y_0, Z_0) - \frac{X_{si} - X_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} (X - X_0) - \frac{Y_{si} - Y_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} (Y - Y_0) - \frac{Z_{si} - Z_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} (Z - Z_0) + cT \quad (9)$$

gdje je P_i vrijednost mjerenja pseudoudaljenosti nakon ispravljanja pogreške između satelita i prijarnika. $F(X_0, Y_0, Z_0)$ je koordinatni položaj pojedinačnog satelita, a izraz je prikazan u nastavku:

$$F(X_0, Y_0, Z_0) = \sqrt{((X_{si} - X_0)^2 + (Y_{si} - Y_0)^2 + (Z_{si} - Z_0)^2)}, \quad (X_{si}, Y_{si}, Z_{si}) \quad (10)$$

Oznaka i predstavlja trenutni broj satelita od ukupnog korištenog broja satelita N . Matrica zatim postaje $\Delta P = H\Delta B + E_i$ čiji su članovi ispisani u sljedećem izrazu:

$$\Delta P = \begin{bmatrix} F(X_0, Y_0, Z_0) - P_1 \\ F(X_0, Y_0, Z_0) - P_2 \\ \vdots \\ F(X_0, Y_0, Z_0) - P_N \end{bmatrix},$$

$$H = \begin{bmatrix} \frac{X_{s1} - X_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} & \frac{Y_{s1} - Y_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} & \frac{Z_{s1} - Z_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} & 1 \\ \frac{X_{s2} - X_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} & \frac{Y_{s2} - Y_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} & \frac{Z_{s2} - Z_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{X_{sN} - X_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} & \frac{Y_{sN} - Y_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} & \frac{Z_{sN} - Z_0}{F(X_0, Y_0, Z_0)} & 1 \end{bmatrix}, \quad \Delta B = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ -cT \end{bmatrix} \quad (11)$$

Ovdje $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ je pomak između procijenjene vrijednosti i početne vrijednosti, a $\Delta X = X - X_0, \Delta Y = Y - Y_0, \Delta Z = Z - Z_0$ je nepoznata vrijednost pogreške u mjerenju. U procesu proračuna ponderi se mogu odabrati prema potrebama. U ovom slučaju, omjer signala i šuma u svakom trenutku je odabran kao vrijednost težine matrice (eng. Weight Matrix), a njegova matrica težine je izražena:

$$W = \begin{bmatrix} \omega_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \omega_2 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \omega_N \end{bmatrix} \quad (12)$$

Kada je broj satelita za određivanje položaja veći od četiri, koristi se algoritam najmanjeg kvadrata za rješavanje problema i dobije se procijenjena vrijednost pomaka izražena sljedećim izrazom:

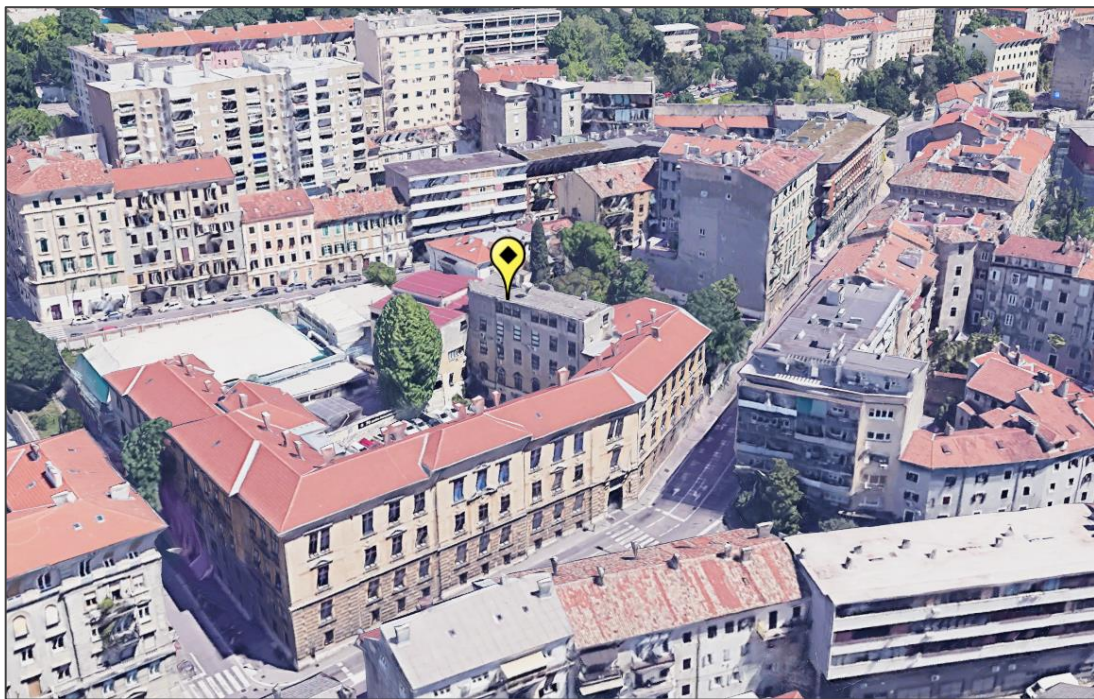
$$\Delta B = (H^T W H)^{-1} H^T W \Delta P \quad (13)$$

Srednji kvadrat rezultata iteracije uspoređuje se s vrijednošću praga. Kada zahtjev nije ispunjen, trenutni pomak se dodaje početnoj vrijednosti da bi se dobila početna vrijednost sljedeće iteracije. Ako su zahtjevi zadovoljeni, iterativna operacija se zaustavlja i procijenjena vrijednost je položaj prijemnika.

3. METODOLOGIJA EKSPERIMENTA MJERENJA POLOŽAJA

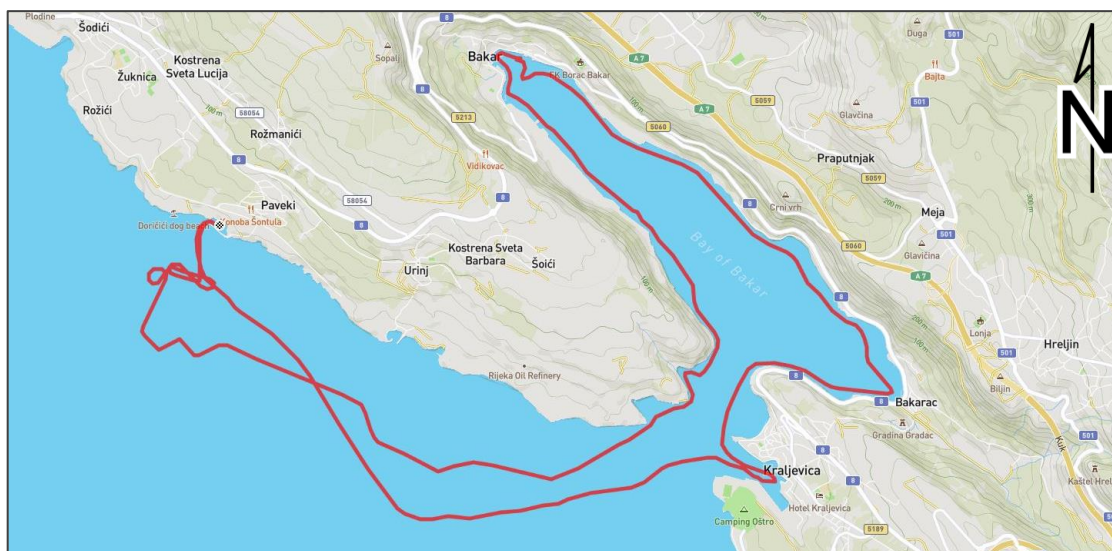
3.1. PODRUČJE I RAZDOBLJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje se odvija u Riječkom zaljevu u Kvarneru u doba proljeća. Istraživanje se sastoji iz dva dijela, statičko i dinamičko. Statički dio se sastoji od mjerenja s krova Pomorskog fakulteta u Rijeci, a dinamički dio uključuje plovidbu brodicom od Kostrenske obale kroz cijeli Bakarski zaljev te nazad do početne točke plovidbe. Za potrebe statičkog mjerenja korištena je antena poznatog položaja $45^{\circ} 19.826184'$ N i $014^{\circ} 26.183377'$ E te nadmorskom visinom od 82,856 m u skladu s WGSy-84 koordinatnim sustavom. Navedeni položaj je trenutačno najažuriraniji položaj te je izmjerena od strane tvrtke „Geodetski zavod Rijeka d.o.o.“ u listopadu 2011. godine. Navedeni položaj je istaknut na Slici 11.



Slika 11. Lokacija statičkog mjerenja na krovu zgrade Pomorskog fakulteta u Rijeci

Izvor: Izradio student

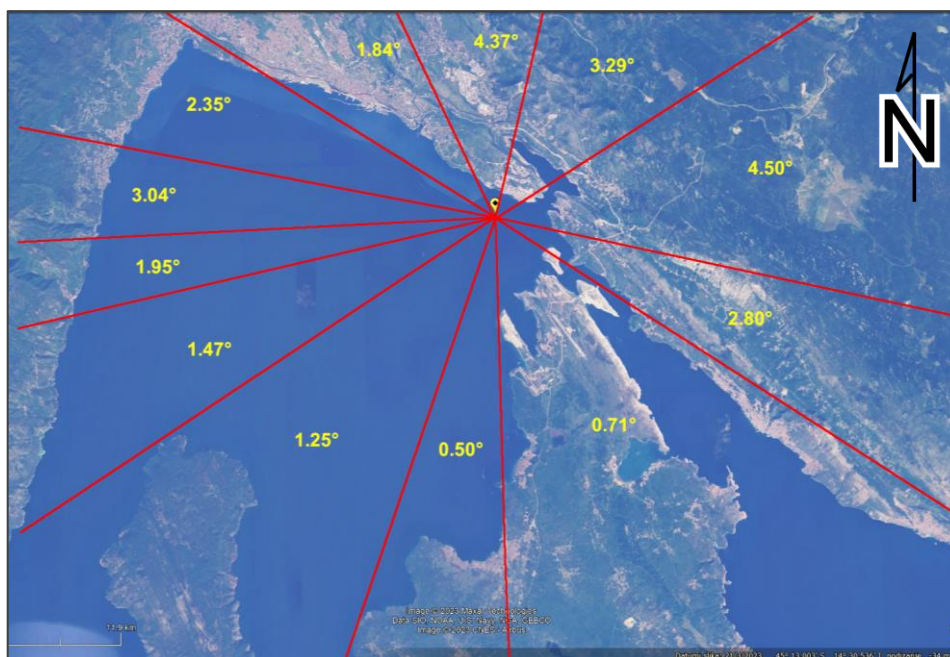


Slika 12. Opći prikaz rute plovidbe dinamičkog mjerenja

Izvor: Izradio student

Dinamičko mjerenje s označenom referentnom rutom prikazano je na Slici 12. Mjerenje je podijeljeno je u tri faze. Prvu fazu čini putovanje od početne točke ispred lučice „Stara voda“ do blizine grada Kraljevica. Na gornjoj slici je vidljiv polazak brodice iz lučice „Stara voda“ te odlazak na udaljenost od otprilike 1 km od obale. Druga faza putovanja se sastoji od plovidbe uzduž obale Bakarskog zaljeva u smjeru suprotnom od kazaljke na satu. U ovoj fazi detaljnije će se prikazati ponašanje položaja ispred grada Bakra budući da je to najviše reljefom zatvoreno mjesto u cijelom mjerenju. Druga faza završava izlaskom iz Bakarskog zaljeva blizu LPG terminala Sršćica. Treća faza započinje subočice na naftni terminal Urinj te traje do približno lokacije početne točke.

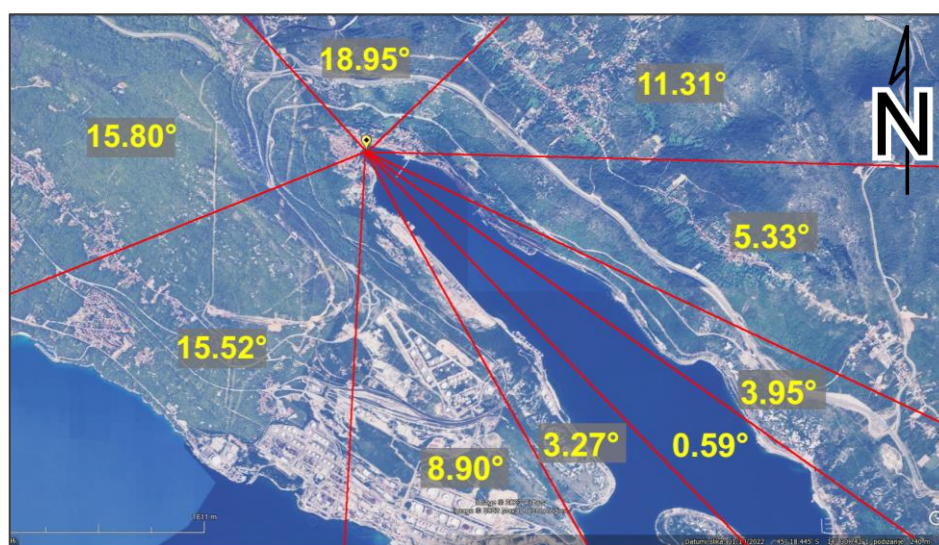
Na sljedeće dvije slike prikazat će se razlika u zatvorenosti okruženja između lokacije početka treće faze te područja ispred grada Bakra. Mjerenje se izvodilo na način mjerenja kuta α od morskog horizonta do visine najznačajnije prepreke. Područja su podijeljena na segmente u kojima je reljef sličan po zatvorenosti. Do kuta alfa se došlo korištenjem poznatih visina prepreka kao dužinu A pravokutnog trokuta, te horizontalne udaljenosti do prepreke kao dužinu B pravokutnog trokuta. α predstavlja kut između dužine B i hipotenuze C . Slika 13. prikazuje tu zatvorenost područja iz pozicije najudaljenije od obale u cijelom mjerenju. Opažena je neprekinuta nebeska sfera jer je sav teren daleko ispod 10 do 15° iznad horizonta vrijednosti kuta maskiranja.



Slika 13. Zatvorenost područja faze otvorene plovidbe izražena u stupnjevima od horizonta do vrha reljefnih prepreka

Izvor: Izradio student

Opažena je razlika u zatvorenosti reljefa između najbolje i najlošije lokacije snimanja položaja. Prosječna zatvorenost na moru ispred Kostrene je između 2° i 3° od horizonta prema gore, dok Slika 14. s točkom analize ispred grada Bakra se nalazi u području u kojem je preko polovica reljefa zatvorena s preko 15° reljefa što znači da je teren smanjivao nebesku sferu na kojoj se nalaze sateliti.



Slika 14. Zatvorenost ispred grada Bakra izražena u stupnjevima od horizonta do vrha reljefnih prepreka

Izvor: Izradio student

Meteorološko stanje statičkog mjerenja 18. travnja 2023. je sljedeće:⁴⁸ nisu zabilježene padaline na lokaciji, temperatura zraka je iznosila 15 °C s temperaturom rosišta od 6 °C, oblaci su prekrivali 6/8 neba s manje oblaka na visini od 1400 m, vlažnost zraka je iznosila 54 %, atmosferski tlak je iznosio 1015 mbar te je puhao vjetar brzine 5 čv s naletima do 15 čv iz smjera NNE.

Prevedeni zapis svemirskog vremena od strane britanske organizacije Met Office za dan statičkog mjerenja glasi:⁴⁹ Sunčeva aktivnost je bila niska, sa manjim brojem opaženih Sunčevih baklji koje su uglavnom bile niske razine. Na vidljivom disku je ukupno osam aktivnih područja. Najveće područje nalazi se na sjevernoj hemisferi u blizini središnjeg diska, ali područje se u ovom trenutku čini magnetski stabilnim. Niz od tri područja na jugu zajedno predstavlja blago povećan rizik od značajne aktivnosti baklje, kao i novo područje na dalekom istoku. Sva druga područja su mala i jednostavna. Na dostupnim slikama u zadnja 24 sata nisu primijećeni koronalni izbačaji masa usmjereni prema Zemlji. Sunčev vjetar je u početku bio spor prije nego što je počeo postepeno rasti do blago povišenih razina od drugog dijela UTC dana 17. travnja, vjerojatno zbog slabe veze s područjem brzog solarnog vjetra. Ukupna jakost magnetskog polja bila je slaba do umjerena. Važna sjeverno-južna komponenta je općenito bila slaba, s kratkim razdobljima na umjereno pozitivnim i negativnim razinama. Geo-magnetska aktivnost bila je tiha s Kp indeksom manjim od 1. Nisu primijećene oluje sunčevog zračenja.“

Iz navedenog zapisa zaključuje se da su svemirski uvjeti za navedeni dan povoljni, solarna aktivnost je bila niska te njezin utjecaj na Zemlju je procijenjen kao beznačajan. Geo-magnetska aktivnost je procijenjena na malu dok solarne radijacije nije bilo. Odstupanja položaja uslijed meteoroloških i svemirskih uvjeta bi trebali biti dovedena na najmanju razinu.

Dinamički dio mjerenja obavljen je 09. svibnja 2023., 21 dan nakon statičkog mjerenja radi čekanja na povoljne vremenske uvjete. Meteorološki zapis za navedeni dan glasi:⁵⁰ kroz prvu polovicu mjerenja padala je lagana kiša, temperatura zraka je iznosila 16 °C s temperaturom rosišta od 7 °C, oblaci su prekrivali 6/8 neba na visini od 1500 m, vlažnost

⁴⁸ Izvor o meteorološkim podacima:

<https://www.timeanddate.com/weather/croatia/rijeka/historic?month=4&year=2023>

⁴⁹ Izvor o svemirskom vremenu: <https://www.metoffice.gov.uk/weather/specialist-forecasts/space-weather>

⁵⁰ Izvor o meteorološkim podacima:

<https://www.timeanddate.com/weather/croatia/rijeka/historic?month=5&year=2023>

zraka je iznosila 56 %, atmosferski tlak je iznosio 1018 mbar te je puhao vjetar brzine 7 čv s naletima do 12 čv iz ENE smjera, a stanje mora je procijenjeno na 3. U drugoj polovici mjerenja kiša je prestala padati, temperatura je iznosila 18 °C s temperaturom rosišta od 6 °C, oblaci su prekrivali 1/8 neba, vlažnost zraka je iznosila 61 %, atmosferski tlak se spustio na 1017 mbar, vjetar je oslabio na stalnu brzinu od 3 čv te je stanje mora palo na 2. Mjerni uređaji nalazili su se na visini od 50 cm iznad tadašnje morske razine s plimom od 15 cm.

Prevedeni zapis svemirskog vremena od strane britanske organizacije Met Office za dan mjerenja glasi:⁵¹ solarna aktivnost je visoka s nekoliko opaženih umjerenih Sunčevih baklji, sve iz srednje velikog, ali magnetski složenog područja na sjeverozapadu. Najveće područje, u sjevernom središnjem disku, činilo se uglavnom neaktivnim, iako je došlo do manjeg razvoja na mjestima unutar grupe. Desetak sunčevih pjega je trenutno na disku. Sve ostale su trenutno male i/ili jednostavne regije. U posljednja 24 sata primijećeno je više izbacivanja koronalne mase kako napuštaju Sunce. Čini se da je većina, ako ne i svo izbacivanje, daleko ispred ili iza Zemljine orbite, međutim, mogućnost usmjerenosti nekih komponenti prema Zemlji se ne može potpuno isključiti. Sunčev vjetar se nalazi na silaznom profilu i ostao je uglavnom na blago povišenim razinama. Snaga međuplanetarnog magnetskog polja bila je uglavnom slaba, a važna sjeverno-južna komponenta također je slabo varirala. Ukupna geo-magnetska aktivnost bila je tiha do aktivna (Kp 1-4). Sunčevo zračenje započelo je iznad praga oluje manjeg sunčevog zračenja S1 s vrhuncem od 38 pfu u 01:50 UTC, a zatim je palo ispod ove razine oko 13:00 UTC.

Iz navedenog zapisa zaključuje se da svemirsko vrijeme za navedeni dan nije bilo idealno, no daljnjim promatranjem zapisa odlučeno je da je prihvatljivo za potrebe mjerenja. Osmotrena solarna aktivnost je procijenjena da može imati mali utjecaj na Zemlju. Geo-magnetska aktivnost je također bila niska. Solarna radijacija je bila unutar granica manje oluje solarne radijacije što je moglo uzrokovati manja odstupanja na preciznost GPS određivanja položaja.

⁵¹ Met Office, op. cit.

3.2. POSTAVKE ISTRAŽIVANJA

U oba mjerenja koristila su se ista četiri pametna telefona. Za provjeru položaja u statičkom mjerenju koristila se antena unaprijed poznatih koordinata, a u dinamičkom mjerenju multi-frekvencijski GNSS prijamnik. Mjerenja su obavljena na različite datume pri prihvatljivim vremenskim i svemirskim uvjetima. Sva mjerenja se temelje na koordinatnom sustavu WGS-84. Korišteni uređaji pri mjerenju glase:

1.) Samsung A6 (čip Exynos 7870 Octa)⁵²

Čip Exynos 7870 je izašao na tržište u veljači 2016. godine. Ubraja se u kategoriju povoljnijih čipova u uređajima. Važne informacije o uređaju su procesor s osam jezgri pojedinačne brzine 1.6 GHz, snage 3 W i arhitekture 14 nm te podržavanje 4G tehnologije kategorije 6. Ima sposobnost praćenja GPS, Galileo, GLONASS i BeiDou satelita. Čip se nalazi u plastičnom kućištu uređaja.

2.) Samsung A8 (čip Exynos 7885)⁵³

Čip Exynos 7885 je izašao na tržište u veljači 2018. godine. Ubraja se u kategoriju srednje skupih čipova u uređajima. Važne informacije o uređaju su procesor s dvije jezgre pojedinačne brzine 2.2 GHz i šest jezgri pojedinačne brzine 1.6 GHz, snage 8 W, arhitekture 14 nm te podržavanje 4G tehnologije kategorije 12. Ima sposobnost praćenja GPS, Galileo, GLONASS i BeiDou satelita. Čip se nalazi u plastičnom kućištu uređaja.

3.) Samsung S6 (čip Exynos 7420 Octa)⁵⁴

Čip Exynos 7420 je izašao na tržište u travnju 2015. godine. Ubraja se u kategoriju najjačih čipova u uređajima. Važne informacije o uređaju su procesor s četiri jezgre pojedinačne brzine 2.1 GHz i četiri jezgre pojedinačne brzine 1.5 GHz, snage 7 W, arhitekture 14 nm te podržavanje 4G tehnologije kategorije 6. Ima sposobnost praćenja GPS, Galileo, GLONASS i BeiDou satelita. Čip se nalazi u aluminijskom i staklenom kućištu uređaja.

⁵² Izvor o specifikacijama uređaja: [https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_a6_\(2018\)-9155.php](https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_a6_(2018)-9155.php)

⁵³ Izvor o specifikacijama uređaja: [https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_a8_\(2018\)-8886.php](https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_a8_(2018)-8886.php)

⁵⁴ Izvor o specifikacijama uređaja: https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_s6-6849.php

4.) Samsung S8 (čip Exynos 8895)⁵⁵

Čip Exynos 8895 je izašao na tržište u veljači 2017. godine. Ubraja se u kategoriju najjačih čipova u uređajima. Važne informacije o uređaju su procesor s četiri jezgre pojedinačne brzine 2.3 GHz i četiri jezgre pojedinačne brzine 1.7 GHz, snage 5 W, arhitekture 10 nm te podržavanje 4G tehnologije kategorije 16. Ima sposobnost praćenja GPS, Galileo, GLONASS i BeiDou satelita. Čip se nalazi u aluminijskom i staklenom kućištu uređaja.

5.) Garmin GPSMAP 67⁵⁶

Ručni uređaj za računanje položaja satelitskim putem Garmin GPSMAP 67 je izašao na tržište u ožujku 2023. godine. Ima sposobnost praćenja GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou, QZSS i IRNSS satelita. Nalazi se u gumenom i plastičnom kućištu otpornom na udarce, temperaturu i vlagu.

Vremena u radu se odnose na koordinirano svjetsko vrijeme ukoliko je korištena kratica „UTC“ (eng. Coordinated Universal Time UTC). Statičko mjerenje obavljeno je 18. travnja 2023. godine s početkom u 09:15 sati lokalnog vremena ili 07:15 UTC te trajalo jedan sat. Kod statičkog određivanja položaja pametni telefoni su bili 80 cm ispod antene te 20 cm istočno u odnosu na referentnu točku. Mjerenje je trajalo točno sat vremena, a pametni telefoni su prije početka promatranog razdoblja imali uspostavljen kontakt sa satelitima u trajanju od 15 minuta.

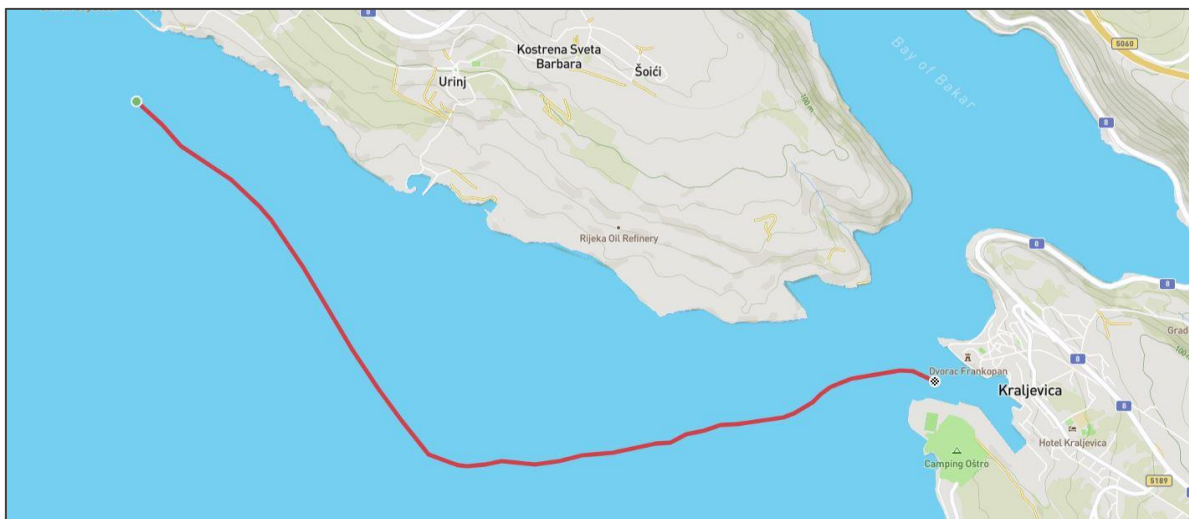
U dinamičkom mjerenju korištena je brodica tipa „Dalmatinka s kabinom“. Na brodici dužine preko svega 6,1 m nalazilo se tri člana posade. Mjerenje je trajalo 2:37 sati s početkom u 10:26 sati lokalnog vremena. Nakon udaljavanja na prigodnu lokaciju, mjerenje započeto u 08:26 UTC te je sveukupno trajalo 2:37 sati. Mjerni uređaji su učvršćeni i smješteni jedan pored drugoga u horizontalnoj ravnini na tekstilnoj podlozi.

Prva faza se sastojala od plovidbe na otvorenijem moru s prosječnom najmanjoj udaljenošću od obale od oko 1000 m sa sjeverne strane. Početak snimanja je položaj 45° 17,3289' N i 014° 30,2422' E. S istočne strane obala je bila udaljena između 1 i 2,5 Nm. S južne strane obala je u početku bila udaljena 10 Nm te se kasnije ta udaljenost smanjila na

⁵⁵ Izvor o specifikacijama uređaja: https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_s8-8161.php

⁵⁶ Izvor o specifikacijama uređaja: <https://www.garmin.com/hr-HR/p/890189/pn/010-02813-01>

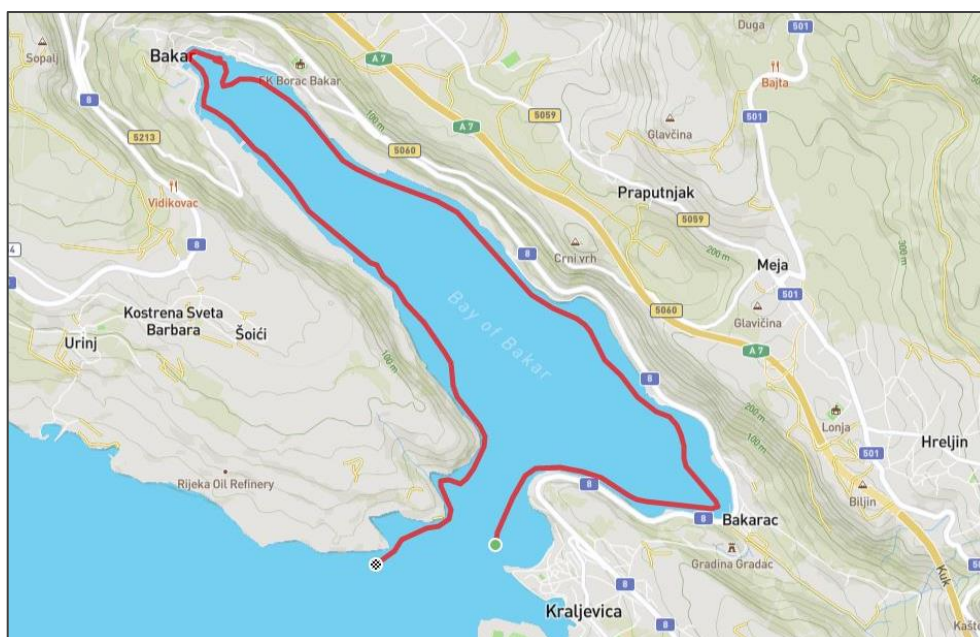
2,5 Nm. Sa zapadne strane čistina do obale je stalno iznosila preko 10 Nm. Kroz cijelu prvu fazu održavao se identični režim rada motora pola snage naprijed, a time i očekivana brzina brodice od oko 4,5 čv. Ova faza je započeta u 10:26 sati te trajala 30 min do dolaska u blizinu grada Kraljevica. Procijenjena visina valova kroz ovu fazu je iznosila između 40 i 60 cm. Grafički prikaz referentne rute uređaja Garmin GPSMAP 67 je istaknut na Slici 15. Prva faza dinamičkog mjerenja započeta je ispred lučice „Stara voda“ na položaju $45^{\circ} 17.3156'$ N i $014^{\circ} 30.2649'$ E u 08:26:00 UTC. Kraj faze je ulaz u luku Kraljevica na položaju $45^{\circ} 16.4766'$ N i $14^{\circ} 33.7158'$ E u 09:05:00 UTC.



Slika 15. Prikaz prve faze

Izvor: Izradio student

Druga faza se sastojala od plovidbe blizu obale radi maksimalnog smanjivanja nebeskog horizonta okolnim reljefom. Položaj početka je $45^{\circ} 16,6833'$ N i $014^{\circ} 33,6905'$ E. Tijekom plovidbe bilo je potrebno mjestimične odmaknuti se od obale radi izbjegavanja prepreka i održavanja sigurnosti plovidbe. Plovidba se odvijala uzduž obale Bakarskog zaljeva u smjeru suprotnom kazaljci na satu, s početkom u Kraljevici, preko Bakarca, Bakra i Urinja. Udaljenost od obale tijekom plovidbe iznosila je između 20 i 150 m. Kroz plovidbu više puta je promijenjena brzina brodice radi održavanja sigurnosti plovidbe. Ova faza je trajala oko 85 minuta s početkom u 11:05 sati. Procijenjena visina valova kroz ovu fazu je iznosila oko 10 cm. Grafički prikaz referentne rute uređaja Garmin GPSMAP 67 cjelokupne druge faze vidljiv je na Slici 16. Druga faza dinamičkog mjerenja započeta je ulaskom u Bakarski zaljev na položaju $45^{\circ} 16.6982'$ N i $014^{\circ} 33.6977'$ E u 09:15:00 UTC. Kraj faze je označen izlazom iz Bakarskog zaljeva na položaju $45^{\circ} 16.6074'$ N i $14^{\circ} 33.0801'$ E u 10:26:00 UTC.



Slika 16. Prikaz druge faze

Izvor: Izradio student

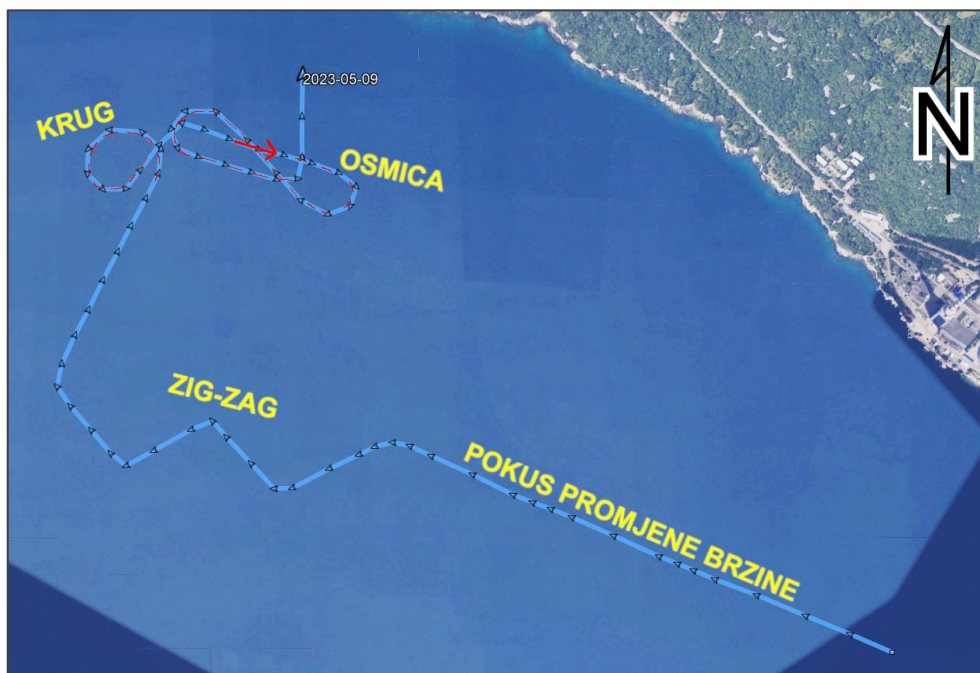
Plovidba u neposrednog blizini grada Bakra je detaljnije prikazana radi činjenice da je to područje najviše zatvoreno po pitanju vidljive nebeske sfere. Podaci za ovo područje se temelje na uvećanim vrijednostima mjerenja između 09:48 i 10:00 UTC. Radi dobivanja uvida u stanje položajnih odstupanja u takvom području, na pet minuta je zaustavljeno kretanje brodice te je položaj brodice zadržan u najvećoj mjeri stabilnim s obzirom na vanjske uvjete. Slika 16. predstavlja približeni prikaz rute druge faze u blizini grada Bakra. Ovaj promatrani dio dinamičkog mjerenja započet je ulaskom u područje Bakarskog zaljeva ispred grada Bakra na položaju $45^{\circ} 45' 18.2937''$ N i $14^{\circ} 32.3241''$ E u 09:48:00 UTC. Kraj faze je označen izlazom iz navedenog područja na položaju $45^{\circ} 18.1990''$ N i $14^{\circ} 32.2946''$ E u 10:00:00 UTC. Brodica je zaustavljena u razdoblju od 09:49:30 UTC do 09:54:30 UTC, a položaj brodice se nastojao održati istim u najvećoj mjeri s obzirom na hidrometeorološke uvjete.



Slika 18. Prikaz treće faze

Izvor: Izradio student

Pokus „zig-zag“ je trajao od 12:46 do 12:50 sati. Pokus praćenja promjenjivog kursa se sastojao od pravljenja kruga i osmice brodicom korištenje iste brzine okretanja brodice. Okret kruga ulijevo je započet u 12:53 sati i trajao je 140 sekundi. Zadnji pokus osmice udesno je započet prolaskom kroz zamišljeno središte osmice u 12:57 istočnim kursom te završio u 13:03, ujedno završavajući cjelokupni eksperiment mjerenja. Procijenjena visina valova iznosila je 35 cm. Grafički prikaz referentne rute ovog mjerenja prikazan je na Slici 19.



Slika 19. Prikaz treće pokusne faze plovidbe s označenim krugom i osmicom

Izvor: Izradio student

3.3. OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA

Korištene pretpostavke i ograničenja u eksperimentalnom mjerenju:

- Rezultati su važeći za navedena mjerna područja, a u ostalim područjima Sjevernog Jadrana su mogući drugačiji rezultati
- S obzirom na nepovoljnije vremenske uvjete u prvoj fazi dinamičkog mjerenja, vrijednosti neće predstavljati najpreciznije moguće vrijednosti za navedeno područje
- U dinamičnom mjerenju referentnom rutom se smatra ruta snimljenom Garmin multi-frekvencijskim GNSS uređajem
- Točnost referentnog prijavnika je procijenjena na 1,8 m, sukladno dobivenim informacijama s uređaja
- Pozitivne vrijednosti odstupanja u rezultatima predstavljaju sjevernije vrijednosti u geografskoj širini, istočnije vrijednosti u geografskoj dužini te više vrijednosti u nadmorskoj visini dobivenog položaja pametnim telefonom u odnosu na referentnu točku ili rutu
- Usporedba odstupanja položaja između pametnog telefona i referentnog prijavnika je izračunata samo koristeći položaje pametnog telefona u vremenu za koje postoje položaji referentnog prijavnika, budući da se frekvencija određivanja položaja referentnog prijavnika i pametnog telefona razlikuje
- Udaljenost između uređaja u oba mjerenja je unutar nekoliko centimetara i zanemarena
- U prvoj fazi procijenjeno je prosječno gibanje brodice u uzdužnom i poprečnom smislu od 15° radi čega je izračunat promjer gibanja GPS uređaja od 25 cm tijekom mjerenja
- U drugoj fazi mjerenja nagnjanje brodice je manje od 5° te ima zanemariv utjecaj na gibanje GPS uređaja
- U drugoj fazi tijekom stajanja u blizini grada Bakra, održavala se pozicija brodice stalnom, ali radi vanjskih uvjeta i ograničenja manevrabilnosti brodice manji pomaci brodice do 10 m su očekivani
- U trećoj fazi mjerenja procijenjeno je gibanje brodice u poprečnom smislu do 10° te je izračunat promjer gibanja GPS uređaja od 10 cm

- U pokusima promjene brzine, procijenjeno je vrijeme promjene brzine brodice uslijed njezine tromosti od 10 s za ubrzanje i 20 s za usporavanje do ustaljene brzine novog režima rada motora
- U pokusima promjene kursa, procijenjeno je vrijeme promjene kursa brodice do novog stabilnog kursa od 5 s

3.4. KORIŠTENI PROGRAMSKI ALATI

Najznačajniji korišteni alati su mobilne aplikacije „GPS Logger“ i „GnssLogger“ koje su se koristile za prikupljanje položajnih podataka s pametnih telefona. „GPS Logger“ je besplatna Android aplikacija razvojne programerske skupine „Basic Air Data“. „Basic Air Data“ je besplatan i otvoren projekt o razvijanju aplikacija za prikupljanje položajnih i ostalih podataka iz instrumenata pametnih telefona. „GnssLogger“ je besplatna Android aplikacija razvijena od strane tvrtke „Google“ za prikupljanje položajnih podataka iz pametnih telefona. Razlika između navedenih aplikacija je u formatu podataka koje stvaraju. „GPS Logger“ pruža .gpx i .kml podatke koji se mogu lako koristiti za računanje odstupanja položaja te za grafičko prikazivanje rute. „GnssLogger“ pruža .nmea podatke koje prihvaća aplikacija za stvaranje grafova baziranih na položajnim podacima „RTKPlot“. Većina obrade podataka odvijala se u integriranom razvojnom okruženju R jezika „Rstudio“. „Rstudio Desktop“ je besplatan softver otvorenog koda za obradu podataka i stvaranja različitih grafičkih i statističkih prikaza podataka.

Nakon mjerenja preuzeti su podaci s pametnih telefona i referentnog prijmnika. Korišteni podaci pametnih telefona iz aplikacije „GPS Logger 3.2.1“ izvezeni su u .gpx i .kml formatu, dok iz „GnssLogger 3.0.6.1“ aplikacije u .nmea formatu. Iz .gpx podataka bilo je moguće modificirati podatke pomoću aplikacije „Notepad++ 8.4.2.0“ za dobivanje položajnih zapisa u formatu pogodnom za korištenje u aplikaciji „Rstudio 386“. Pomoću .kml podataka dobiveni su grafički prikaza putanja u aplikaciji „Google Earth Pro 7.3.6.9345“, te web aplikacijama „gpx.studio“ i „GPS Visualizer“. Pomoću .nmea podataka bilo je moguće napraviti usporedne grafove u aplikaciji „RTKPlot 2.4.2“. Usporedba vrijednosti rezultata napravljena je u aplikaciji „Microsoft Excel 2021“. Podaci iz referentnog Garmin prijmnika su izvezeni isključivo u .gpx formatu koji su dalje

modificirani pomoću aplikacije „Notepad++ 8.4.2.0“ u pogodnije zapise za rad u integriranom razvojnom okruženju R jezika „Rstudio 386“.

3.5. PRIPREMA I OBRADA PODATAKA

Kod obrade podataka primarno se koristila aplikacija „Notepad++“ za brisanje nepotrebnih stavki iz .gpx podataka. To je omogućilo jednostavno iščitavanje podataka u „Rstudio“-u. Iako je razdoblje snimanja položajnih zapisa pametnih telefona iznosilo jednu sekundu, uočena su povremena vremena u kojima za određene sekunde nije bilo snimljenih položajnih zapisa. Pretpostavka ovog problema je ograničena snaga uređaja za tako često snimanje podataka. U statičkom dijelu mjerenja, budući da je referentna točka bila stalno ista, nije bilo potrebno formatirati broj položajnih zapisa na isto vrijeme već su sve dostupni položajni zapisi uspoređivali s referentnim položajem. U dinamičkom dijelu mjerenja, nejednoliko razdoblje uzastopnih položajnih mjerenja je predstavljalo problem. Naime, za dobivanje odstupanja od referentnog položaja kroz kretanje svih uređaja, potrebno je pristupiti svakoj pojedinoj novoj položajnoj točki kao zasebnom mjerenju nalik statičkom mjerenju. Dok su pametni telefoni snimali položajne zapise gotovo svake sekunde, referentni prijammik Garmin GPSMAP 67 je snimao položajne zapise samo kod većih promjena brzine ili kursa brodice. U prosjeku, referentni položaji su snimani svakih 25 s. Ovaj problem je riješen na način da su uzeti svi referentni zapisi Garmin-ovog uređaja te su samo ti položajni zapisi služili za usporedbu odstupanja između referentnih i zapisa pametnih telefona. Svi položajni zapisi pametnih telefona u vremenu za koje nisu postojali referentni položajni zapisi su izbrisani u programu „Microsoft Excel“ pomoću „VLOOKUP“⁵⁷ funkcije. Ovdje je uočen novi problem, a to su bili slučajevi da za neke referentne položajne zapise ne postoje položajni zapisi pametnih telefona. Budući da je razdoblje snimanja položajnih zapisa malo, odnosno iznosi samo jednu sekundu, nedostajuće vrijednosti su interpolirane između položajnih zapisa prošle i sljedeće sekunde od sekunde nedostajućih vrijednosti. Za dobiti interpolirane vrijednosti potrebno je prvo pronaći koeficijent koji predstavlja udaljenost tražene vrijednosti između prošle i iduće vrijednosti što se može dobiti izrazom kako slijedi:

⁵⁷ VLOOKUP (eng. Vertical Lookup, hrv. Vertikalni pregled) funkcija je funkcija Microsoft Excel programa za traženje određenih vrijednosti u jednom stupcu te traženje istih vrijednosti u drugom stupcu.

$$koef. = \frac{Z - G}{D - G} \quad (14)$$

gdje je *koef.* bezdimenzionalni broj od 0 do 1 koji predstavlja udaljenost tražene vrijednosti između gornje do donje vrijednosti, *Z* zadana vrijednost (vrijeme za koje se traže podaci), *G* gornja vrijednost (vrijeme neposredno prije traženog) i *D* donja vrijednost (vrijeme neposredno poslije traženog). Nakon dobivanja koeficijenta, potrebno je pronaći razliku između vrijednosti te tu razliku pomnožiti s prethodno dobivenim koeficijentom po izrazu koji slijedi:

$$\Delta x = (G - D) \cdot koef. \quad (15)$$

gdje je Δx razlika između gornje i tražene vrijednosti. Završno, dobivenu razliku potrebno je oduzeti od gornje vrijednosti za dobivanje tražene vrijednosti za zadano vrijeme pomoću sljedećeg izraza:

$$X = G - \Delta x \quad (16)$$

gdje je *X* tražena vrijednost zadanog vremena. Nakon podjele podataka na odgovarajuće faze plovidbe, započeta je obrada podataka u „Rstudio“-u. U statičkom dijelu mjerenja svi podaci su pojedinačno uspoređivani s prethodno navedenom referentnom antenom. Nakon pretvaranja odstupanja iz decimala geografskih stupnjeva u metre, napravljeni su grafovi koji prikazuju odstupanje položaja po svakoj sekundi. Odstupanje dobivenih vrijednosti od referentnih vrijednosti se obavlja pomoću izraza koji slijedi:

$$X = D - R \quad (17)$$

gdje je *X* razlika između dobivene i referentne vrijednosti, *D* dobivena vrijednost, a *R* referentna vrijednost. U slučaju visine, nisu potrebne daljnje izmjene s obzirom da su odstupanja već izražena u metrima, no odstupanja geografske širine i dužine su izražena u stupnjevima. Za promjenu odstupanja u metre, potrebno je prethodno dobiveno odstupanje pomnožiti sa 60 za promjenu iz budućih kilometara u metre te pomnožiti s 1852 budući da

jedna nautička milja iznosi 1852 m.⁵⁸ Pretvaranje vrijednosti odstupanja iz stupnjeva u metre obavljeno je sljedećim izrazom:

$$X' = X \cdot 60 \cdot 1852 \quad (18)$$

gdje je X' razlika između dobivene i referentne vrijednosti izražena u metrima.

Treba napomenuti da je za dobivanje odstupanja geografske dužine u metrima potrebno množenje s kosinusom prethodno dobivenog odstupanja geografske širine radi činjenice da se vrijednosti udaljenosti geografske dužine mijenjaju s obzirom na povećanje geografske širine. U tom slučaju izraz je sljedeći:

$$X' = X \cdot 60 \cdot 1852 \cdot \cos(Lat) \quad (19)$$

gdje je Lat geografska širina. Ove podatke u potrebnom obliku smo dobili preko sljedećeg izraza:

$$\cos Lat = \cos(Lat \cdot \pi / 180) \quad (20)$$

S navedenim podacima je moguće kreirati različite grafove u programu „R Studio Desktop“. Naredbeni kod za kreiranje prikaza koordinatnog odstupanja je prikazan Slikom 20.

```
66 plot(x = pos$GPST, y = lat_m, col = 'red', ylim = c(-6, 18), type = 'l',
67       main = 'Koordinatna odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023', xlab = 'Vrijeme (h)',
68       ylab = 'Odstupanja (m)')
69 lines(x = pos$GPST, y = lon_m, col = 'blue')
70 lines(x = pos$GPST, y = d_h, col = 'darkgreen')
71 grid(nx = NULL, col = 'lightgray', lty = 'dotted', lwd = par("lwd"), equiloggs = TRUE)
72
73 legend("topright", legend = c("Lat", "Lon", "H"),
74       col = c("red", "blue", "darkgreen"), lty = c(1, 1), cex = 1)
```

Slika 20. Isječak koda koordinatnih odstupanja

Izvor: pripremio student

pri čemu prvi naziva *plot* predstavlja početak naredbe, naslov grafa i ujedno uvodi krivulju geografske širine *ylab* je naziv Y osi, dva reda *lines* koda dodaju vrijednosti geografske dužine i nadmorske visine, *grid* dodaje sivu rešetku za lakše praćenje podataka te *legend* dodaje legendu s imenima pojedinih krivulja.

⁵⁸ Jedna minuta geografske širine iznosi jednu nautičku milju

Kreiranje histograma učestalosti položaja se dobiva sljedećom naredbom u R:

```
77 hist(lat_m, col="red", xlab="Odstupanja geografske širine (m)", ylab="Učestalost", breaks=20,  
78      main="Histogram pogreške geografske širine", ylim=c(0,800), xlim=c(-5,15))
```

Slika 21. Isječak koda histograma učestalosti odstupanja

Izvor: pripremio student

gdje je *hist* početak naredbe koja sadrži naziv korištenog podatka, imena X i Y osi te veličinu stupaca, *main* je naslov grafa, a *ylim* i *xlim* zadana ograničenja prikaza. Kreiranje drugog grafa s linijom gustoće te linijom standardne razdiobe, na prethodni kod dodajemo još dva seta naredbi koje glase:

```
99 lines(density(lat_m), # prikaz gustoće | density plot  
100       lwd = 2, # debljina linije | thickness of line  
101       col = "black")  
102  
103 xfit<-seq(min(lat_m),max(lat_m),length=length(lat_m))  
104 yfit<-dnorm(xfit,mean=0,sd=1)  
105 lines(xfit, yfit, col="blue", lwd=2)
```

Slika 22. Isječak koda dodavanja krivulja učestalosti odstupanja

Izvor: pripremio student

gdje naredba *lines* dodaje liniju zadane debljine s *lwd* i boje s *col*, dok *xfit* i *yfit* definiraju X i Y oblik standardne krivulje.

Kutijasti dijagrami predstavljaju gornje i donje granice vrijednosti te služe kao metoda za grafičko prikazivanje lokaliteta, širenja i grupa asimetrije numeričkih podataka kroz njihove kvartile. Dijele upotrebljive vrijednosti od stršćih, tj. ekstremnih vrijednosti ako postoje. Kreiranje kutijastog dijagrama u R glasi:

```
143 boxplot(lat_m, col="red", ylim=c(-4, 12),ylab="Odstupanje (m)",  
144         main="Kutijasti dijagram pogreške geografske širine")
```

Slika 23. Isječak koda kutijastih dijagrama

Izvor: pripremio student

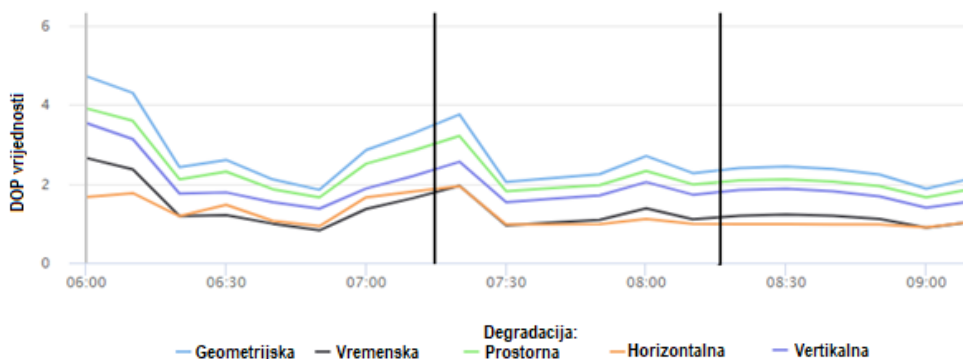
pri čemu je *boxplot* priznata naredba unutar R za kreiranje ovakvog grafa.

4. ANALITIKA REZULTATA

U ovom poglavlju prikazat će se rezultati dobiveni statičkim i dinamičkim mjerenjem GPS položaja pametnim telefonima u usporedbi s referentnim točkama i rutama. Sva vremena u prikazima su izražena u UTC vremenu, dok su odstupanja (ukoliko su ona predmet prikaza) izražena u metrima.

4.1. STATIČKI DIO ISTRAŽIVANJA

Rezultati su prikazani abecedno grupirani po pametnim telefonima sa završnom ukupnom međusobnom grafičkom i statističkom usporedbom položaja. Prikazani podaci se dijele na koordinatna odstupanja u svim smjerovima (X, Y i Z) prikazana grafikonom, histograme kojima se prikazuje učestalost pojedinih odstupanja, kutijaste dijagrame u kojima su prikazane granice stršećih vrijednosti, dvodimenzionalni i trodimenzionalni prikaz odstupanja te broj vidljivih satelita po mjerenju. Geografska širina označena je crvenom bojom, geografska dužina plavom dok je nadmorska visina označena zelenom bojom. Sva odstupanja s pozitivnim predznakom označavaju sjevernije, istočnije i više vrijednosti od referentnih, dok sva odstupanja s negativnim predznakom predstavljaju južnije, zapadnije i niže vrijednosti od referentnih. Prikazani histogrami te kutijasti dijagrami se nalaze u istim mjerilima rade lakše međusobne usporedbe podataka, dok prikazi koordinatnih odstupanja imaju prilagođena mjerila za najbolje ispunjenje prostora, a time i najbolje prikazivanje ponašanja vrijednosti. Vrijednosti o broju vidljivih satelita su zapisani u položajnim zapisima za svaki položaj.



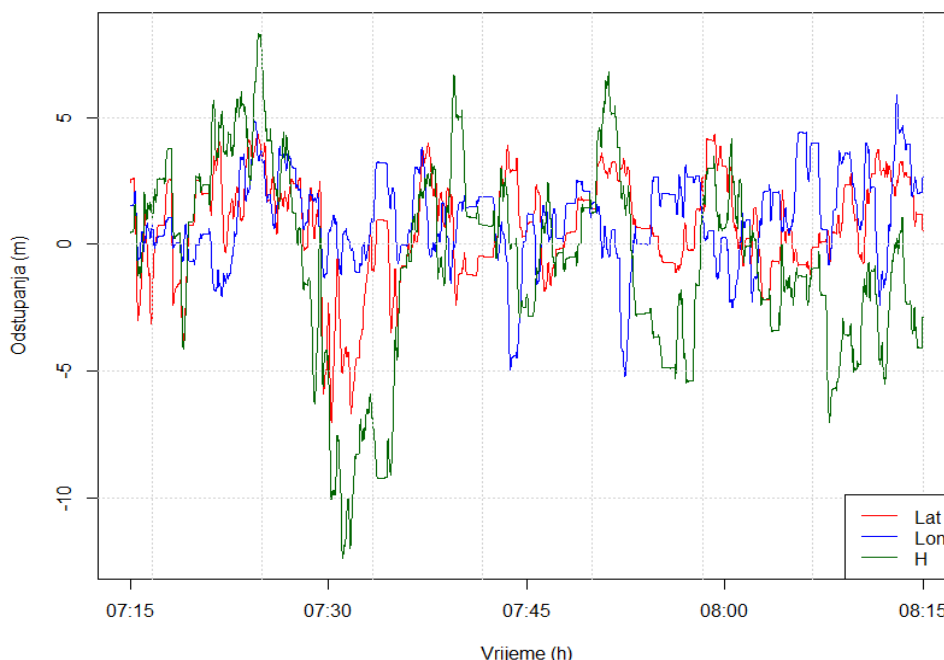
Slika 24. Prikaz procijenjenih DOP vrijednosti za područje statičkog mjerenja

Izvor: izradio student pomoću podataka s web stranice Trimble GNSS Planning Online,
<https://www.gnssplanning.com>

Na Slici 24. prikazane su DOP vrijednosti za lokaciju statičkog snimanja. Područje unutar crnih vertikalnih linija predstavlja razdoblje snimanja. Plavom krivuljom označene su geometrijske DOP vrijednosti, zelenom položajne, crnom vremenske, narančastom horizontalne te ljubičastom vertikalne DOP vrijednosti.

4.1.1. Samsung A6

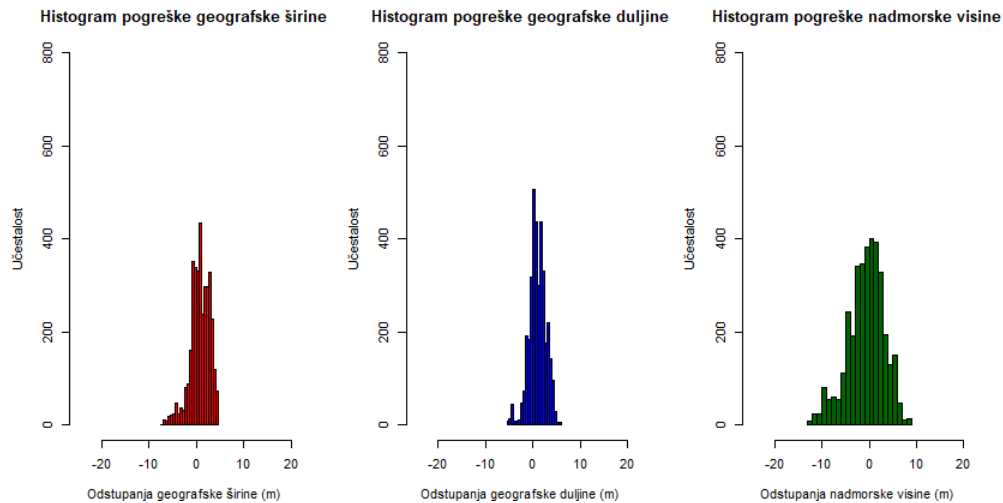
Na Slici 25. vidljivo je da su odstupanja kroz većinu vremena međusobno uzastopno bliska. Odstupanja geografske širine i dužine se u velikoj mjeri slično nalazi unutar odstupanja od +/- 5 m.



Slika 25. Koordinatna odstupanja, Samsung A6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

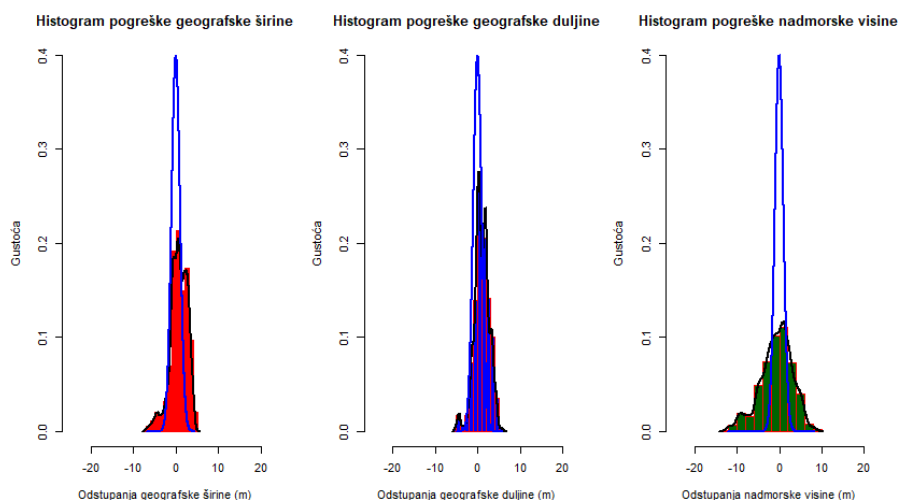
Nadmorska visina je imala znatno veća odstupanja koja imaju vrijednosti i do gotovo 12 m južnije od prave visine. Odstupanje geografske širine se nalazi pretežno u pozitivnom dijelu što je opaženo u kasnijim krivuljama gustoće pogrešaka. Po pitanju geografske dužine, odstupanja se također pretežito nalaze u pozitivnom dijelu odstupanja dok odstupanja nadmorske visine predstavljaju balansirani raspon odstupanja sa sličnim najvećim i najmanjim vrijednostima odstupanjima dok se najčešće vrijednosti nalaze blizu referentne visine.



Slika 26. Histogrami učestalosti pogrešaka odstupanja, Samsung A6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

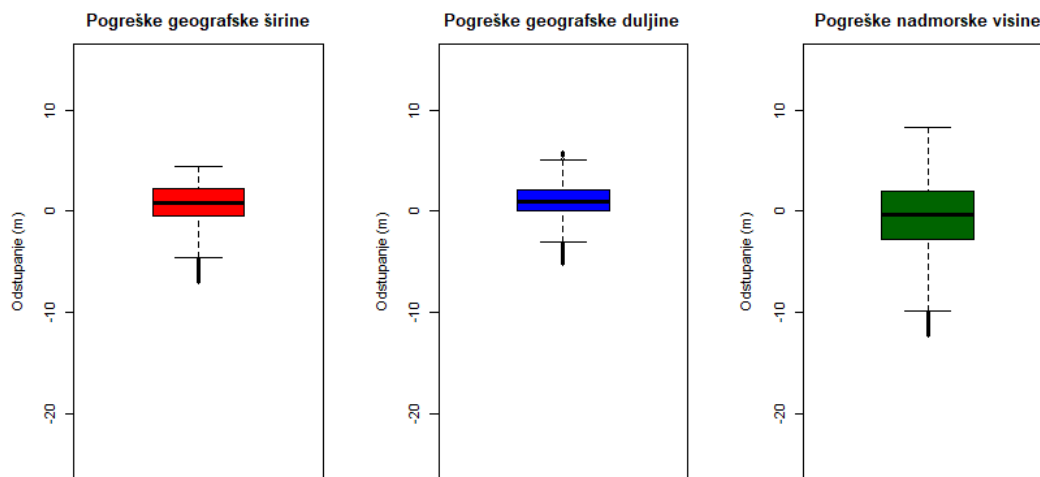
Na Slici 26. prikazano je da odstupanja geografske širine i dužine su malih vrijednosti, odnosno najveća učestalost odstupanja se nalazi unutar područja blizu nule. U vrijednostima odstupanja geografske dužine preko 1 m krivulja oscilira u češća odstupanja te oko 2 m započinje svoj pad prema gornjoj granici vrijednosti odstupanja. Nadmorska visina ujedno predstavlja i najnetočniju mjerenu vrijednost s većim skokovima odstupanjima. Na Slici 23. prikazane su dvije krivulje. Plavom bojom je označena standardna krivulja normalne razdiobe, a crnom bojom stvarna krivulja dobivenih vrijednosti.



Slika 27. Gustoće razdiobi pogrešaka odstupanja, Samsung A6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Slika 27. prikazuje da krivulja gustoće pogrešaka geografske širine u početku s nižih vrijednosti odstupanja prati krivulju normalne razdiobe, međutim, prije polovice krivulje normalne razdiobe, krivulja gustoće pogrešaka stagnira i pada u gornji maksimum vrijednosti odstupanja. Najčešća odstupanja se nalaze u području blago ispred nule. Uspoređujući krivulju gustoće pogrešaka geografske dužine s krivuljom normalne razdiobe, opaženo je da krivulja gustoće pogrešaka geografske širine prati formu krivulje normalne razdiobe, iako u manjim vrijednostima i sa malim zakašnjenjem. Usporedbom krivulje gustoće pogrešaka visine s krivuljom normalne razdiobe, opaženo je da vrhunac krivulje gustoće pogrešaka prati vrhunac krivulje normalne razdiobe iako počinje i završava znatno prije za donje vrijednosti odstupanja, odnosno kasnije za gornje vrijednosti odstupanja.



Slika 28. Kutijasti dijagrami pogrešaka odstupanja, Samsung A6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

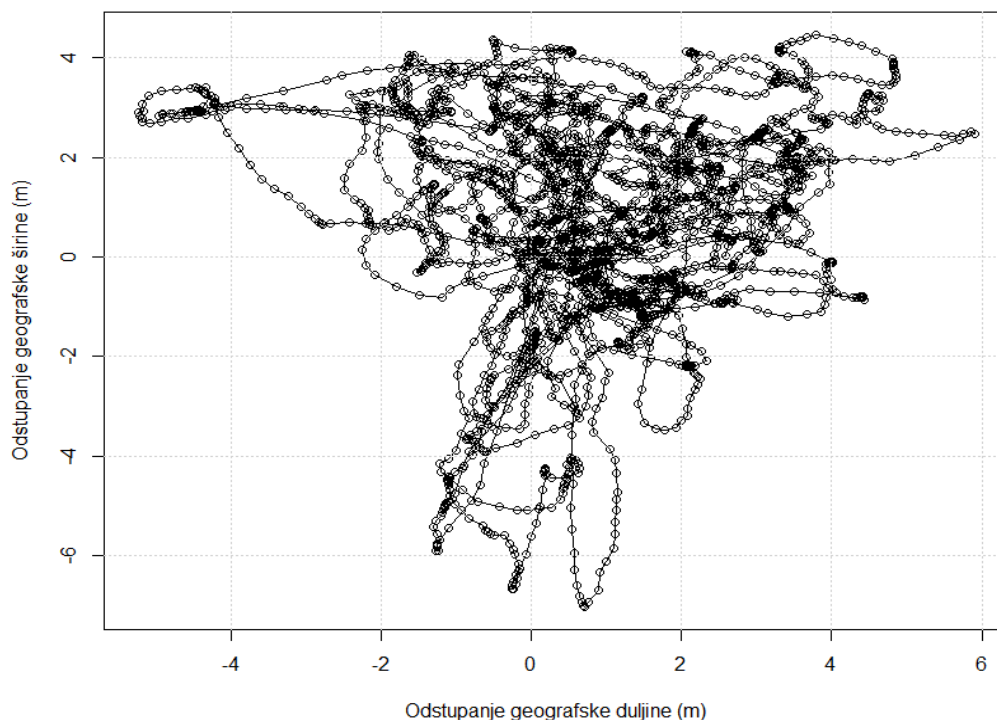
Slika 28. predstavlja kutijaste dijagrame mjerenja. Obje granice vrijednosti za geografsku širinu i dužinu se nalaze u sličnim suprotnim vrijednostima od 4,5 m, a postoji veći broj stršećih vrijednosti u negativnom dijelu kod oba slučaja. Upotrebljive vrijednosti odstupanja visine se nalaze u rasponu između -9,9 i 8,1 m s većim brojem stršećih vrijednosti u donjem dijelu.

Tablica 2. Statistički opis statičkog mjerenja, Samsung A6

	Samsung A6		
Odstupanja (m)	Geo. širina	Geo. dužina	Nadmorska visina
Minimalna vrijednost	-7.0116	-5.2355	-12.3760
Donji kvartil (25%)	-0.5069	-0.0015	-2.8250
Srednji kvartil (50%)	0.7550	0.9397	-0.3500
Srednja vrijednost	0.6804	0.9917	-0.6835
Gornji kvartil (75%)	2.2340	2.0820	1.9307
Maksimalna vrijednost	4.4514	5.8987	8.3150
Interkvartilna razlika	2,7409	2,0835	4,7557
Standardna devijacija	2.0330	1.7471	3.8071

Izvor: izradio student

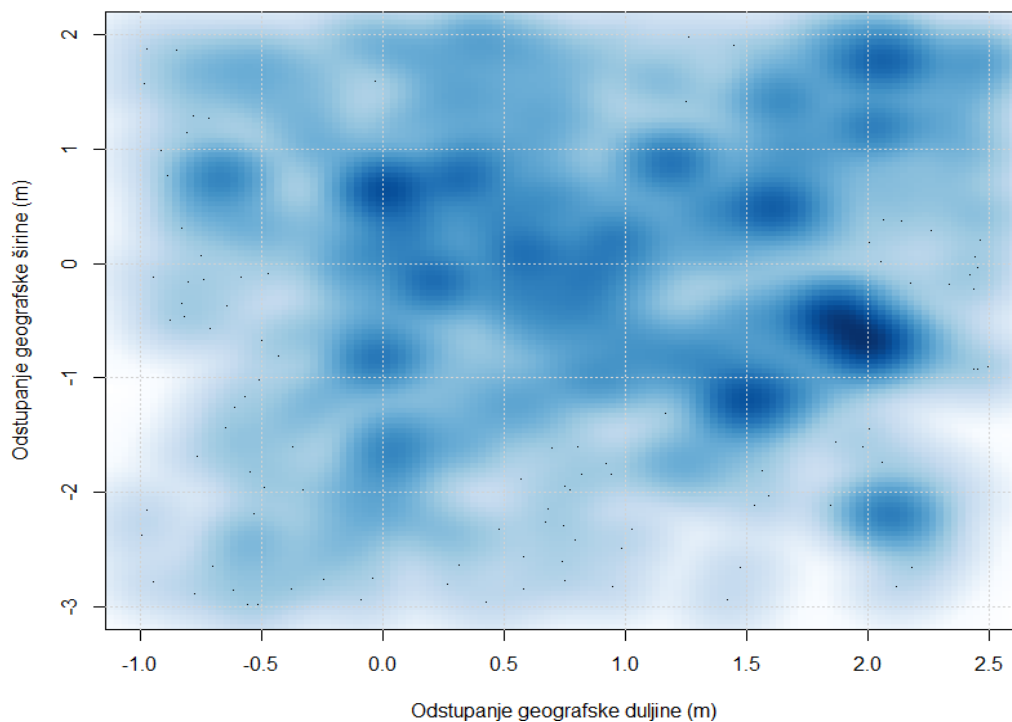
Uz ostale vrijednosti iz Tablice 2., zanimljivo je primijetiti da je najčešće dobiveni položaj odstupao 0,9 m istočno i 0,6 m južno te je iznosio 0,68 m niže od referentnog položaja. Također, po pitanju odstupanja geografske širine i dužine, vrijednosti između 25 % i 75 % svih vrijednosti se nalaze u sličnom području od manjeg negativnog odstupanja do 0,5 m te pozitivnog odstupanja do 2,2 m.



Slika 29. Dvodimenzionalno odstupanje, Samsung A6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

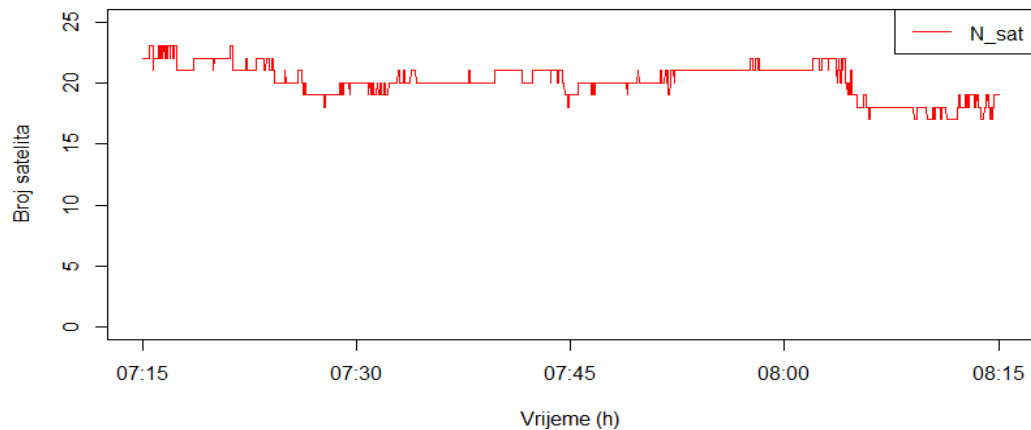
Slika 29. grafički prikazuje odstupanja geografske širine i dužine u crnim kružićima. Tamnija područja prikazuju veću učestalost dobivenog položaja na tom području prikazanog koordinatnog sustava. Radi boljeg promatranja najčešćih odstupanja, napravljen je još jedan sličan prikaz gustoće koji bolje prikazuje ponašanje odstupanja (Slika 30). Približno područje omeđeno je područjem od -1 do 2.5 m odstupanja geografske duljine te od -3 do 2 m odstupanja geografske širine. Dobiveni položaji označeni su plavim područjima, a veća učestalost određenih položaja predstavljena je tamnijom plavom bojom.



Slika 30. Približeni prikaz gustoće dvodimenzionalnog odstupanja, Samsung A6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Kroz cijelo mjerenje opažen je bio veliki broj satelita između 17 i 23 bez većih opaženih promjena.



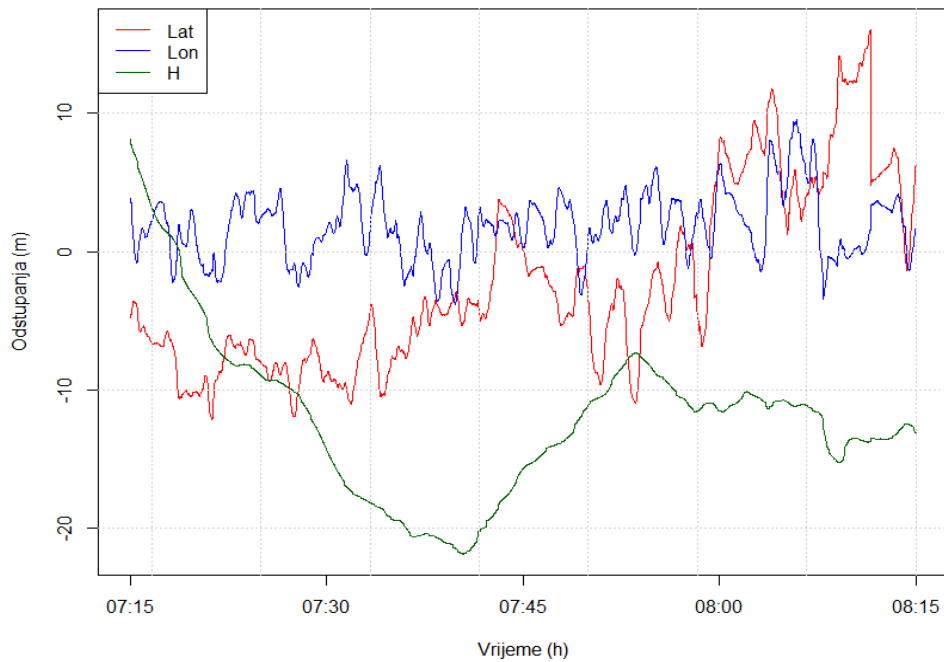
Slika 31. Broj vidljivih satelita, Samsung A6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Svaki zadnji prikaz, a ovdje Slika 31. prikazuje broj vidljivih satelita pametnih telefona kroz mjerenje. Treba napomenuti da broj satelita ne uključuje zadani kut maskiranja uređaja, već su prikazani svi fizički vidljivi sateliti, a za potrebu računanja položaja automatski su odabrani optimalni sateliti. Broj satelita kroz cijelo mjerenje je bio povoljan za računanje položaja.

4.1.2. Samsung S6

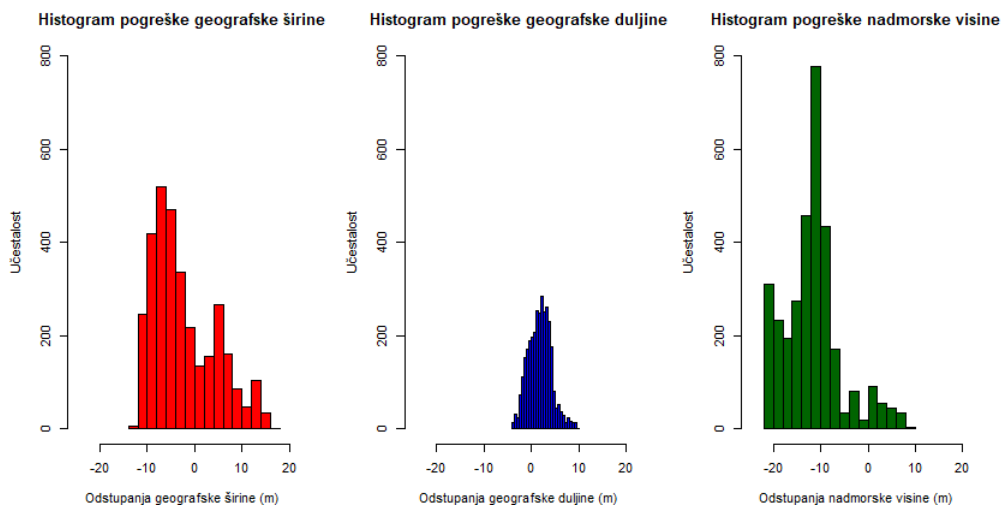
Na Slici 32. koordinatnih odstupanja opažene su različite i većinom odvojene vrijednosti pojedinih odstupanja. U prve tri četvrtine mjerenja opažena su pretežito negativna odstupanja geografske širine, dok se u zadnjoj četvrtini dogodila promjena te su odstupanja geografske širine pretežito pozitivna.



Slika 32. Koordinatna odstupanja, Samsung S6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Odstupanja geografske širine su umjerena, dok odstupanja nadmorski visine prate sve veći negativan trend do približno 07:40 UTC, zatim smanjivanje odstupanja do 7:53 UTC te ponovno blagi negativan trena do kraja mjerenja.

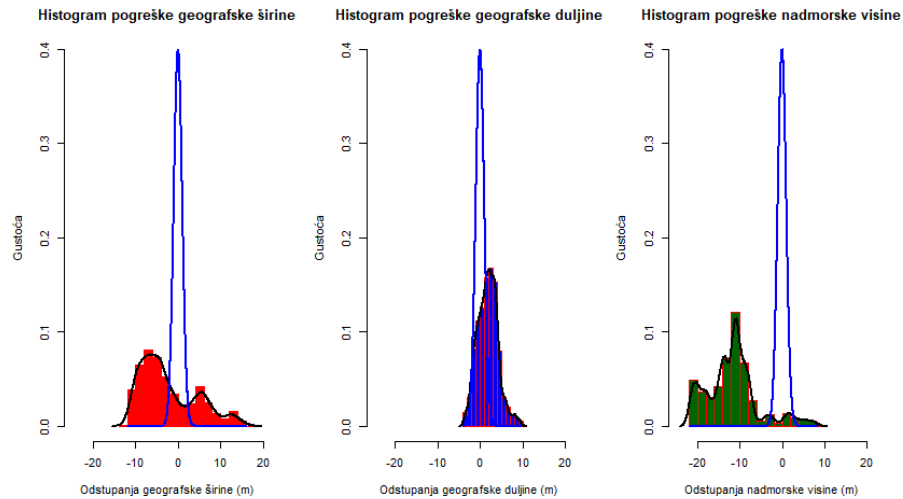


Slika 33. Histogrami učestalosti pogrešaka odstupanja, Samsung S6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Odstupanja geografske širine na Slici 33. su pretežito negativna, s najčešćim odstupanjem oko -7 m. Krivulja gustoće pogrešaka odstupanja ne prati krivulju normalne razdiobe već djeluje djelomično inverzno na nju. Opažen je veći skok krivulje gustoće

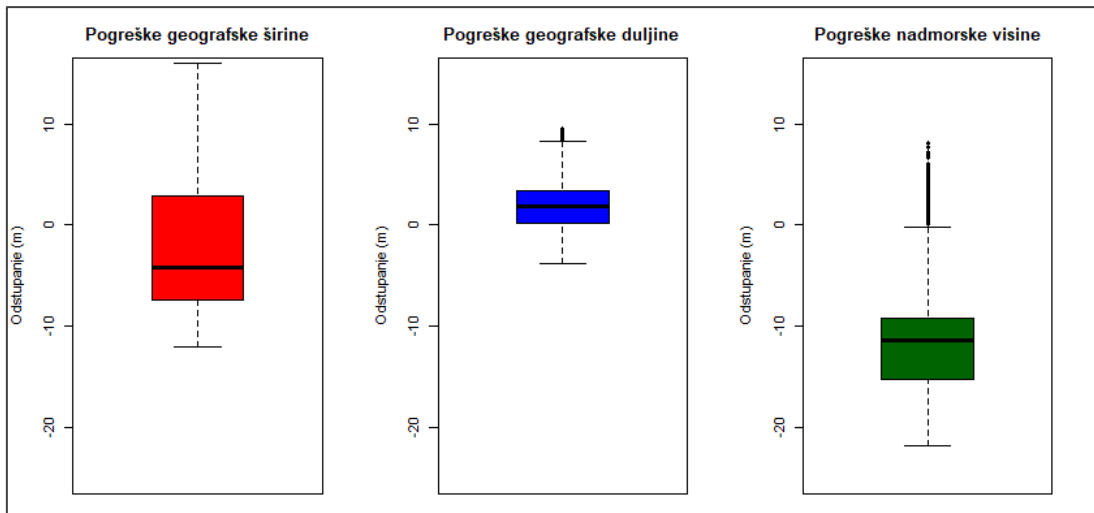
pogrešaka odstupanja pri nižim vrijednostima između -11 i -2 m te manji skok krivulje u većim vrijednostima od 3 do 7 m odstupanja. Odstupanja geografske dužine se nalaze u približno pravilnom obliku širenja odstupanja sa središtem u 2 m.



Slika 34. Gustoće razdiobi pogrešaka odstupanja, Samsung S6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Iako krivulja gustoće pogrešaka odstupanja na Slici 34. započinje u istom dijelu vrijednosti kao i krivulja normalne razdiobe, vrijednosno ne prati ostatak krivulje već se sporije uspinje prema vrhu, dostiže vrh na mjestu gdje krivulja normalne razdiobe završava, te pada i završava na gornjem dijelu oko 6 m odstupanja. Odstupanja nadmorske visine ne prate krivulju normalne razdiobe, već se može opaziti veći broj odstupanja blizu minimalnih vrijednosti, najčešće odstupanje oko -11 m te manja učestalost odstupanja u narednih 15 m. Iz toga razloga krivulja gustoće pogrešaka odstupanja je prikazana s nižim vrhom pri dnu skale i većim vrhom pri sredini skale. Gornji vrh ima obilježja blaže, ali pravilne krivulje odstupanja, izuzev stagnacije u području od -13,5 m.



Slika 35. Kutijasti dijagrami pogrešaka odstupanja, Samsung S6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

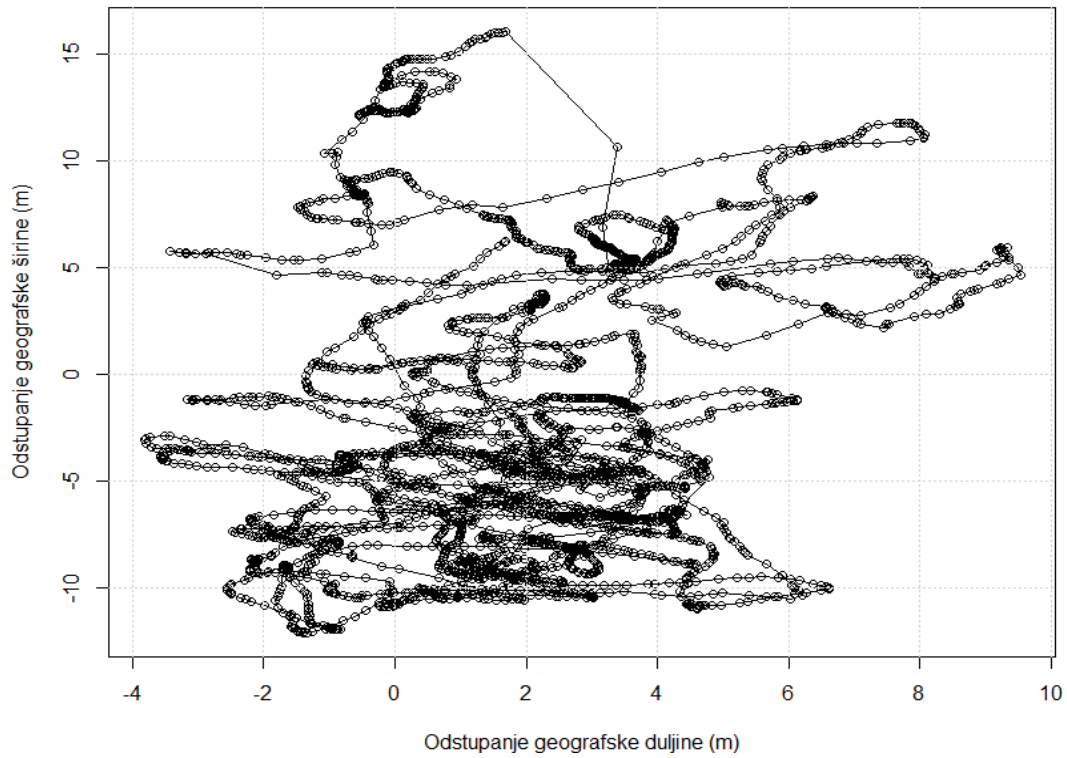
Na Slici 35. vidljivi su kutijasti dijagrami mjerenja. Vrijednosti za odstupanja geografske širine se nalaze unutar upotrebljivih granica vrijednosti od -12,1 do 16 m, bez značajnijih stršćih vrijednosti. Većina vrijednosti odstupanja geografske dužine se nalazi između -3,82 i 8,1 m s opaženim većim brojem gornjih stršćih vrijednosti. Upotrebljive vrijednosti odstupanja visine su izračunate u dijelu između -21,9 i -0,2 m s velikim brojem gornjih stršćih vrijednosti.

Tablica 3. Statistički opis statičkog mjerenja, Samsung S6

	Samsung S6		
Odstupanja (m)	Geo. širina	Geo. dužina	Nadmorska visina
Minimalna vrijednost	-12.1187	-3.8231	-21.8680
Donji kvartil (25%)	-7.4703	0.1148	-15.2760
Srednji kvartil (50%)	-4.2370	1.8572	-11.4080
Srednja vrijednost	-2.3472	1.8251	-11.7500
Gornji kvartil (75%)	2.8585	3.3981	-9.2307
Maksimalna vrijednost	16.0268	9.5305	8.1260
Interkvartilna razlika	10,3288	3,2833	6,0453
Standardna devijacija	6.5912	2.3814	6.0767

Izvor: izradio student

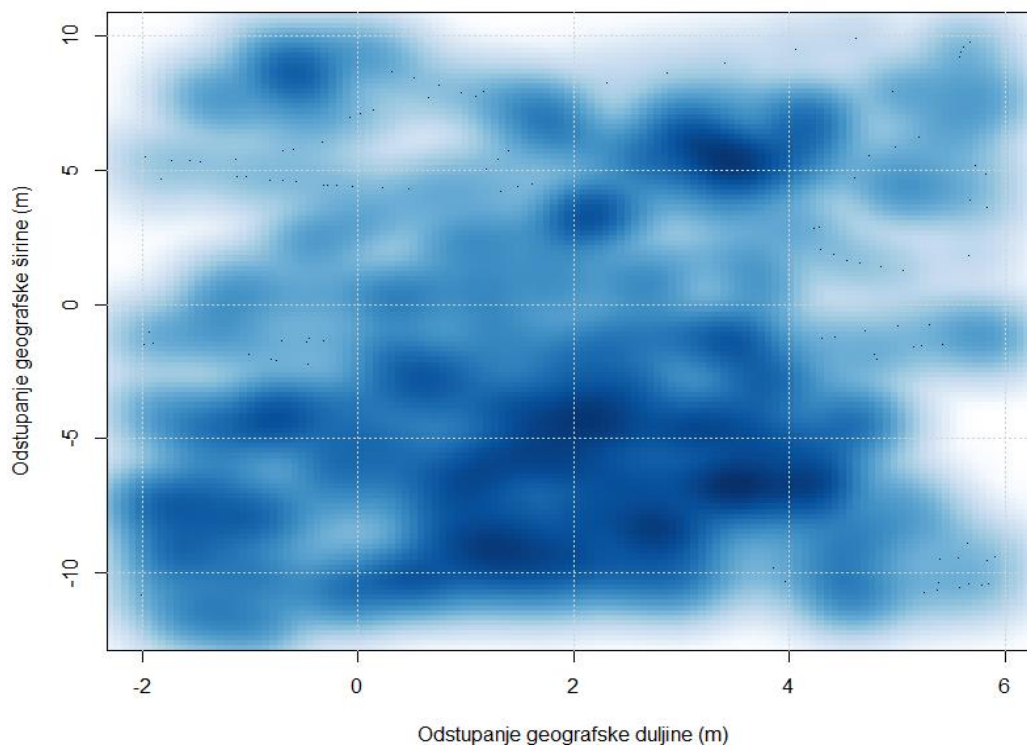
Iz Tablice 3. primjećuje se srednja vrijednost odstupanja geografske širine iznosi -2,35 m, geografske dužine iznosi 1,83 m, a nadmorske visine iznosi -11,75 m. Opažene su veće razlike u međusobnim odstupanjima u smislu da ne postoji zajednički element u odstupanjima već su sve tri osi imala odstupanja u različitim veličinama.



Slika 36. Dvodimenzionalno odstupanje, Samsung S6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

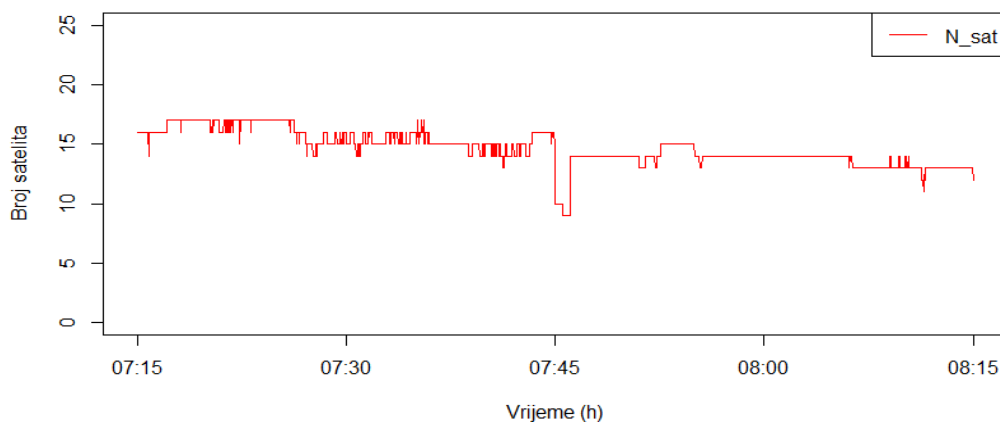
Na Slici 36. grafički prikazuje ponašanje dobivenih položaja te su opažena rjeđa veća odstupanja sjeverno-istočne komponente, dok je veća učestalost odstupanja u jugozapadnom kvadrantu prikazanog koordinatnog sustava.



Slika 37. Približeni prikaz gustoće dvodimenzionalnog odstupanja, Samsung S6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Radi boljeg prikaza ponašanja odstupanja dobivenih položaja u žarištu, napravljena je Slika 37. s približenim područjem omeđeno točkama -2 i 6 m na X osi te -12 do 10 m na Y osi. Opažena su dva žarišta u donjoj polovici Slike 34. te manje žarište u prvom kvadrantu prikaza. Veće žarište dobivenih položaja se nalazi u području sa središtem od -7 m odstupanja geografske širine i 2,5 m geografske dužine. Drugo i manje žarište opaženo je u području sa središtem od 5,5 m odstupanja geografske širine te 3,5m geografske dužine.



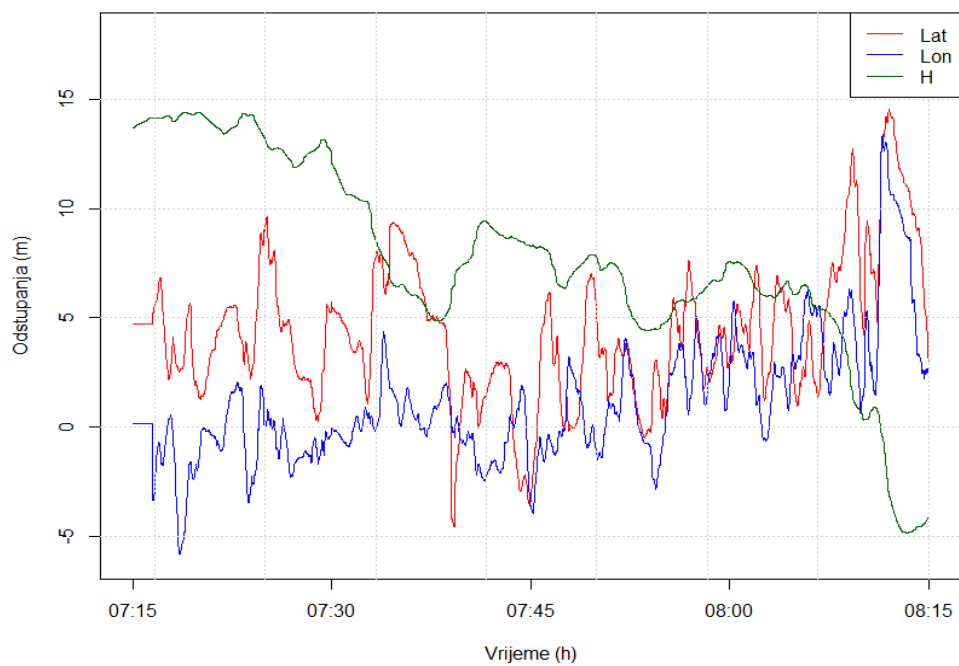
Slika 38. Broj vidljivih satelita, Samsung S6, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Kroz cijelo mjerenje vidljiv je bio veliki broj satelita između 9 i 17 kao prikazano na Slici 38. Uočen je gubitak vidljivosti 7 satelita u trajanju od 1 minute s početkom u 07:44:59 UTC što je pripisano softverskoj komponenti pametnog telefona.

4.1.3. Samsung S8

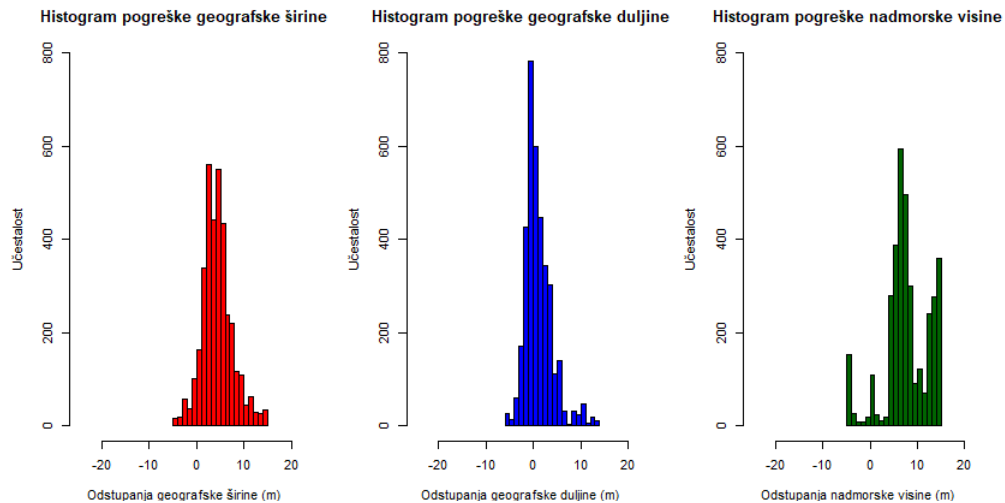
Na Slici 39. koordinatnih odstupanja prikazuje da su odstupanja geografske širine i dužine slična. U prvoj polovici prikaza te dvije vrijednosti se približavaju, a u drugoj polovici prikaza imaju vrlo slično odstupanje.



Slika 39. Koordinatna odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023

Izvor: izradio student

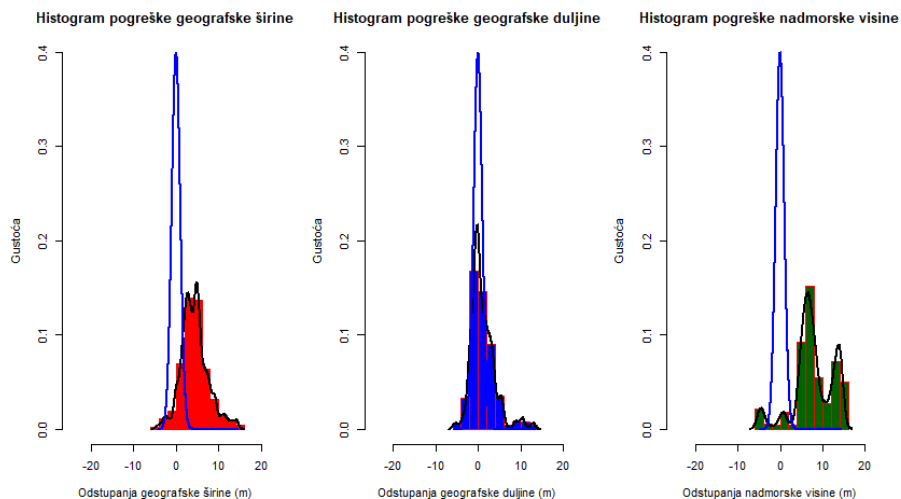
Odstupanja svih triju vrijednosti su pretežito pozitivna, dok odstupanje nadmorska visine ostvaruje gotovo stalni pad vrijednosti kroz mjerenje. Uočen je nagli pozitivan skok kod odstupanja geografske širine i dužine u 08:11:14 UTC.



Slika 40. Histogrami učestalosti pogrešaka odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Na slici 40. odstupanje geografske širine se nalazi s dva slična vrha po učestalosti odstupanja na 3 i 5 m. Ostatak vrijednosti prati blagu i sa pozitivnim središtem, ali pravilnu krivulju razdiobe. Odstupanja geografske dužine se nalaze na gotovo pravilnoj krivulji normalne razdiobe s najčešćom vrijednošću odstupanja malo ispod nule. Početak i završetak vrha krivulje je sličan početku i završetku krivulje normalne razdiobe izuzev usporavanja pada krivulje nakon 2 m.

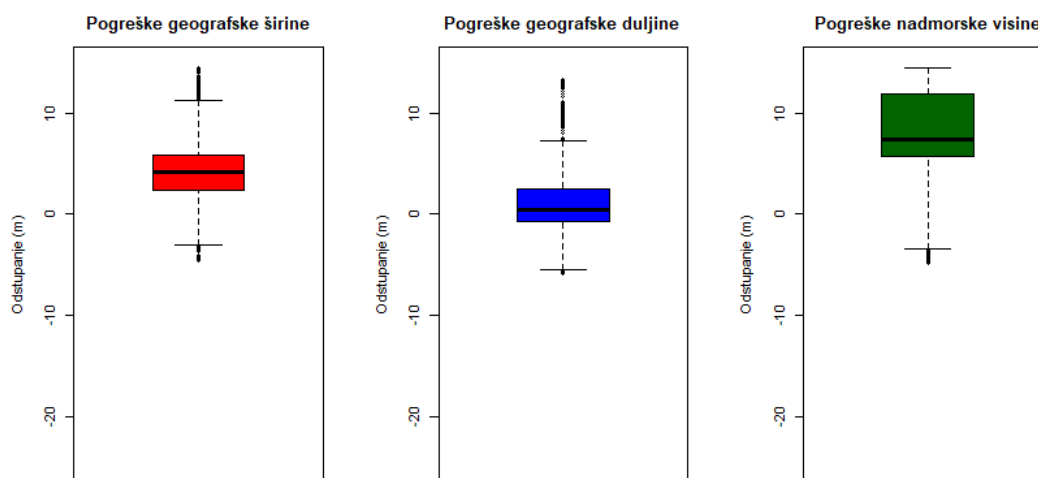


Slika 41. Gustoće razdiobi pogrešaka odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Međutim, odstupanje nadmorske visine je kaotično. Opažen je veći broj manjih vrhova na -5, 1 i 11 m, veći vrh na 15 m te glavni vrh na 7 m. Iako krivulja gustoće pogrešaka

odstupanja na Slici 41. ne prati uopće krivulju normalne razdiobe vrijednosno, glavni i sporedni veći vrh se šire po poprilično pravilnoj krivulji razdiobe.



Slika 42. Kutijasti dijagrami pogrešaka odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Slika 42. prikazuje upotrebljive vrijednosti odstupanja geografske širine se nalaze između -3 i 12 m, s većim brojem stršćih vrijednosti u oba smjera dok se kod geografske dužine većina vrijednosti nalazi između -5,5 i 7,2 m s manjim brojem stršćih vrijednosti s obje strane. Po pitanju nadmorske visine, većina vrijednosti odstupanja se nalazi u području između -4 i 14,2 m s većim brojem stršćih vrijednosti u donjem dijelu.

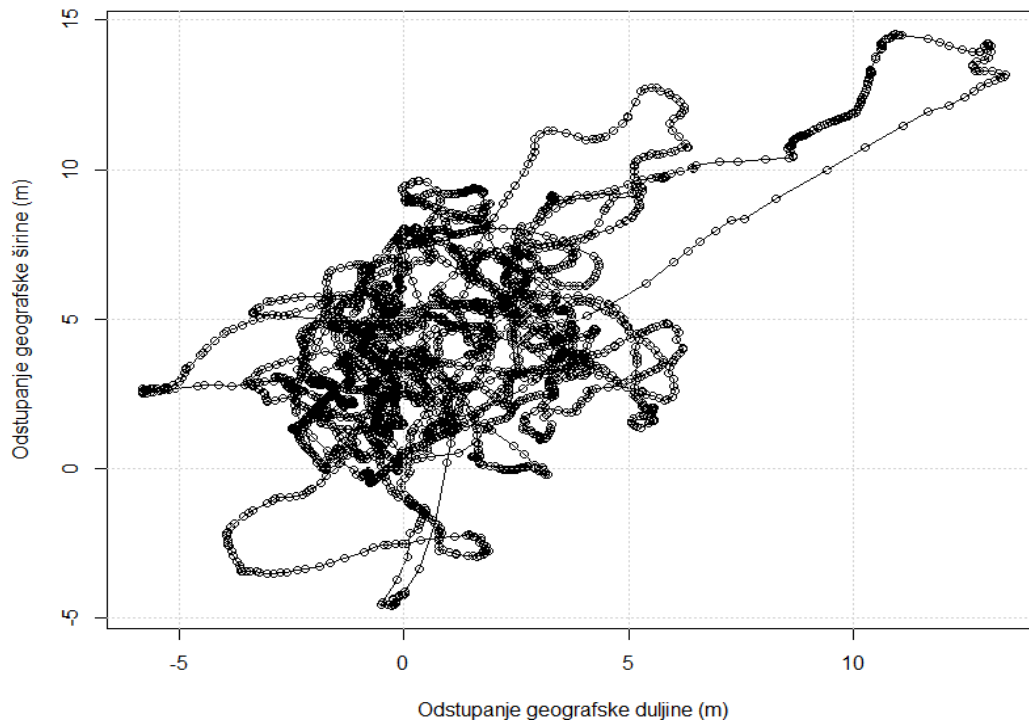
Tablica 4. Statistički opis statičkog mjerenja, Samsung S8

	Samsung S8		
Odstupanja (m)	Geo. širina	Geo. dužina	Nadmorska visina
Minimalna vrijednost	-4.5837	-5.8191	-4.8530
Donji kvartil (25%)	2.3229	-0.7069	5.7477
Srednji kvartil (50%)	4.2025	0.4355	7.3405
Srednja vrijednost	4.3567	1.1018	7.7025
Gornji kvartil (75%)	5.8810	2.4925	11.8962
Maksimalna vrijednost	14.5278	13.3740	14.4120
Interkvartilna razlika	3,5581	3,1994	6,1485
Standardna devijacija	3.2190	2.8892	4.5849

Izvor: izradio student

Tablica 4. prikazuje da srednja vrijednost odstupanja geografske širine iznosi 4,36 m, srednja vrijednost odstupanja geografske dužine iznosi 1,10 m dok srednja vrijednost

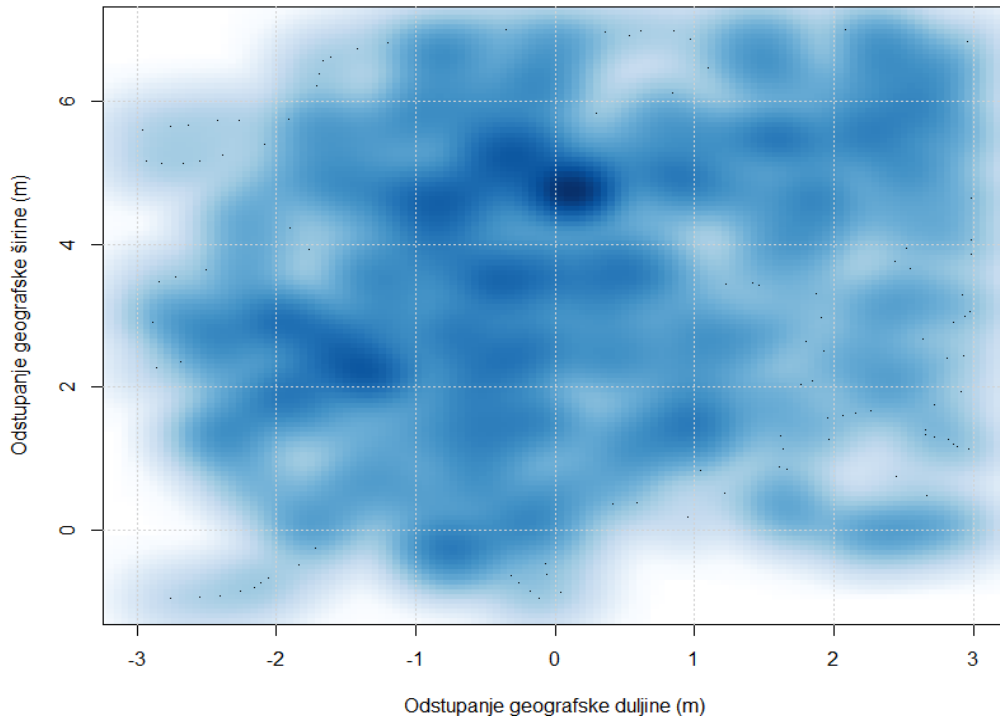
odstupanja nadmorske visine iznosi 7,70 m. Kao i u slučaju kod Samsunga S6, ne postoji neka korelacija između vrijednosti unutar donjeg i gornjeg kvartala, geografska širini i nadmorska visina su za obje vrijednosti u pozitivnom području, dok za geografsku dužinu donji kvartal se nalazi na vrijednosti od -0.7 m.



Slika 43. Dvodimenzionalno odstupanje, Samsung S8, 18/04/2023

Izvor: izradio student

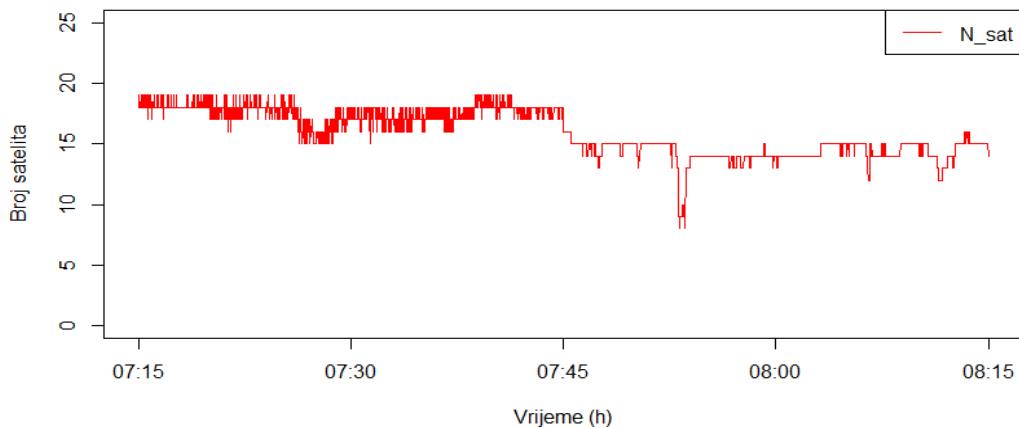
Na Slici 43. koordinatnih odstupanja geografske širine i dužine prikazuje se manji broj odstupanja u sjeverno-istočnom području dok se većina odstupanja nalazi u lijevom dijelu prikaza. Po pitanju geografske dužine opaženo je da su većina odstupanja u blagom pozitivnom dijelu osi što podupire statističke rezultate. Relativno je mali dio dobivenih položaja na južnom području prikaza što je ponovno u skladu sa statističkim rezultatima.



Slika 44. Približni prikaz gustoće dvodimenzionalnog odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Slika 44. prikazuje približno područje omeđeno točkama -3 i 3 m po geografskoj dužini te -1 do 7 m po geografskoj širini. Opažena je ujednačena raspršenost položaja s jednim izraženim žarištem na točki 0.2 m geografske dužine i 4.5 m geografske širine.



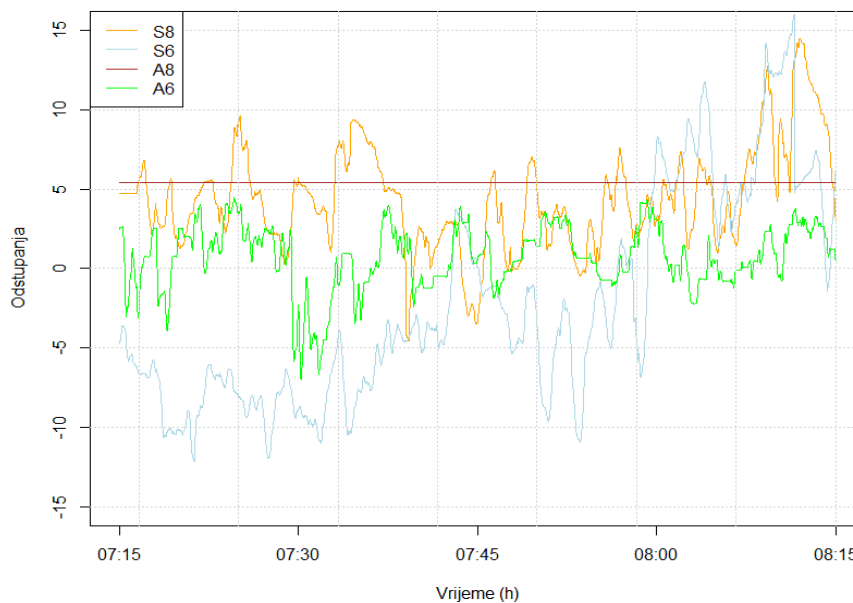
Slika 45. Broj vidljivih satelita, Samsung S8, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Kroz mjerenje je bio vidljiv umjeren do veliki broj satelita između 8 i 19 što je prikazano na Slici 45. Uočen je gubitak vidljivosti 4 satelita u trajanju od 30 sekundi s početkom u 07:53:07 UTC što je pripisano softverskoj komponenti pametnog telefona.

4.1.4. Zbirni rezultati

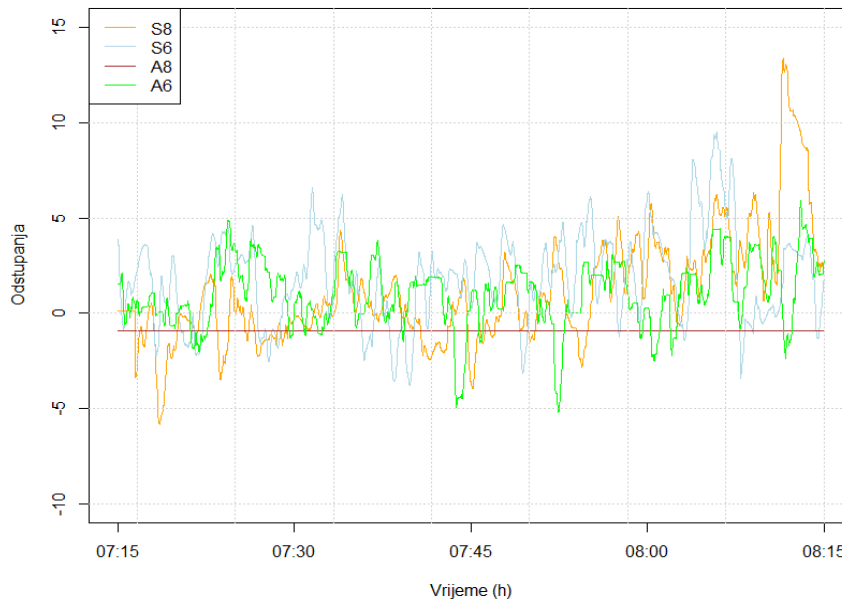
Odstupanje geografske širine kod svih pametnih telefona prati sličnu formu, iako su opažene veće i manje vrijednosne oscilacije između pojedinih uređaja (Slika 46.).



Slika 46. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj širini, 18/04/2023

Izvor: izradio student

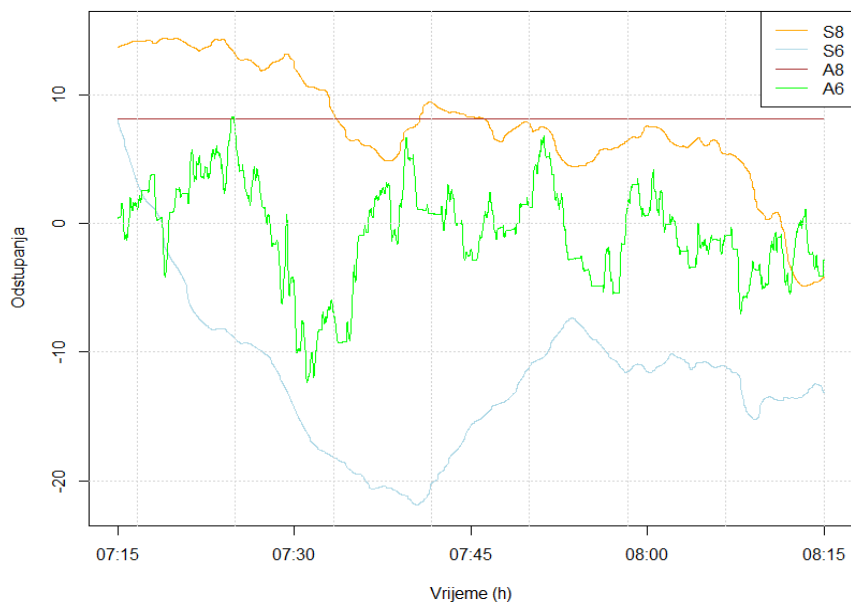
Iako je prethodno spomenuto da se Samsung A8 zbog softverske pogreške uređaja neće uspoređivati s ostalim uređajima u ovom mjerenju, prikazana je njegova jedina snimljena vrijednost na ovoj i idućim slikama. Najstabilnije i opće najtočnije mjerenje je opaženo kod pametnog telefona Samsung A6. Samsung S8 ima pretežito pozitivna odstupanja koja su izraženija u početku i završetku mjerenja, dok sredina mjerenja predstavlja njegovo najtočnije vrijeme mjerenja. Samsung S6 se pokazao vidljivo najnestabilnijim i najnetočnijim, s većim odstupanjima kroz cijelo trajanje mjerenja te odstupanjima koja prelaze 10 m u oba smjera. Zanimljivo je da u početnih 10 minuta i završnih 15 minuta su opažene korelacije odstupanja položaja između uređaja, što ukazuje na međusobno potvrđivanje mogućnosti točnosti položaja uslijed vanjskih utjecaja. Primjećuje se da su skokovi odstupanja kod kraja prikaza izraženi kod svih uređaja (iako u manjoj mjeri kod Samsunga A6), što daje naslutiti da je problem određivanja položaja bio pobješen eventualnim vanjskim meteorološkim uvjetima na putu do satelita.



Slika 47. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj dužini, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Situacija je dosta drugačija kod odstupanja geografske dužine na Slici 47. Opažene su relativno bliske vrijednosti odstupanja kod svih pametnih telefona. Najveći skok u odstupanju je opažen u završnom dijelu mjerenja pametnog telefona Samsung S8. Skok u odstupanju ovog uređaja se slaže sa skokom u geografskoj širini, dakle položaj je znatno odstupao u obje osi. Kao i u prošlom prikazu, Samsung S8 je u ostatku mjerenja pretežito točan. Drugi najveći skok je opažen kod pametnog telefona Samsunga S6 pet minuta prije skoka Samsunga S8. Samsung A6 je također i u ovom slučaju najstabilniji i najtočniji pametni telefon, iako su skokovi malo izraženiji negoli kod odstupanja geografske širine.



Slika 48. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po nadmorskoj visini, 18/04/2023

Izvor: izradio student

Kod odstupanja nadmorske visine na Slici 48. opažena je opća tendencija pada vrijednosti kroz mjerenje budući da sva mjerenja završavaju na nižim vrijednostima u odnosu na početak mjerenja. Najstabilnije mjerenje je opaženo kod Samsunga S8, iako se kroz mjerenje uvidio spust visine od gotovo 20 m. Samsung S6, iako stabilan, ima spore i dugotrajne oscilacije koje dosežu i do 30 m razlike. Ponovno, Samsung A6, iako ovaj put nestabilan, predstavlja pametni telefon s najtočnijim položajem kroz mjerenje.

4.2. DINAMIČKI DIO ISTRAŽIVANJA

U ovom poglavlju prikazani su rezultati dinamičkog određivanja položaja pametnih telefona u usporedbi s referentnim multi-frekvencijskim prijammnikom (u legendama označen kao „Reference“). Obrađeni su rezultati svih triju faza, s detaljnijim prikazom najlošijeg područja za dobivanje položaja, Bakra. Ovaj dio druge faze, nazvan Bakarski dio, će se prikazati samostalno prikazati u nastavku druge faze rade izoliranja podataka samo za to područje. Budući da za svrhe pomorskog određivanja položaja visina nije bitna, a njezina preciznost je obrađena u statičkom mjerenju, u ovom potpoglavlju uspoređivat će se samo horizontalne komponente položaja.

Prikazana odstupanja u geografskim stupnjevima prikazana su smjerom odstupanja. Vrijednosti odstupanja geografske širine i dužine mogu biti pozitivne (sjever i istok) ili negativne (jug i zapad). Navedeno vrijedi za sve prikaze čije X i Y osi predstavljaju geografske stupnjeve te sve tablice. Prikazana odstupanja u metrima između pojedinih pametnih telefona i referentnog uređaja nisu izražena s predznakom, dakle smjera odstupanja, već je samo izražena ukupna brojčana vrijednosti horizontalnog odstupanja dobivenog položaja od referentnog. Navedeno vrijedi samo za prikaze u kojima je Y os izražena u metrima. Slika 49. prikazuje zapise svih pametnih telefona za dinamično mjerenje.



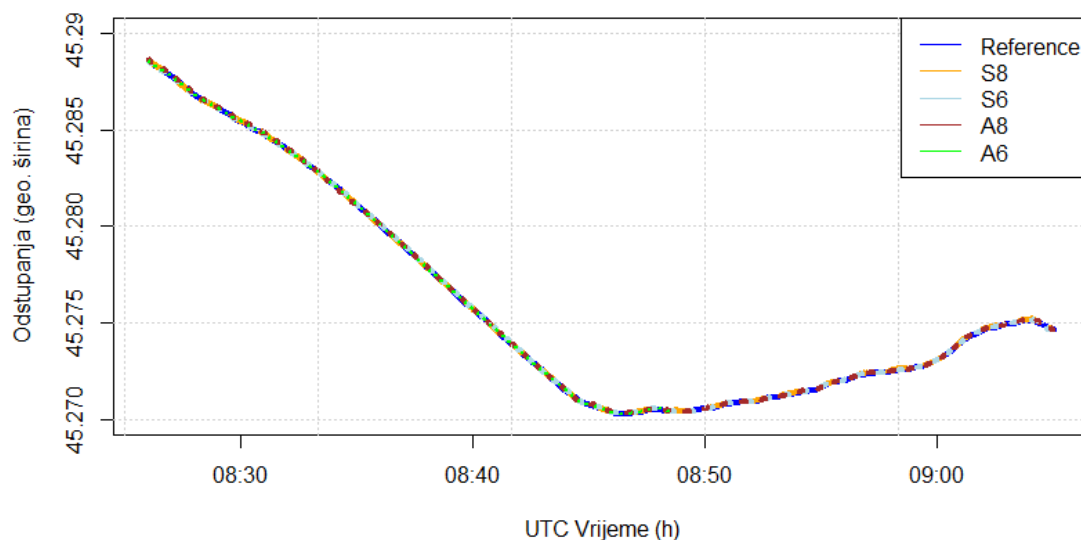
Slika 49. Usporedni prikaz dinamičkih mjerenja

Izvor: izradio student u aplikaciji „Google Earth Pro“ i „Gimp“

Statistički i grafički prikazi odstupanja se temelje na uspoređivanju 417 položajnih zapisa između pametnih telefona i referentnog prijamnika, te 65 položajnih zapisa za Samsung A6 radi prethodno spomenute tehničke greške u snimanju. Od navedenih 417 položajnih zapisa, napravljena je podjela na zasebne faze ovisno o vremenu položajnih zapisa. To omogućuje pojedinačno uspoređivanje pojedinih faza bez utjecaja rezultata drugih faza. Uz odstupanja, prikazani su i prikazi brzine kretanja brodice. Legenda brzine s desne strane prikaza na Y osi prikazuje i najveću izmjerenu brzinu. Svi prikazi po potpoglavlju počinju s rezultatima referentnog prijamnika, a zatim rezultata pametnih telefona njihovim abecednim redom. Na svim kartama i prikaza s geografskim koordinatama sjever se nalazi na vrhu prikaza.

4.2.1. Analiza prve faze

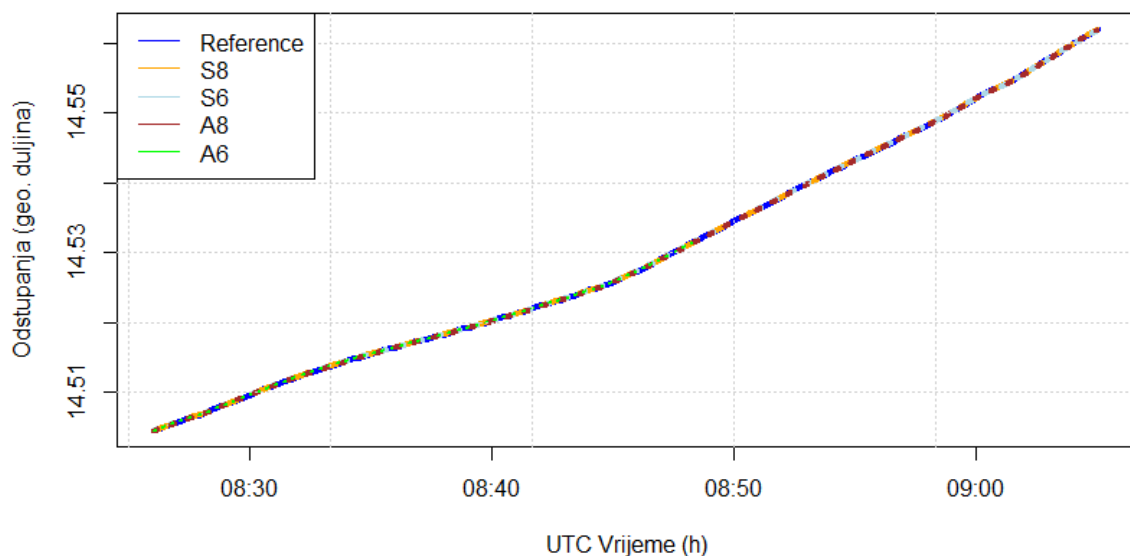
Prva faza istraživanja predstavlja povoljne uvjete za satelitsko određivanja položaja. Okolni reljef je predstavljao zanemarivu zatvorenost. Međutim, meteorološki i svemirski uvjeti nisu bili idealni budući da je vrijeme bilo kišovito te je u tijeku bilo relativno nemirno svemirsko vrijeme. Unatoč tome, točnost određivanja položaja pametnih telefona su bile bolje od očekivane s obzirom na vanjske utjecaje.



Slika 50. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj širini, prva faza, 09/05/2023

Izvor: izradio student

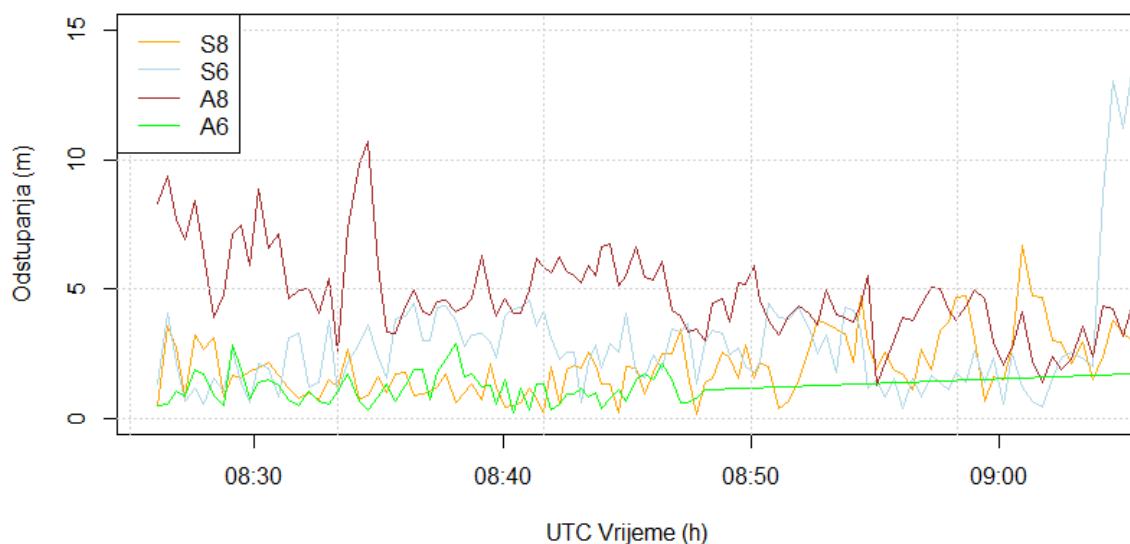
Međusobnim uspoređivanjem položajnih zapisa geografske širine nisu opažena znatna odstupanja (Slika 50.). U 08:48 UTC vidljiv je prestanak podataka o položajima uređaja Samsung A6. Najizraženija odstupanja su opažena kod uređaja Samsung S8.



Slika 51. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj dužini, prva faza, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Slično kao i prošlom prikazu, Slika 51. prikazuje međusobno uspoređivanje položajnih zapisa geografske duljine na kojima nisu opažena znatna odstupanja. Odstupanja svih uređaja su približno jednaka, a njihove precizne vrijednosti su statistički prikazane u Tablici 5.



Slika 52. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona od referentne rute, prva faza, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Na Slici 52. prikazuju se horizontalna položajna odstupanja pojedinih uređaja od položajnih zapisa referentnog uređaja. U bročanim vrijednostima prikazana je X i Y komponenta odstupanja bez uzimanja smjera odstupanja u obzir radi lakšeg uspoređivanja preciznosti između uređaja. Budući da je uređaj Samsung A6 uspješno snimio položajne podatke za preko polovicu prve faze, prikazani su i ti dostupni podaci za ovu fazu. Međutim, nakon 08:48 UTC prikazana ravna crta do kraja X osi predstavlja gubitak podataka te ne služi kao mjerodavna vrijednost položaja. Najveće odstupanje opaženo je kod uređaja Samsung A8 koji u prvoj polovici mjerenja ima vidno najveća odstupanja, dok u drugoj polovici mjerenja ostvaruje prosječnu preciznost. Samsung S6 i S8 imaju slične vrijednosti odstupanja, iako je kod Samsunga S8 pri kraju prikaza opažen nagli i značajan skok u odstupanju. Samsung A6 je u spremljenim položajnim zapisima ostvario vrlo precizne položaje.

Tablica 5. Statistički opis dinamičkog mjerenja prve faze

Odstupanja (m)	Samsung A6		Samsung A8		Samsung S6		Samsung S8	
	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina
Min. vrijednost	-2,8636	-1,8625	-9,6119	-6,7120	-10,4375	-9,0066	-3,0169	-2,2030
Donji kvartil	-0,4484	-0,5778	0,1095	-4,3046	-0,1770	-0,3933	0,1939	-0,1081
Srednji kvartil	0,3045	-0,0684	1,4046	-3,4350	0,7934	0,9711	1,2912	0,5419
Srednja vrijednost	0,1260	-0,0894	1,7209	-3,3392	0,7286	0,7594	1,1084	0,5722
Gornji kvartil	0,6820	0,4442	3,6364	-2,5004	2,3041	1,9320	2,0799	1,1979
Maks. vrijednost	2,7891	1,6231	8,9140	1,3106	4,4659	4,0063	4,9915	4,4346
Interkvartilna razlika	1,1304	1,022	3,5269	1,8042	2,4811	2,3253	2,2738	1,3060
Standardna dev.	1,0415	0,7453	3,1051	1,5060	2,4021	1,9211	1,6162	1,1067

Izvor: izradio student

Uzimajući u obzir dostupne rezultate iz statičkih mjerenja prikazanih u Tablici 5., zanimljivo je vidjeti da je Samsung A6 i ovaj puta bio vidno najtočniji mjerni uređaj, potkrepljujući svoje dosadašnje vodstvo. Uspoređuju se vrijednosti samo za vrijeme za koje položajni zapisi ovog uređaja postoje. Vrijednosti odstupanja geografske širine između donjeg i gornjeg kvartila, tj. vrijednosti odstupanja između 25 i 75 % od ukupno izmjerenih odstupanja daju dobru sliku o većini odstupanja kroz mjerenje. Donji kvartil je iznosio -0,4484 m dok je gornji kvartil iznosio 0,6820 m. Odstupanje po donjem i gornjem kvartalu

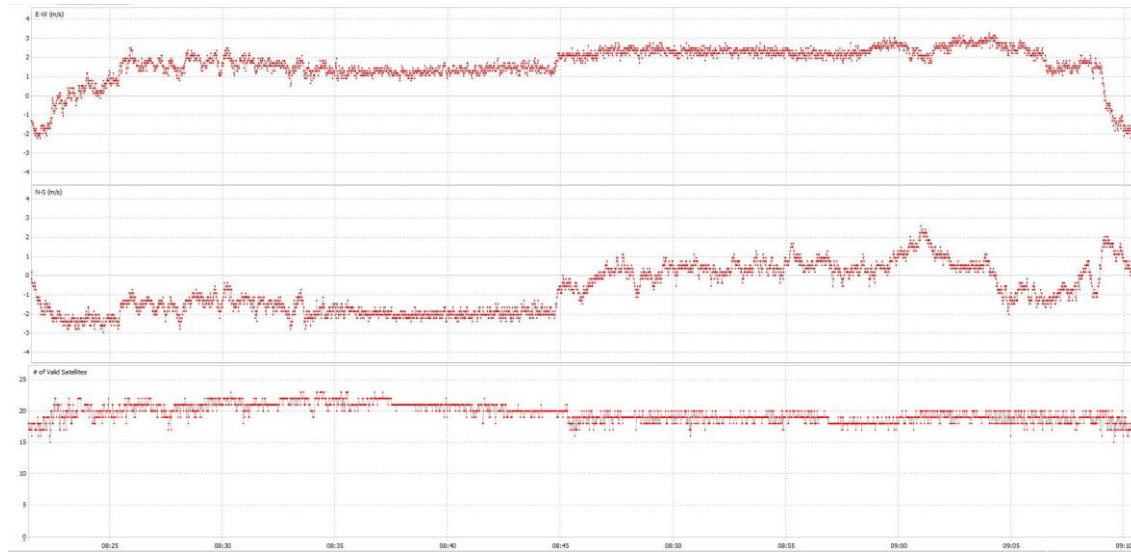
geografske dužine iznosi -0,5778 i 0,4442 m. Iz navedenoga se zaključuje da je polovica izmjerenih odstupanja imala odstupanje manje od jednog metra od referentnih položaja. Srednja vrijednost svih odstupanja iznosi samo 0,1260 m sjevernije od referentnih položaja po geografskoj širini i 0,0894 m zapadnije po geografskoj dužini. Najveće južno odstupanje iznosilo je -2,8636 m, a sjeverno 2,7891 m dok je najzapadniji položaj imao odstupanje od -1,8625, a najistočniji 1,6231 m. Kroz mjerenje nisu opaženi skokovi u odstupanjima te su odstupanja konzistentna. Nažalost, u ovom mjerenju došlo je do pogreške u snimanju u 08:48:09 UTC nakon čega svi zapisi u prvoj fazi prestaju.

U usporedbi, Samsung A8 čije vrijednosti u statičkom mjerenju nisu bile valjane zbog softverske greške, u dinamičkom mjerenju snimanje se izvršilo bez ikakvih tehničkih poteškoća. A8 je u prvoj fazi uređaj s vidno najvećim prosječnim odstupanjima s nekoliko izraženijih skokova u odstupanjima. Vrijednost donjeg kvartila odstupanje geografske širine iznosi 0,1095, a gornjeg 3,6364 m, dok ove vrijednosti za geografsku dužinu su -4,3046 i 1,3106 m. Srednja vrijednosti odstupanja je 1,7209 za geografsku širinu i -3,3392 m za geografsku dužinu. U svakom slučaju opažena su velika odstupanja od referentnih točaka. Skokovi u odstupanjima se uočavaju i s velikim ekstremnim vrijednostima od -9,6119 i 8,9140 m po geografskoj širini i -6,7120 i 1,3106 m po geografskoj dužini. Drugi pokazatelj velikih razlika između položaja jest činjenica da je omjer standardne devijacije velikih 3,1051 za geografsku širinu i 1,5060 za geografsku dužinu.

Gledajući vrijednosti na prikazu za Samsung S6, opaženo je da su odstupanja u velikoj mjeri manja od 5 m, no pri kraju prikaza događa se postepeni najveći skok odstupanja u cijeloj prvoj fazi za sve pametne telefone. Vrijednosti donjeg i gornjeg kvartala kod odstupanja po geografskoj širini iznose -0,1770 i 2,3041 m dok za geografsku dužinu iznose -0,3933 te 1,9320 m. Srednja vrijednost odstupanja je 0,7286 m po geografskoj širini i 0,7594 m po geografskoj dužini. Većina vrijednosti je zadovoljavajuće točna za potrebe amaterskih GPS uređaja bez daljnjih korekcija, unatoč kasnijem velikom skoku odstupanja zbog kojeg su najmanje i najveće vrijednosti odstupanja geografske širine iznosile -10,4375 i 4,4659 m, odnosno -9,0066 i 4,0063 m za geografsku dužinu.

Samsung S8 se nalazi u sredini mjerenja s prosječnim rezultatima odstupanja. Vrijednosti odstupanja geografske širine između donjeg i gornjeg kvartila iznose 0,1939 i 2,0799 m te -0,1081 i 1,1979 m za geografsku dužinu. Iz toga se zaključuje da su odstupanja u većini slučajeva bila pozitivna. Srednja vrijednosti za geografsku širinu je 1,1084 te 0,5722

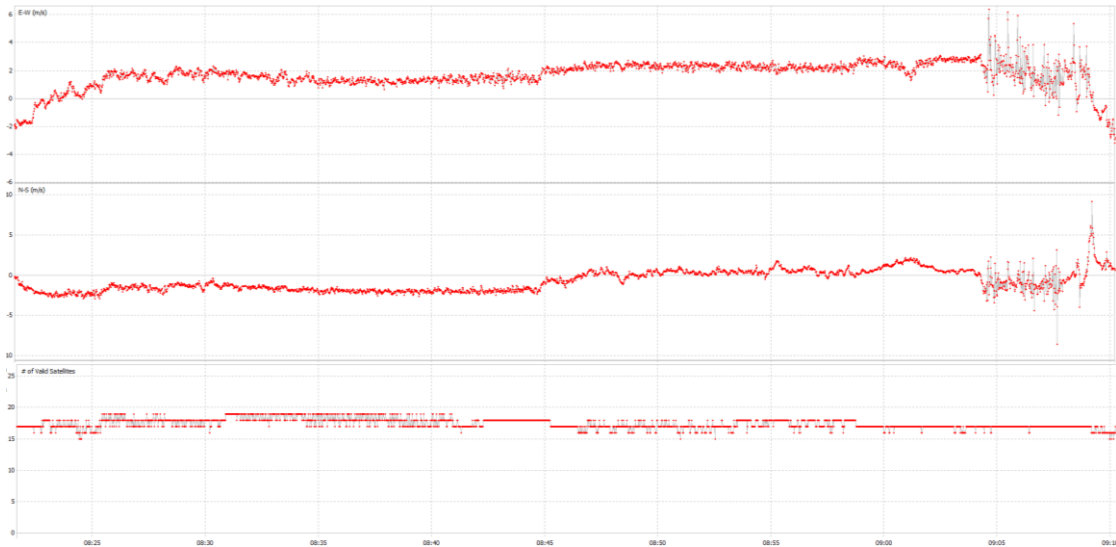
m za geografsku dužinu. Najmanje i najveće vrijednosti odstupanja geografske širine su -3,0169 i 4,9915 m te -2,2030 i 4,4346 m za geografsku dužinu.



Slika 53. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, prva faza, Samsung A8, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Na Slici 53. prikazana je brzina kretanje brodice u istočno-zapadnom te sjeverno-južnom smjeru. Brzine su izražene u metrima po sekundi m/s te su grafički prikazana do najveće izmjerene vrijednosti po pojedinom prikazu. Donji prikaz prikazuje broj satelita vidljivih u prvoj fazi mjerenja te se iščitava veliki broj satelita za računanje položaja. Prosječan broj satelita u mjerenju je iznosio 19. Dobivene vrijednosti odgovaraju prethodnim prikazima. Uočena je brzina od otprilike $-2 m/s$ južno do 08:45 UTC kada je kurs promijenjen iz drugog u prvi kvadrant, te time je sjeverno-južna brzina kretanja postala pozitivna. Istočno-zapadna brzina je kroz cijelo vrijeme mjerenja slična te sadrži vrlo malo odstupanja. Kod sjeverno-južne brzina primjećuje se očekivana nemirnost brzine uslijed izraženijih valova iz NE smjera koji su nastojali zakrenuti brodicu u stranu što je utjecalo na bočne pomake brodice tijekom plovidbe.



Slika 54. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, prva faza, Samsung S6, 09/05/2023

Izvor: izradio student

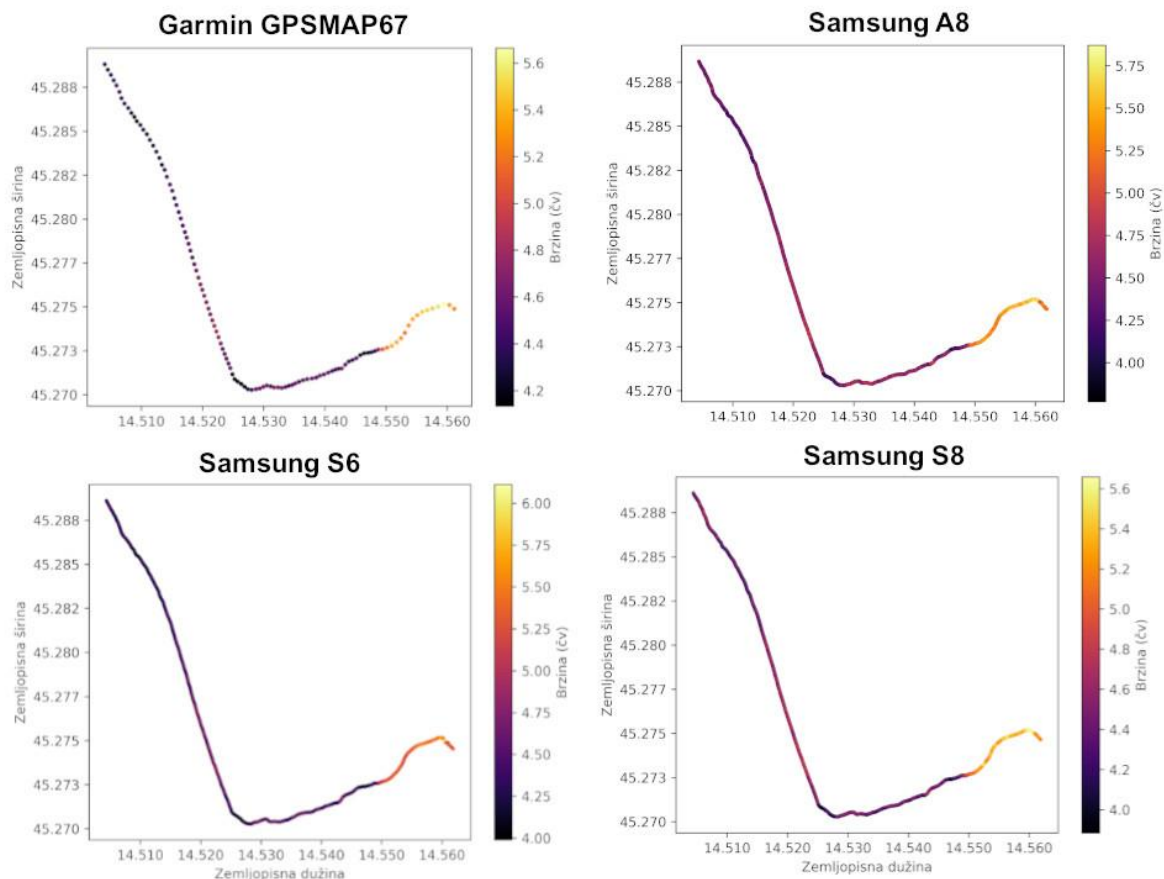
Prethodno opažena veća odstupanja pri kraju mjerenja prve faze kod uređaja Samsung S6 su opažena i ovdje na Slici 54. Dodatan dokaz o pogrešci tih položajnih zapisa čine i nemoguće velike izračunate brzine kretanja uređaja. Opaženi su nagli skokovi brzine i preko 6 m/s istočno te preko 8 m/s u oba sjeverno-južna smjera. Broj vidljivih satelita je stalno bio velik s prosječnim brojem od 17.



Slika 55. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, prva faza, Samsung S8, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Dobiveni zapisi Samsunga S8 su vrlo slična mjerenjima Samsunga A8 te slični zaključci vrijede i za Sliku 55. Prosječni broj vidljivih satelita je također velik i iznosi 17 satelita.



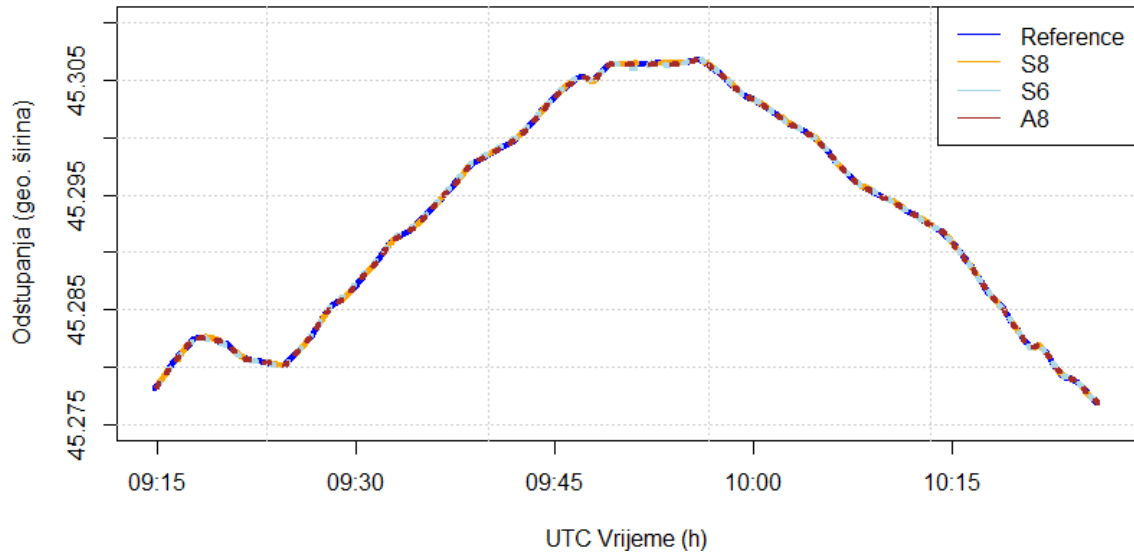
Slika 56. Prikaz brzine brodice u prvoj fazi

Izvor: izradio student

Međusobnim uspoređivanjem brzine između uređaja na Slici 56. ne uočavaju se veće razlike u izmjerenim podacima. Uzimajući Garminov zapis kao referentni zapis, najbliže podatke je ostvario Samsung S8. Promatrajući područje prikaza desno od 14.550° E na X osi, uočena je najveća osjetljivost na brzinu kod navedenog pametnog telefona. Ostali uređaji su u tom razdoblju lošije prikazivali razliku brzine te je po njihovim zapisima brzina dosegala veće vrijednosti nego li što je snimljeno kod referentnog uređaja, kao što je prikazano u legendi brzine s desne strane prikaza.

4.2.2. Analiza druge faze

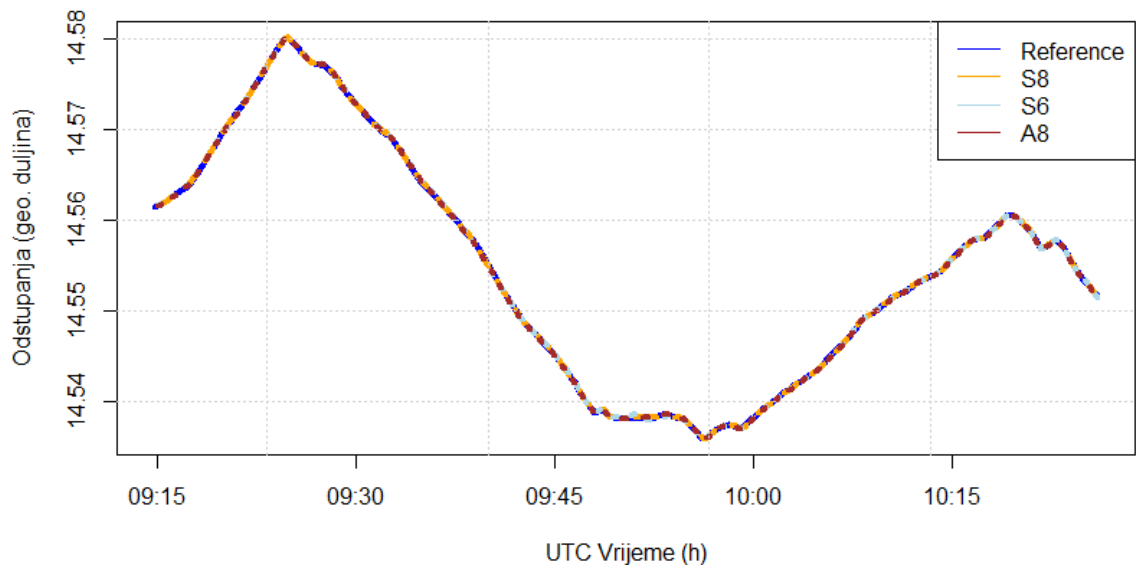
Međusobnim uspoređivanjem položajnih zapisa geografske širine na Slici 57. uočeno je da je položaj općenito bio točan te da zatvorenost reljefa nije značajno utjecala na položajne zapise.



Slika 57. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj širini, druga faza, 09/05/2023

Izvor: izradio student

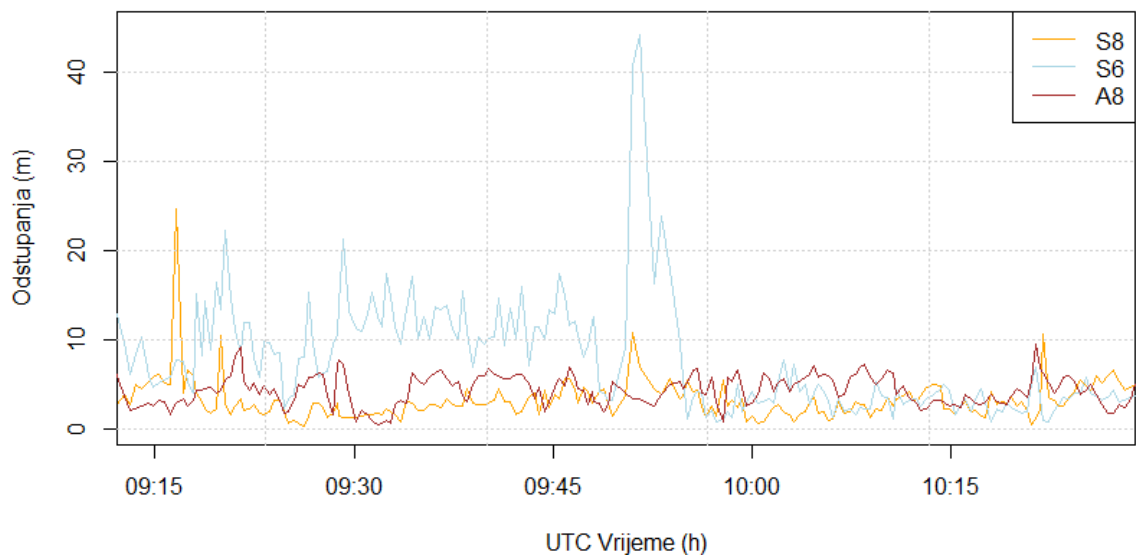
U 09:52 UTC opažen je skok u odstupanju kod Samsung S6 u južnom smjeru. Slično kao prošlom prikazu, međusobnim uspoređivanjem položajnih zapisa geografske duljine na Slici 58. nisu uočena znatna odstupanja.



Slika 58. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj dužini, druga faza, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Zatvorenost okolnog reljefa nije značajno utjecala na preciznost položaja. Odstupanja svih uređaja su približno jednaka, izuzev jasnog skoka u odstupanju kod uređaja Samsung S6 oko 09:52 UTC u istočnom smjeru.



Slika 59. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona od referentne rute, 2. faza, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Slika 59. prikazuje veliku razliku između pojedinih uređaja. U zanimljivom kontrastu, dosadašnji najgori Samsung A8 je u drugoj fazi postigao jedan od najboljih rezultata. Kod Samsunga S6 primijećena su velika odstupanja u prvoj polovici mjerenja, no zadovoljavajuću točnost u drugoj polovici mjerenja. Samsung S8 je ostvario jako dobar rezultat u ovom mjerenju te je teško za razlučiti je li položaj u prosjeku točniji od Samsunga A8. Gledajući prosječna odstupanja, Samsung S8 je točniji, no Samsung A8 nije imao skokove u odstupanjima koji su opaženi kod Samsunga S8.

Tablica 6. Statistički opis dinamičkog mjerenja druge faze

Odstupanja (m)	Samsung A8		Samsung S6		Samsung S8	
	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina
Min. vrijednost	-7,5306	-7,0125	-43,5179	-19,5998	-24,1042	-4,8109
Donji kvartil (25%)	-3,0975	-4,3821	-2,8152	-1,3275	1,1073	-0,3653
Srednji kvartil (50%)	-1,4229	-3,0834	1,6868	0,3217	2,1613	0,5730
Srednja vrijednost	-1,2160	-2,4393	1,2603	1,2595	1,9103	0,6689
Gornji kvartil (75%)	0,1906	-0,9431	7,4962	3,6509	3,0566	1,4288
Maks. vrijednost	6,2727	5,4781	16,7258	17,0372	8,7751	10,3002
Interkvartilna razlika	3,2881	6,0694	10,3114	4,9759	4,1639	1,7941
Standardna dev.	2,6436	2,7725	8,4047	4,8872	2,6920	1,8262

Izvor: izradio student

Prema podacima iz Tablice 6. za Samsung A8, odstupanja geografske širine po donjem i gornjem kvartalu iznose -3,0975 i 6,2727 m te -4,3821 i -0,9431 m za geografsku dužinu. Srednja vrijednost iznosi -1,2160 za geografsku širinu i -2,4393 m za geografsku dužinu. Najmanje i najveće vrijednosti odstupanja po geografskoj širini su -7,5306 i 6,2727 m za geografsku dužinu -7,0125 i 5,4781 m što ujedno znači da je ovaj uređaj imao najmanje ekstreme i time najstabilniji položaj u drugoj fazi.

Za Samsung S6, odstupanja geografske širine po donjem i gornjem kvartalu iznose -2,8152 i 7,4962 m te -1,3275 i 3,6509 m za geografsku dužinu. Srednja vrijednosti iznosi 1,2163 za geografsku širinu i 1,2595 m za geografsku dužinu. Najmanje i najveće vrijednosti odstupanja po geografskoj širini su -43,5179 i 16,7258 m za geografsku dužinu -19,5998 i 17,0372 m što čini ovaj uređaj jasno najnestabilnijim u mjerenjima.

Za Samsung S8, vrijednosti donjeg i gornjeg kvartala kod odstupanja po geografskoj širini iznose 1,1073 i 3,0566 m dok za geografsku dužinu iznose -0,3653 te 1,4288 m. Srednja vrijednost odstupanja je 1,9103 m po geografskoj širini i 0,6689 m po geografskoj

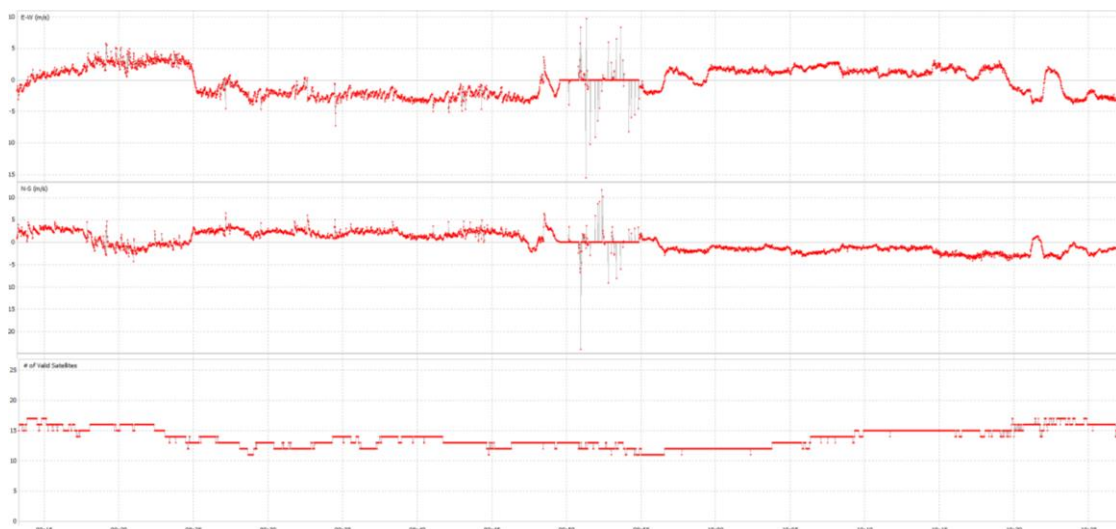
dužini. Najveće južno odstupanje iznosilo je -24,1042 m, a sjeverno 8,7751 m dok je najzapadniji položaj imao odstupanje od -4,8109, a najistočnija 10,3002 m.



Slika 60. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, druga faza, Samsung A8, 09/05/2023

Izvor: izradio student

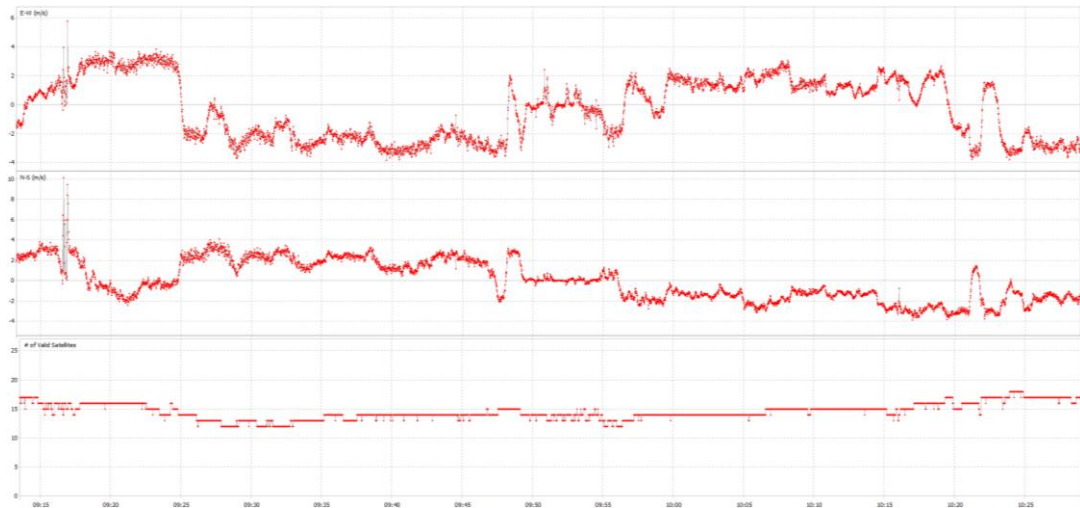
Oba prikaza brzine na Slici 60. imaju raspon brzine između negativnih i pozitivnih 4 m/s iz čega se zaključuje da kod uređaja Samsung A8 nije bilo stršećih vrijednosti brzine. Kroz cijelo vrijeme mjerenja bio je vidljiv veliki broj satelita od prosječno 18.



Slika 61. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, druga faza, Samsung S6, 09/05/2023

Izvor: izradio student

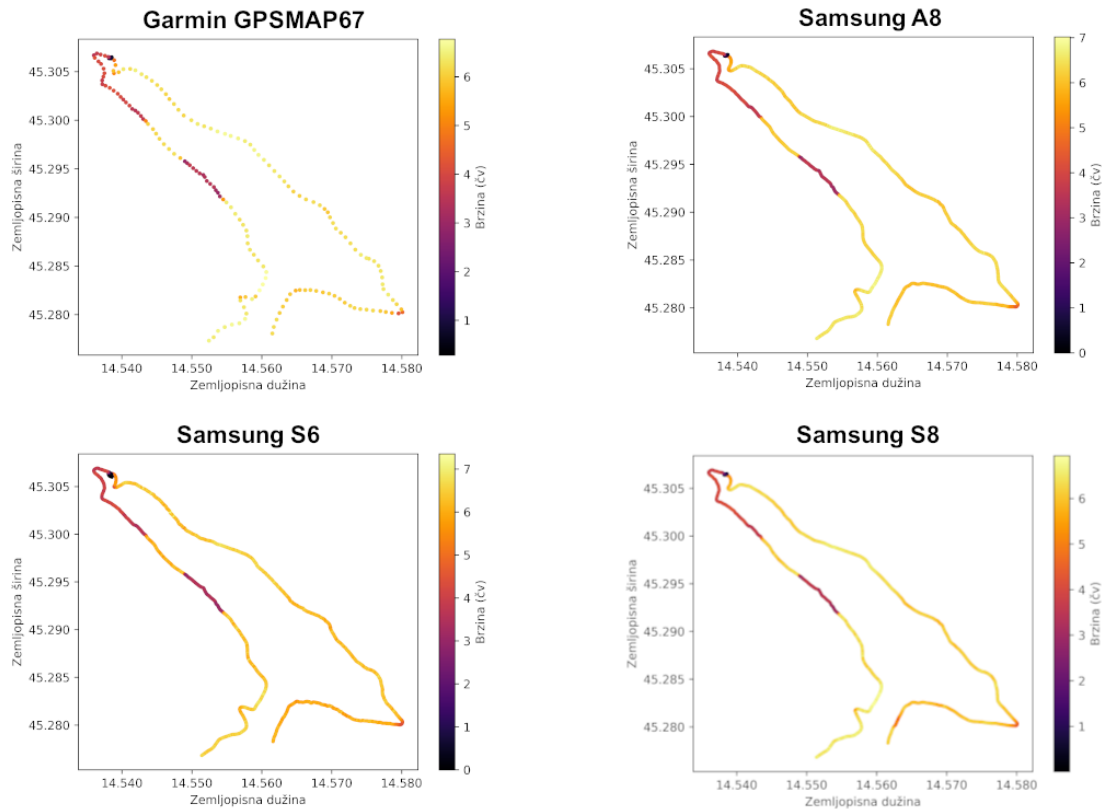
Kod Samsunga S6 na Slici 61., raspon brzine se kreće od -20 do 10 m/s iz čega se zaključuje da u promatranom razdoblju postoje značajne stršeće vrijednosti. Te vrijednosti su opažene oko 09:52 UTC kada se brodice nalazila u stanju mirovanja ispred grada Bakra. U ostatku mjerenju, pogotovo u prvoj polovici mjerenja, uočene su povremene pojedinačne stršeće vrijednosti pretežito u sjeverno-zapadnom smjeru. Kroz mjerenje bio je vidljiv velik broj satelita, iako manje nego u usporedbi s ostalim uređajima, s prosječnim brojem od 14.



Slika 62. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, druga faza, Samsung S8, 09/05/2023

Izvor: izradio student

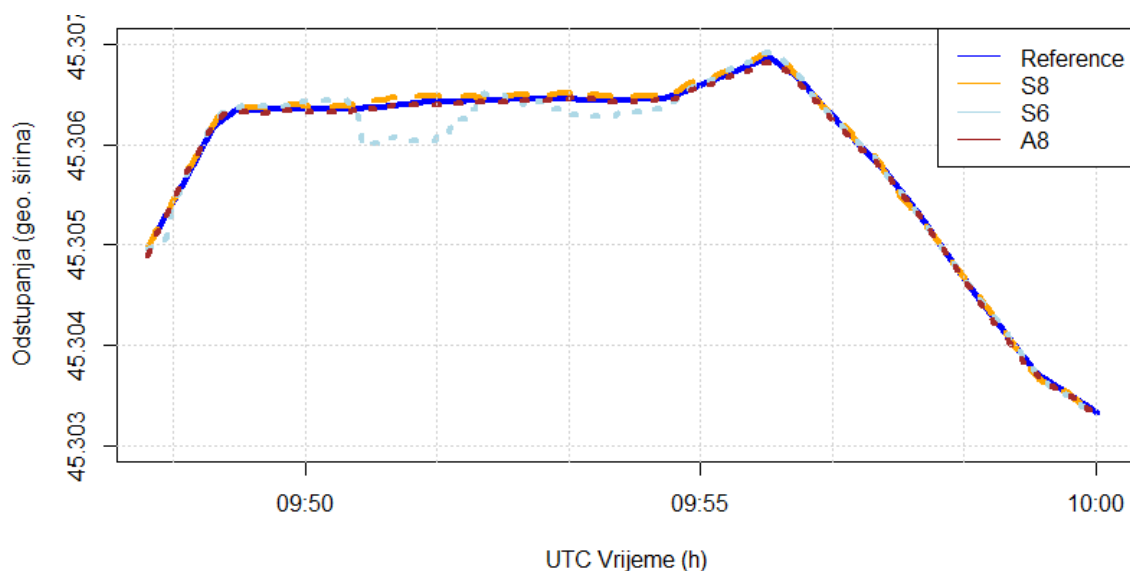
Na Slici 62., stršeće vrijednosti kod Samsunga S8 su puno manje nego li kod Samsunga S6. Zanimljivo je primijetiti da kod stajanja brodice oko 09:52 UTC nema značajnijih stršećih vrijednosti dok je najveće odstupanje bilo oko 09:17 UTC tijekom plovidbe. Ovakav skok u odstupanju nije zabilježen niti kod jednog drugog uređaja. Kroz mjerenje bio je vidljiv velik broj satelita s prosječnim brojem od 15.



Slika 63. Prikaz brzine brodice u drugoj fazi, 09/05/2023

Izvor: izradio student

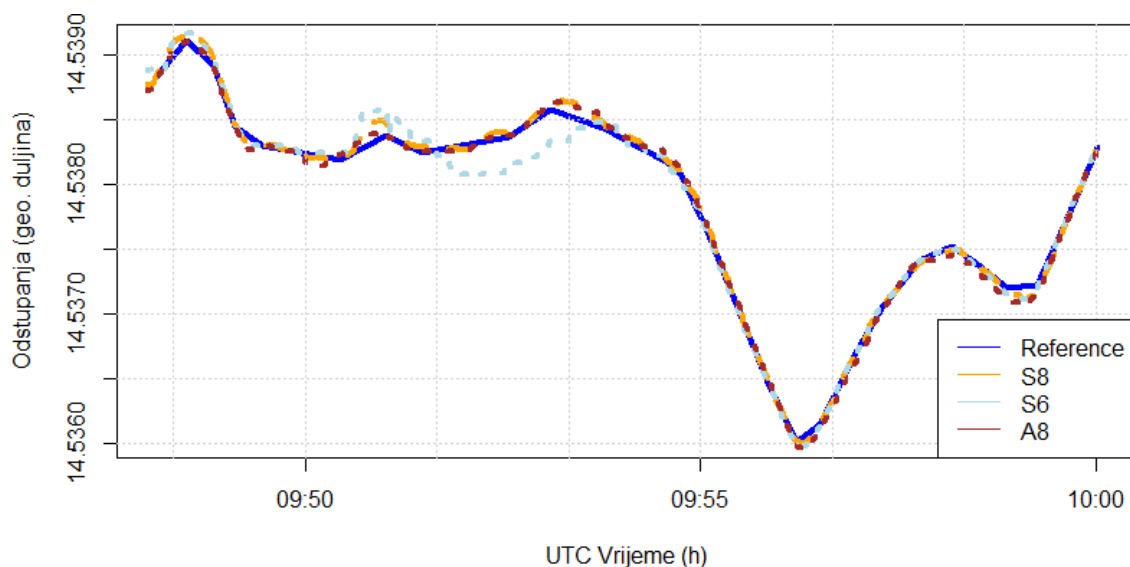
Slično prikazu brzine iz prve faze, nema značajnijih prosječnih odstupanja kod brzine u drugoj fazi mjerenja na Slici 63. Sve promjene brzine su primijećene sa zadovoljavajućom razinom točnosti. Uređaji Samsung A8 i S6 su u drugoj fazi, isto kao i u prvoj, imali malo veće najveće vrijednosti brzine nego li Samsung S8 i referentni uređaj.



Slika 64. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj širini, grad Bakar, 09/05/2023

Izvor: izradio student

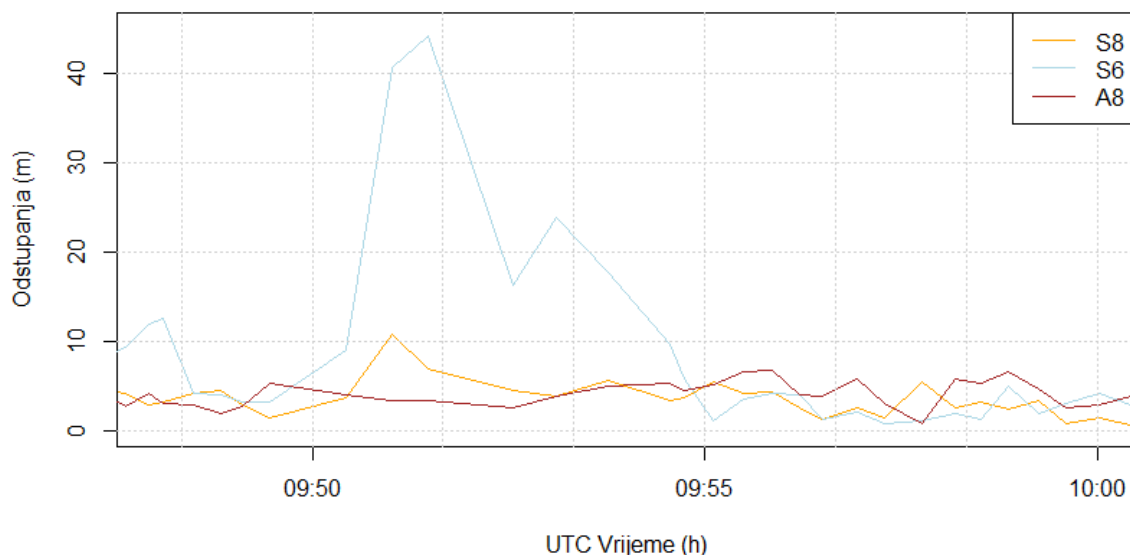
Na Slici 64. opažena su odstupanja uređaja po geografskoj širini u odnosi na referentan položajni zapis odmah je uočljivo odstupanje uređaja Samsung S6. Otprilike jednu minutu nakon zaustavljanja uređaj je počeo dobivati velika odstupanja tijekom stajanja brodice. Ostatak uređaja je imao zadovoljavajuću razinu preciznosti za zahtjevne uvjete satelitskog dobivanja položaja u malim brzinama kretanja.



Slika 65. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj dužini, grad Bakar, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Kod odstupanja po geografskoj dužini na Slici 65., opažena su veća odstupanja kod svih mobilnih uređaja u odnosu na referentni uređaj. Primjećuju se odstupanja neposredno nakon većih promjena smjera što dovodi do zaključka da mobilni uređaji imaju manju sposobnost pravovremenog uočavanja promjene kretanja položaja kod malih brzina.



Slika 66. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona od referentne rute, grad Bakar, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Promatrajući Sliku 66., uočeno je da preciznost uređaja nije uvelike umanjena zbog vanjskih uvjeta. Većina položaja ima odstupanja manje od 5 m. Odstupanja Samsung S6 uočeno je u vremenu koji odgovara vremenima odstupanjima u prošlim prikazima. Odstupanja Samsunga S6 se kreću preko 40 m.

Tablica 7. Statistički opis dinamičkog mjerenja faze grada Bakra

	Samsung A8		Samsung S6		Samsung S8	
	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina
Odstupanja (m)						
Min. vrijednost	-6,2549	-5,9093	-43,5179	-19,5998	-5,1504	-2,9996
Donji kvartil (25%)	-3,1380	-2,5939	-3,8586	-1,1109	1,2618	-0,5557
Srednji kvartil (50%)	-2,3835	-1,0019	-0,3923	-0,0719	2,5091	1,3247
Srednja vrijednost	-2,2635	-0,5492	-4,1173	-0,1417	2,1498	1,1509
Gornji kvartil (75%)	-1,4440	2,5739	2,7041	2,2004	3,2486	2,6181
Maks. vrijednost	2,7291	4,8345	8,2107	17,0372	7,0695	8,1325
Interkvartilna razlika	1,6940	5,1678	6,5267	3,1130	1,9868	3,1738
Standardna dev.	1,8532	3,2554	11,8987	6,6043	2,3851	2,4570

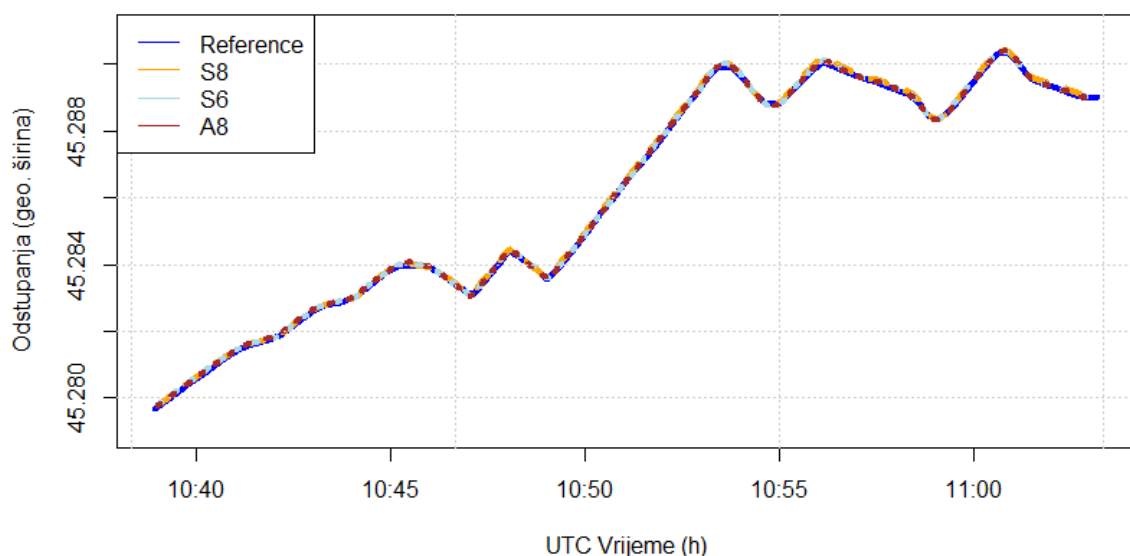
Izvor: izradio student

Prema Tablici 7., za ovo područje uočeno je da su Samsung A8 i S8 imali vrlo slično ponašanje i odstupanja dok je Samsung S6 u vremenu stajanja imao preko četiri puta veće odstupanje. Najmanje i najveće vrijednosti odstupanja po geografskoj širini za sva tri uređaja su -6,2549 i 2,7291 m za A8, -43,5179 i 8,2107 m za S6 te -5,1504 i 7,0695 m za S8. Najmanje i najveće vrijednosti odstupanja po geografskoj dužini za sva tri uređaja su -5,9093 i 4,8345 m za A8, -19,5998 i 17,0372 m za S6 i -2,9996 i 8,1325 m za S8. Vrijednosti donjih i gornjih kvartila za geografsku širinu su -3,1380 i 2,7291 m za A8, -3,8586 i 2,7041 m za S6 te 1,2618 i 3,2486 m za S8. Iste vrijednosti, ali za geografsku dužinu su -2,5939 i 2,5739 m za A8, -1,1109 i 2,2004 m za S6 te -0,5557 i 2,6181 m za S8.

S obzirom na premali broj položajnih točaka referentnog uređaja, kvalitetno uspoređivanje brzine kretanja brodice nije moguće, stoga je prikazana samo usporedba položaja.

4.2.3. Analiza treće faze

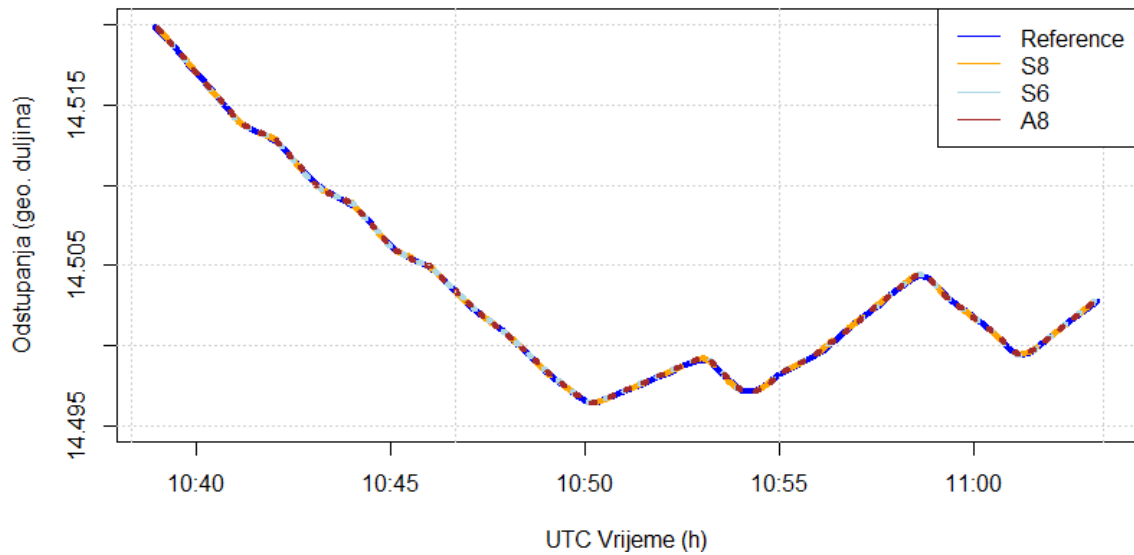
Uspoređivanjem odstupanja po geografskoj širini u trećoj fazi na Slici 67., opaženo je da su odstupanja uglavnom mala.



Slika 67. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj širini, treća faza,, 09/05/2023

Izvor: izradio student

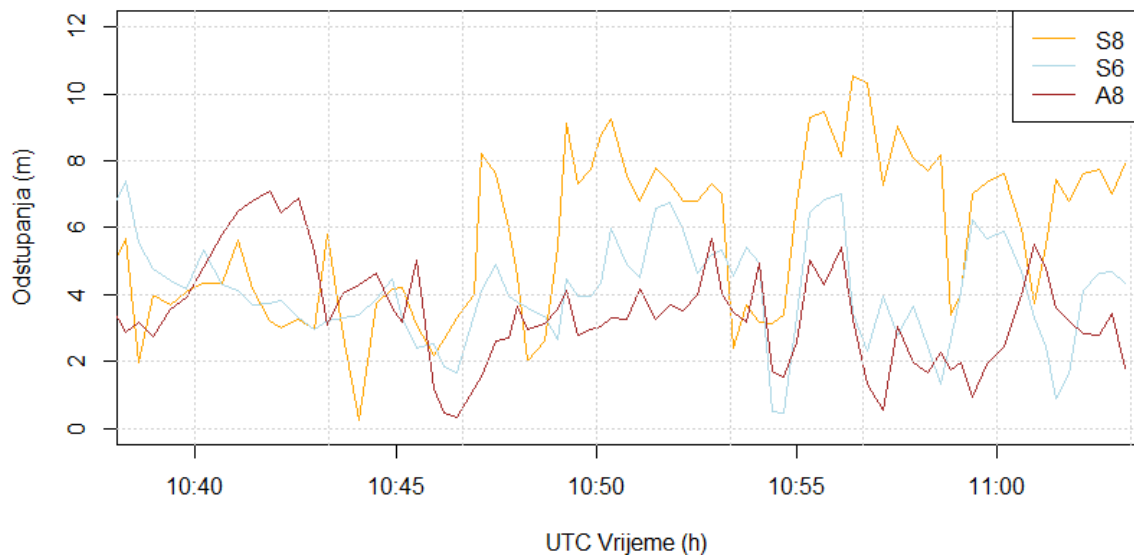
Položajni zapisi pametnih telefona u manjoj mjeri kasne za naglim promjenama kursa u odnosu na referentni uređaj. Nisu zabilježene nikakve abnormalne vrijednosti položaja. Uspoređivanjem odstupanja po geografskoj dužini u trećoj fazi na Slici 68. su također mala.



Slika 68. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj dužini, treća faza, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Isto kao i u prošlom prikazu, opaženo je blago povremeno kašnjenje položaja pametnih telefona za referentnim položajima. Međutim, kašnjenja su manja, budući da su promjene kursa brodice sva bila u zapadnom smjeru, stoga promjene na prikazu nisu toliko uočljive.



Slika 69. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona od referentne rute, 3. faza, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Rezultati treće i posljednje faze na Slici 69. su međusobno najsličniji u usporedbi s ostalim fazama mjerenja. Budući da se mjerenje vršilo na otvorenijem moru s prethodno dokazanim povoljnim odstupanjem položaja te u kombinaciji boljih meteoroloških uvjeta u vremenu treće faze, pružena je povoljna mogućnost za dobivanje što točnijih položaja. Uočena je povećana točnost svih položaja u vremenu oko 10:54 UTC što ima smisla budući da je to vrijeme nepromijenjenog smjera plovidbe i brzine na putu do novog područja pokusa.

Tablica 8. Statistički opis dinamičkog mjerenja treće faze

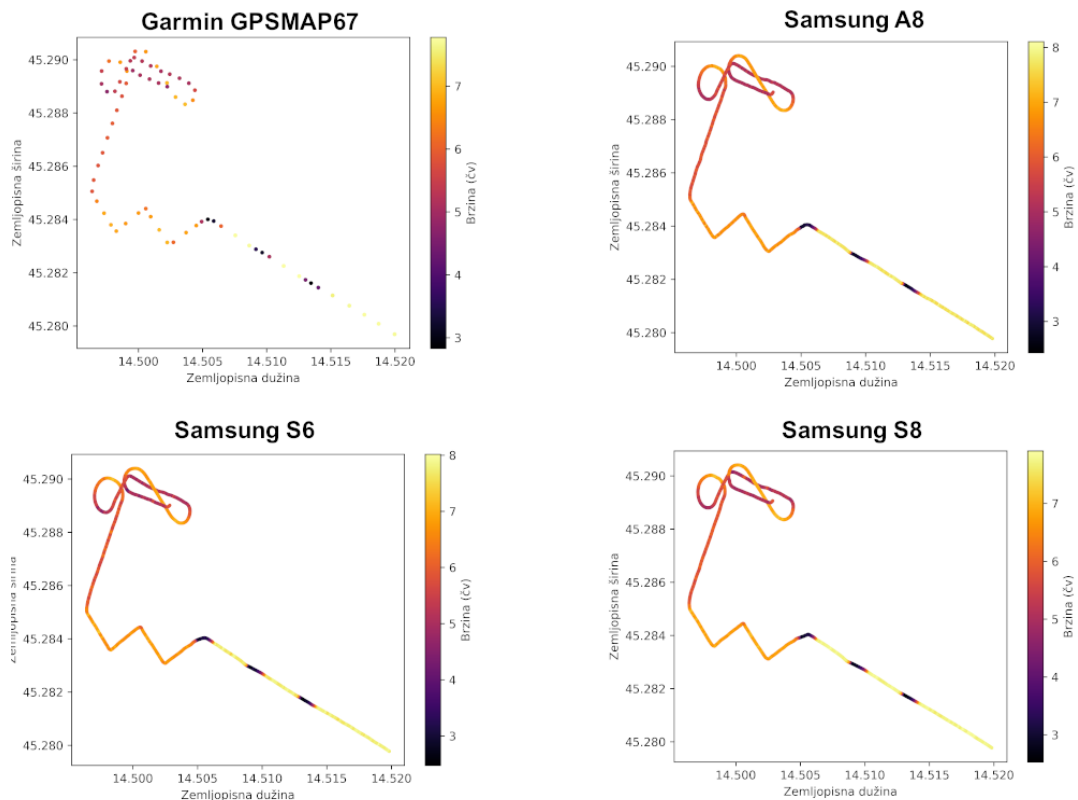
Odstupanja (m)	Samsung A8		Samsung S6		Samsung S8	
	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina
Min. vrijednost	-2,1891	-2,2866	-1,6801	-3,1021	-0,7667	-3,1450
Donji kvartil (25%)	1,1704	0,4427	2,0357	-0,4355	3,0080	-0,9394
Srednji kvartil (50%)	2,3607	1,8415	2,9108	0,8315	5,5599	1,1763
Srednja vrijednost	2,3226	1,7157	2,7081	1,4573	5,1085	0,9545
Gornji kvartil (75%)	3,1447	3,1273	3,5447	3,2020	7,2000	2,7469
Maks. vrijednost	6,3427	4,9868	6,1938	6,4865	9,4274	5,4543
Interkvartilna razlika	1,9743	2,6846	1,5090	3,6375	4,1920	3,6863
Standardna dev.	1,6792	1,7204	1,5912	2,4193	2,5705	2,2552

Izvor: izradio student

Iz Tablice 8. prikazani su gornji i donji kvartali odstupanja geografske širine za sve pametne telefone iznose 1,1704 i 3,1447 m za A8, 2,0357 i 3,5447 m za S6 te 3,0080 i 7,2000 m za S8. Iste vrijednosti, ali za geografsku dužinu su 0,4427 i 3,1273 m za A8, -0,4355 i 3,2020 m za S6 te -0,9394 i 2,7469 m za S8.

Srednja vrijednost odstupanja geografske širine je 2,3226 m za A8, 2,7081 m za S6 te 5,1085 m za S8. Srednja vrijednost odstupanja geografske dužine je 1,7157 m za A8, 1,4573 m za S6 i 0,9545 m za S8.

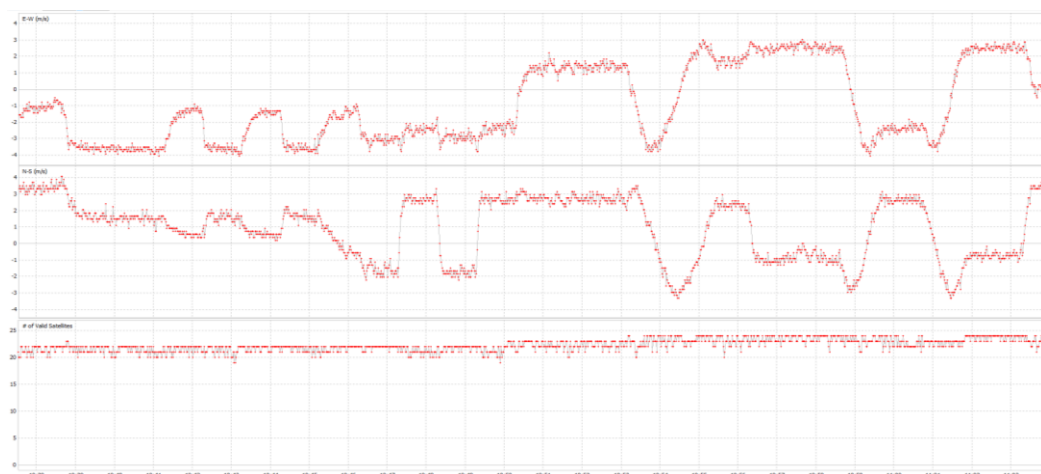
Najmanje i najveće vrijednosti odstupanja su međusobno slične, a za geografsku širinu glase -2,1891 i 6,3427 m za A8, -1,6801 i 6,1938 m za S6 te -0,7667 i 9,4274 m za S8. Iste vrijednosti, ali za geografsku dužinu glase -2,2866 i 4,9868 m za A8, -3,1021 i 6,4865 m za S6 te -3,1450 i 5,4543 m za S8.



Slika 70. Prikaz brzine brodice u trećoj fazi, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Uspoređivanjem izmjerene brzine između uređaja na Slici 70. ne uočavaju se veće razlike. Samsung A8 i S6 ponovno imaju malo veće prikazane brzine nego li Samsung S8 i referentni uređaj. U pokusu promjene brzine, svi uređaji su uspješno i precizno prepoznali razlike u kretanju brodice.



Slika 71. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, treća faza, Samsung A8, 09/05/2023

Izvor: izradio student

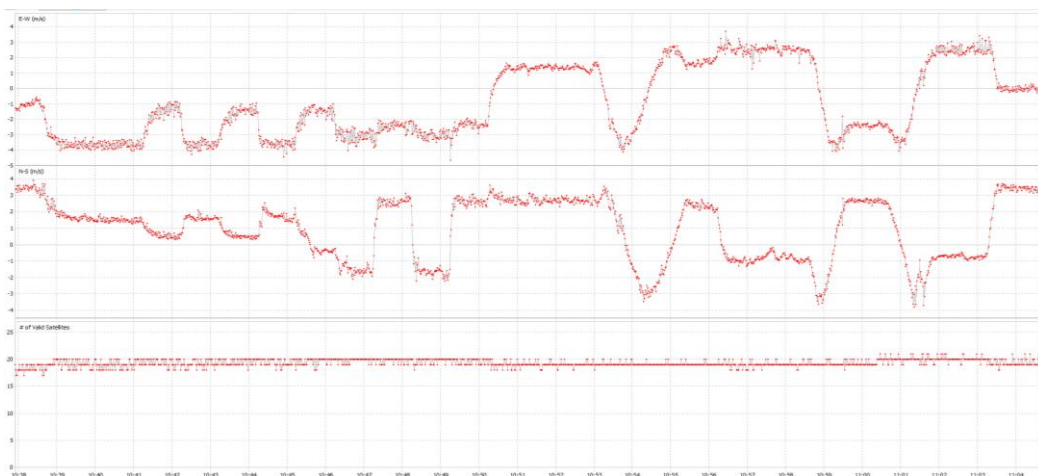
Slika 71. prikazuje vrlo uredan zapis o brzini kretanja brodice. Nema nikakvih bitnih odstupanja kroz cijeli zapis mjerenja što odgovara povoljnim vremenskim uvjetima u kojima se brodica nalazila za vrijeme mjerenja treće faze. Iz tog razloga ovo mjerenje se smatra najpravnomjernijim od svih korištenih pametnih telefona. Kroz snimanje bio je vidljiv velik broj satelita s prosječnim brojem od 22.



Slika 72. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, treća faza, Samsung S6, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Analizom brzine kretanja brodice na Slici 72. vidi se da postoje manje značajna odstupanja u mjerenju u drugoj polovici mjerenja. U 10:56:30 UTC i 11:01:50 UTC opaženi su manji skokovi u brzini brodice, što odgovara vremenu pokusa kruga te djelu protukursa u osmici. Kroz mjerenje bio je vidljiv velik broj satelita s prosječnim brojem od 17.



Slika 73. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, treća faza, Samsung S8, 09/05/2023

Izvor: izradio student

Kroz gotovo cijelo mjerenje uočene su manje neujednačenosti u brzini brodice. Odstupanja na Slici 73. koja su navedena u prethodnom prikazu su opažena i ovdje, uz dodatak stalnih manjih odstupanja kroz pokus promjene brzine u prvoj trećini prikaza. Kroz mjerenje bio je vidljiv veliki broj satelita s prosječnim brojem od 19.

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U ovom poglavlju sažeto će se prikazati rezultati, objasniti njihovo značenje i međusobnu povezanost i prikazati usporedbe. U Tablici 9. prikazani su zahtjevi preciznosti i integriteta usluge satelitskog određivanja položaja po IMO-u.⁵⁹ Uređaji koji se koriste za određivanje položaja satelitskim putem na moru moraju zadovoljavati ovim uvjetima. Sve vrijednosti predstavljaju najveća odstupanja u metrima i vrijeme u sekundama.

Tablica 9. GNSS zahtjevi IMO-a po rezoluciji A.915(22)

Vrsta usluge	Parametri			
	Preciznost (m)		Integritet	
	Horizontalno	Vertikalno	Vrijednost uzbune (m)	Vrijeme do uzbune (s)
Traganje i spašavanje	10	/	25	10
Hidrografija	1-2	0.1	2.5 - 5	10
Oceanografija	10	10	25	10

Izvor: pripremio student prema International Maritime Organization (IMO), Resolution A.915 (22): Revised maritime policy and requirements for a future Global Navigation Satellite System (GNSS) , IMO., London, 2001.

5.1. STATIČKO MJERENJE

U statičkom mjerenju pametni telefoni su prikazali veliku razinu kretanja položaja, od kojih je najgori bio Samsung S6. Tablica 10. prikazuje zbrojne rezultate svih uređaja u statičkom mjerenju. Opažene su najmanje i najveće pojedine vrijednosti od preko 10 m za sva tri uređaja. Uspoređujući interkvartilne razlike opažena su daleko najveća velika odstupanja kod Samsunga S6. Uspoređujući uređaje s prethodnom prikazanim zahtjevima, zaključak je da bi vrlo vjerojatno svi uređaji na temelju ovog mjerenja zadovoljavali uvjete. No, treba napomenuti da je ovo mjerenje statičko te da su očekivana veća odstupanja u dinamičkom mjerenju.

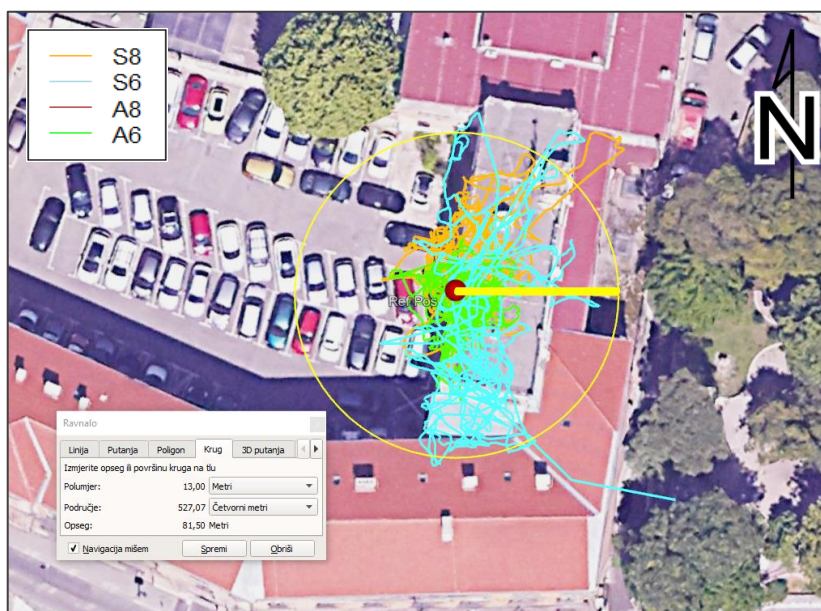
⁵⁹ IMO: Međunarodna pomorska organizacija (eng. International Maritime Organization)

Tablica 10. Usporedni prikaz rezultata statičkog mjerenja

Odstupanja (m)	Samsung A6			Samsung S6			Samsung S8		
	Geo. širina	Geo. dužina	Visina	Geo. širina	Geo. dužina	Visina	Geo. širina	Geo. dužina	Visina
Minimalna vrijednost	-7.0116	-5.2355	-12.3760	-12.1187	-3.8231	-21.8680	-4.5837	-5.8191	-4.8530
Donji kvartil (25%)	-0.5069	-0.0015	-2.8250	-7.4703	0.1148	-15.2760	2.3229	-0.7069	5.7477
Srednji kvartil (50%)	0.7550	0.9397	-0.3500	-4.2370	1.8572	-11.4080	4.2025	0.4355	7.3405
Srednja vrijednost	0.6804	0.9917	-0.6835	-2.3472	1.8251	-11.7500	4.3567	1.1018	7.7025
Gornji kvartil (75%)	2.2340	2.0820	1.9307	2.8585	3.3981	-9.2307	5.8810	2.4925	11.8962
Maksimalna vrijednost	4.4514	5.8987	8.3150	16.0268	9.5305	8.1260	14.5278	13.3740	14.4120
Interkvartilna razlika	2,7409	2,0835	4,7557	10,3288	3,2833	6,0453	3,5581	3,1994	6,1485
Standardna devijacija	2.0330	1.7471	3.8071	6.5912	2.3814	6.0767	3.2190	2.8892	4.5849

Izvor: pripremio student

Slika 74. grafički prikazuje kretanje određenih položaja svih uređaja kroz mjerenje. Omeđujući udaljenije dobivene položaje, a pritom izbacujući stršeće vrijednosti, dolazi se do kruga približnog polumjera od 13 m. Zaokruživši to područje kruga, dobije se područje od 527 m² u kojem se dobiveni položaju očekivano može nalaziti.

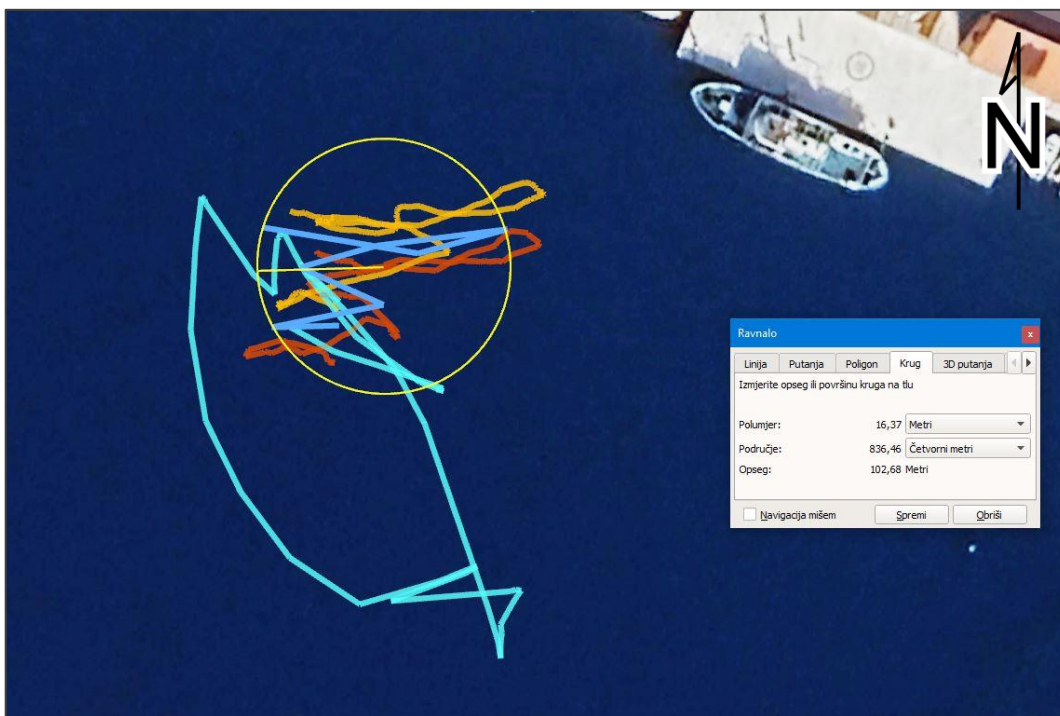


Slika 74. Usporedni prikaz statičkih mjerenja

Izvor: izradio student

5.2. DINAMIČKO MJERENJE

Zaključuje se da su odstupanja položaja veća kod stajanja nego li kod kretanja brodice. Razlog tome je što kod kretanja brodice postoji grubi smjer kretanja kojeg prijamnik može iskoristiti za stabilizaciju određenog položaja. U statičnom mjerenju ta opcija nije moguća, te je prijamnik puno osjetljiviji na skokove u odstupanjima.



Slika 75. Usporedba odstupanja položaja tijekom stajanja u Bakarskom dijelu

Izvor: izradio student

Odbijajući stršeeće vrijednosti Samsunga S6 budući da je razlog ovako velikih odstupanja lokalna pogreška uređaja, kružnicom su omeđene prosječne vrijednosti odstupanja na Slici 75. Polumjer kružnice iznosi oko 16,4 m, te površina kruga iznosi 836 m².

Za usporedbu pametnih telefona u dinamičkom mjerenju napravljena je Tablica 11. koja sažeto prikazuje rezultate istraživanja. Opažena je činjenica su svi uređaji imali veća odstupanja u drugoj fazi nego li u ostalima. Iako zatvorenost okoliša u drugoj fazi nije bila značajna, ipak je negativno djelovala na preciznost položaja. Međutim, promatrajući interkvartilnu razliku uočava se da su razlike unutar zahtjeva koje nalaže IMO.

Tablica 11. Statistički opis usporedbe rezultata dinamičkog mjerenja između prve i druge faze

Prva faza						
	Samsung A8		Samsung S6		Samsung S8	
Odstupanja (m)	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina
Min. vrijednost	-9,6119	-6,7120	-10,4375	-9,0066	-3,0169	-2,2030
Donji kvartil (25%)	0,1095	-4,3046	-0,1770	-0,3933	0,1939	-0,1081
Srednji kvartil (50%)	1,4046	-3,4350	0,7934	0,9711	1,2912	0,5419
Srednja vrijednost	1,7209	-3,3392	0,7286	0,7594	1,1084	0,5722
Gornji kvartil (75%)	3,6364	-2,5004	2,3041	1,9320	2,0799	1,1979
Maks. vrijednost	8,9140	1,3106	4,4659	4,0063	4,9915	4,4346
Interkvartilna razlika	3,5269	1,8042	2,4811	2,3253	2,2738	1,3060
Standardna dev.	3,1051	1,5060	2,4021	1,9211	1,6162	1,1067
Druga faza						
Min. vrijednost	-7,5306	-7,0125	-43,5179	-19,5998	-24,1042	-4,8109
Donji kvartil (25%)	-3,0975	-4,3821	-2,8152	-1,3275	1,1073	-0,3653
Srednji kvartil (50%)	-1,4229	-3,0834	1,6868	0,3217	2,1613	0,5730
Srednja vrijednost	-1,2160	-2,4393	1,2603	1,2595	1,9103	0,6689
Gornji kvartil (75%)	0,1906	-0,9431	7,4962	3,6509	3,0566	1,4288
Maks. vrijednost	6,2727	5,4781	16,7258	17,0372	8,7751	10,3002
Interkvartilna razlika	3,2881	6,0694	10,3114	4,9759	4,1639	1,7941
Standardna dev.	2,6436	2,7725	8,4047	4,8872	2,6920	1,8262
Treća faza						
Min. vrijednost	-2,1891	-2,2866	-1,6801	-3,1021	-0,7667	-3,1450
Donji kvartil (25%)	1,1704	0,4427	2,0357	-0,4355	3,0080	-0,9394
Srednji kvartil (50%)	2,3607	1,8415	2,9108	0,8315	5,5599	1,1763
Srednja vrijednost	2,3226	1,7157	2,7081	1,4573	5,1085	0,9545
Gornji kvartil (75%)	3,1447	3,1273	3,5447	3,2020	7,2000	2,7469
Maks. vrijednost	6,3427	4,9868	6,1938	6,4865	9,4274	5,4543
Interkvartilna razlika	1,9743	2,6846	1,5090	3,6375	4,1920	3,6863
Standardna dev.	1,6792	1,7204	1,5912	2,4193	2,5705	2,2552

Izvor: izradio student

Samsung S6 koji je kroz cijelo istraživanje imao loše rezultate, gornji kvartil je samo za 0,3 m prešao granicu od 10 m odstupanja. Uzimajući u obzir da vrijeme za uzbuću pretjerane pogreške položaja iznosi 10 s, očekuje se da bi se i ovaj uređaj vratio u zadovoljavajuće vrijednosti unutar tog vremena. Treća faza u usporedbi s prvom, dakle usporedba manevriranja i ustaljene plovidbe, je relativno slična. Samsung A8 nije imao

značajnije razlike u odstupanju položaja, kao ni Samsung S6 dok je Samsung S8 imao veća odstupanja. Štoviše, odstupanja Samsunga S8 su veća u trećoj fazi nego li u drugoj.

Tablica 12. Razlike između donjeg i gornjeg kvartila po fazi mjerenja

Odstupanja (m)	Samsung A6		Samsung A8		Samsung S6		Samsung S8	
	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina	Geo. širina	Geo. dužina
Faza 1	1,1304	1,022	3,5269	1,8042	2,4811	2,3253	2,2738	1,3060
Faza 2	X	X	3,2881	6,0694	10,3114	4,9759	4,1639	1,7941
Bakar	X	X	1,6940	5,1678	6,5267	3,1130	1,9868	3,1738
Faza 3	X	X	1,9743	2,6846	1,5090	3,6375	4,1920	3,6863

Izvor: izradio student

Tablica 12. prikazuje interkvartilne razlike promatrane zasebno. Iz ove tablice je lako uočiti nemirnost određenog položaja. Uočavaju se opće najmanje vrijednosti odstupanja kod prve faze. To ima smisla budući da se tamo radi o ustaljenog plovidbi brodice, iako se plovidba odvijala kroz lošije hidrometeorološke uvjete. Druga faza ima veća odstupanja položaja što je ponovno očekivano, s obzirom da je zatvorenost Bakarskog zaljeva u velikoj mjeri prelazila 10° od horizonta prema vrhu reljefa što je utjecalo na vidljivost satelita. Svejedno, preciznost položaja je bila prihvatljiva i unutar IMO zahtjeva. Manevriranje u gradu Bakru prikazanom na tablici je prikazalo zanimljive vrijednosti. Samsung A8 i S6 su imali lošije vrijednosti dok je Samsung S8 imao bolje vrijednosti u Bakru nego li kroz cijelu plovidbu drugom fazu. U trećoj fazi vidljive su slične vrijednosti kao i kod prve faze, osim dosta velikog pogoršanja kod Samsunga S8. Također, zanimljivo je vidjeti da položaj s velikim odstupanjima Samsunga S6 tijekom stajanja u gradu Bakru je zapravo prosječno bolji nego li kroz cijelu drugu fazu.

Prestanak praćenja položaja Samsunga A6, kao i Samsunga A8 u statičkom mjerenju je stvar tehničke greške. Za obje tehničke greške snimanja pretpostavljeno je da je do problema došlo uslijed automatskog pozadinskog pokretanja funkcije smanjenja trošenja baterije uređaja uslijed neaktivnosti unatoč činjenici da je ta funkcija za potrebe ovog mjerenja isključena.

6. ZAKLJUČAK

Analiziranjem dobivenih vrijednosti te njihovim međusobnim uspoređivanjem došlo se do zaključka da postoje znatne varijacije između naizgled vrlo sličnih uređaja. Dokazano je da odstupanja između pojedinih uređaja mogu znatno odstupati čak i u uvjetima u kojima se znatna pozornost posvetila osiguravanju identičnih i, koliko je to u praksi moguće, idealnih uvjeta. Iščitavanjem rezultata mjerenja pri otvorenijim područjima prve i treće faze dolazi se do očekivanih rezultata relativno zadovoljavajuće točnosti određivanja položaja. Veća odstupanja uređaja su uglavnom primijećena kod zaustavljanja brodice te gubitkom neposredno prijašnje snimljenih točaka koje služe za stabiliziranje daljnjih točaka položaja.

Zadovoljavajući i ugodno iznenađujući zaključak jest točnost položaja i u najviše zatvorenom dijelu Bakarskog zaljeva, ispred grada Bakra. Izmjerena je zatvorenost reljefa koja u velikoj mjeri nadilazi idealnih 10 do 15 stupnjeva kuta maskiranja. Međutim, unatoč toj činjenici nije došlo do značajnijih problema u točnosti položaja kao niti značajnijeg smanjenja broja vidljivih satelita. Također, drugi zadovoljavajući zaključak jest da je osjetljivost pametnih telefona na razlike u brzini i smjeru plovidbe iznimno dobra te se svaka željena promjena smjera ili brzine plovidbe uočava u zapisima bez značajnog kašnjenja.

Međutim, kod pametnih telefona uočena je činjenica da su određeni položaji međusobno vrlo nekonzistentni. Postoje velike razlike u položaju unutar malih promatranih razdoblja poput 30 sekundi. Ovi problemi su vidljivi i u vrlo dobrim vanjskim uvjetima s dobrom vidljivošću satelita. Iako u području mjerenja nije bilo situacija s malim brojem satelita, postavlja se pitanje što bi se dogodilo s već sada nemirnim položajima u toj situaciji. Nemirnost određenog položaja pomoću pametnih telefona je znani problem korištenjem integriranih GNSS prijamnika u pametnim telefonima. Iz ovog razloga ne može se preporučiti korištenje pametnih telefona kao primaran izvor određivanja položaja na moru. Neki uređaji mogu imati bolju preciznost u odnosu na druge modele, ali budući da ne postoji standardizirani test preciznosti satelitskog određivanja položaja pametnih telefona pri kojem bi se vidjele njihove razlike. Sukladno IMO zahtjevima o GNSS parametrima, upitno je ako bi pametni telefoni u svakom trenutku i situaciji zadovoljili zahtjeve. Unatoč dokazano dobrom svojstvu određivanja položaja, čak i u zahtjevnim uvjetima, mora se napomenuti da niti jedan uređaj nije uspio doseći jednaku točnost kao referentni multi-frekvencijski GNSS prijamnik iako je broj vidljivih GPS satelita pametnih telefona u svakom trenutku mjerenja

bio velik. Točnost multi-frekvencijskog GNSS prijarnika se nije uvelike razlikovala od nekih pametnih telefona, no određivanje položaja je bilo daleko stabilnije.

Uzimajući u obzir prosječno dobre položajne zapise, uočilo se da pametni telefoni imaju sposobnost određivanja prosječnog položaja unutar pet metara od stvarnog. Stoga, pametni telefoni mogu poslužiti kao pomoć u navigaciji, ukoliko se uzima njihova ograničenja i moguća kratkotrajna velika odstupanja, poput izmjerenih preko 40 m odstupanja u ovom mjerenju, u obzir. Drugi važan zaključak jest činjenica da se između naizgled vrlo sličnih mobitela krije vrlo različita sposobnost određivanja položaja.

LITERATURA

1.) KNJIGE

1. Bhatta B., *Global Navigation Satellite Systems: New Technologies and Applications*, CRC Press, Chennai, 2021.
2. BeiDou Navigation Satellite System, *BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard*, drugo izdanje, China Satellite Navigation Office, prosinac 2018.
3. Brajković M., *Procjena položaja satelitskim sustavom primjenom metode najmanjih kvadrata s težinskim koeficijentima koji minimiziraju ionosferske učinke na točnost procjene položaja*, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka, 2023.
4. Goldreich P., *Inclination of Satellite Orbits about an Oblate Precessing Planet*, The Astronomical Journal, izdanje 70, Los Angeles, veljača 1965.
5. Groves P. D., *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, drugo izdanje, Artech House, London, 2013.
6. International Maritime Organization (IMO), Resolution A.915 (22): *Revised maritime policy and requirements for a future Global Navigation Satellite System (GNSS)*, IMO., London, 2001.
7. Jade Morton Y. and Others, *Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century - Volumes 1 and 2*, John Wiley & Sons Inc, Colorado prosinac 2020.
8. Kong T., Wang X., Ma L., *Research on Satellite Positioning Based on Total Least Squares Algorithm*, IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series, Beijing, 2021.
9. Sahakyan M., *China and Eurasian powers in a multipolar world order 2.0: security, diplomacy, economy and cyberspace*, drugo izdanje, Routledge, London, 2023.
10. Smith P.M., *Terrestrial Navigation: A Primer for Deck Officers and Officer of the Watch Exams*, Routledge, London, 2018.
11. Xu G., Xu Y., *GPS Theory, Algorithms and Applications*, treće izdanje, Springer, Berlin, 2016.

2.) ČLANCI

1. Kazmierski K., Zajdel R., Sośnica K., *Evolution of orbit and clock quality for real-time multi-GNSS solutions*, GPS Solutions, Springer Link, New York, izdanje 24, 111, 2020.
2. Kos S., Pongračić B., Brčić D.: *A study on multi-constellation GNSS positioning performance in terms of maritime requirements*, Proceedings of 12th Annual Baška GNSS Conference, CROSBI, Baška, 989176, 2018., str. 69-84
3. Matignon L., *Satellite constellations, a race is engaged*, ILSA, Space Legal Issues, izdanje 5, 2019.
4. McMahon J. W., *An Analytical Theory for the Perturbative Effect of Solar Radiation Pressure on Natural and Artificial Satellites*, ProQuest, University of Colorado, Boulder, izdanje 72, ISBN: 9781124823683, 2011.
5. Mostafa A. et al., *Controlling the Perturbations of Solar Radiation Pressure on the Lorentz Spacecraft*, Symmetry, Jeddah, izdanje 12, 12091423, 2020.
6. Šakan D. et al.: *On Linear and Circular Approach to GPS Data Processing: Analyses of the Horizontal Positioning Deviations Based on the Adriatic Region IGS Observables*, Data, Rijeka, izdanje 6, 6020009, 2021.
7. Žic A. et al.: *On GPS L1 Positioning Errors' Estimation in the Adriatic Region*, Pomorski zbornik, Hrčak, Rijeka, izdanje 58, 240874, 2020.

3.) INTERNETSKI IZVORI

1. EUSPA, *Constellation Information*, <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>, lipanj 2023. (30.06.2023.)
2. EUSPA, *What is GNSS?*, <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss>, prosinac 2021(30.06.2023.)
3. GeoConnect, *GPS Signals (L1, L2, L5)*, 2023., <http://geoconnect.com.au/gps-signals-11-12-15/>, (07.07.2023.) (07.07.2023.)
4. GISGeography, *Geodetic Datums: NAD 27, NAD 83 and WGS84*, svibanj 2022., <https://gisgeography.com/geodetic-datums-nad27-nad83-wgs84/>, (07.07.2023.)
5. GLONASS APPLIED CONSUMER CENTER, *About GLONASS*, https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/, lipanj 2023. (30.06.2023.)

6. GPS.GOV, *Space Segment*, <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>, svibanj 2022. (30.06.2023.)
7. GSM Arena, *Samsung Galaxy A6*, [https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_a6_\(2018\)-9155.php](https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_a6_(2018)-9155.php), 2018., (20.06.2023.)
8. GSM Arena, *Samsung Galaxy A8*, [https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_a8_\(2018\)-8886.php](https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_a8_(2018)-8886.php), 2018., (20.06.2023.)
9. GSM Arena, *Samsung Galaxy S6*, https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_s6-6849.php, 2018., (20.06.2023.)
10. GSM Arena, *Samsung Galaxy S8*, https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_s8-8161.php, 2017., (20.06.2023.)
11. Gimp 2.10.24, <https://www.gimp.org/>, 2023., (15.05.2023.)
12. GnsLogger 3.0.6.1, https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.location.gps.gnsslogger&hl=en_US&pli=1, 2022., (15.05.2023.)
13. Google Earth Pro 7.3.6.9345, <https://www.google.com/earth/versions/>, 2023., (15.05.2023.)
14. GPS Logger 3.2.1, https://play.google.com/store/apps/details?id=eu.basicairdata.graziano.gpslogger&hl=en_US, 2022., (15.05.2023.)
15. GPS Visualizer, <https://www.gpsvisualizer.com/>, 2023., (15.05.2023.)
16. Gpx.studio, <https://gpx.studio/>, 2023., (15.05.2023.)
17. J. S. Subirana, ESA Navipedia, *Ionospheric delay*, 2011., https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Ionospheric_Delay
18. LittleNavMap 2.8.10, <https://albar965.github.io/littlenavmap.html>, 2023., (15.05.2023.)
19. Microsoft Excel 2021, <https://www.microsoft.com/hr-hr/microsoft-365?rtc=1>, 2021., (15.05.2023.)
20. *Multipath errors in GPS signals*, <https://medium.com/predict/multipath-errors-in-gps-signals-de3a20440cf9>, 2022., (15.05.2023.)
21. National Oceanic and Atmospheric Administration, *Ionosphere*, <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/ionosphere>, lipanj 2023., (30.06.2023.)

22. NOAA, Vertical Datum Transformation, *A tutorial on Datums*, 2019.,
<https://vdatum.noaa.gov/docs/datums.html>, (07.07.2023.)
23. Notepad++ 8.4.2.0, <https://notepad-plus-plus.org/>, 2023., (10.04.2023.)
24. *Real-World Relativity: The GPS Navigation System*, 2017.,
<https://www.astronomy.ohio-state.edu/pogge.1/Ast162/Unit5/gps.html>,
(07.07.2023.)
25. Rstudio 386, <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>, 2023., (05.05.2023.)
26. RTKPlot 2.4.2, https://rtklib.com/rtklib_tutorial.htm, 2023., (15.05.2023.)
27. Septentrio, <https://www.septentrio.com/zh-hans/learn-more/about-GNSS/why-multi-frequency-and-multi-constellation-matters>, 2021., (28.06.2023.)
28. Špoljarić D., E-škola astronomije, *Nebeski koordinatni sustavi*,
<https://eskola.zvezdarnica.hr/osnove-astronomije/polozajna-i-efemeridna-astronomija/nebeski-koordinatni-sustavi/>, lipanj 2023. (30.06.2023.)
29. The Space Segment, *Dilution of Precision*, <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1771>, 2022., (28.06.2023.)
30. UCAR, Center for Science Education, *Coronal Mass Ejection (CME)*,
<https://scied.ucar.edu/learning-zone/sun-space-weather/coronal-mass-ejection>,
2002., (28.06.2023.)
31. UCAR, Center for Science Education, *The ionosphere*,
<https://scied.ucar.edu/learning-zone/atmosphere/ionosphere>, 2014.,
(28.06.2023.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz različitih orbita satelita u GNSS sustavu	5
Slika 2. Prikaz ECI koordinatnog sustava.....	8
Slika 3. Prikaz ECEF koordinatnog sustava	9
Slika 4. Prikaz satelita pri različitim visinama na nebeskoj sferi s prijammikom u središtu	13
Slika 5. Skaliranje kašnjenja propagacije izraženo po kutovima od horizonta prema zenitu	14
Slika 6. Primjer povoljne i nepovoljne rasprostranjenosti satelita u odnosu na prijammik. 16	
Slika 7. Primjer učinka višestrukih puteva u urbanim sredinama.....	18
Slika 8. Primjer blokiranja signala satelita umjetnim tvorevinama	18
Slika 9. Prikaz površine položaja s jednim, dva i tri korištena satelita.....	21
Slika 10. Računanje položaja s četiri pseudoudaljenosti	22
Slika 11. Lokacija statičkog mjerenja na krovu zgrade Pomorskog fakulteta u Rijeci.....	26
Slika 12. Opći prikaz rute plovidbe dinamičkog mjerenja.....	27
Slika 13. Zatvorenost područja faze otvorene plovidbe izražena u stupnjevima od horizonta do vrha reljefnih prepreka.....	28
Slika 14. Zatvorenost ispred grada Bakra izražena u stupnjevima od horizonta do vrha reljefnih prepreka.....	28
Slika 15. Prikaz prve faze.....	33
Slika 16. Prikaz druge faze	34
Slika 17. Prikaz Bakarskog dijela	35
Slika 18. Prikaz treće faze.....	36
Slika 19. Prikaz treće pokusne faze plovidbe s označenim krugom i osmicom	36
Slika 20. Isječak koda koordinatnih odstupanja.....	41
Slika 21. Isječak koda histograma učestalosti odstupanja	42
Slika 22. Isječak koda dodavanja krivulja učestalosti odstupanja	42
Slika 23. Isječak koda kutijastih dijagrama.....	42
Slika 24. Prikaz procijenjenih DOP vrijednosti za područje statičkog mjerenja	43
Slika 25. Koordinatna odstupanja, Samsung A6, 18/04/2023	44
Slika 26. Histogrami učestalosti pogrešaka odstupanja, Samsung A6, 18/04/2023	45
Slika 27. Gustoće razdiobi pogrešaka odstupanja, Samsung A6, 18/04/2023	45
Slika 28. Kutijasti dijagrami pogrešaka odstupanja, Samsung A6, 18/04/2023	46
Slika 29. Dvodimenzionalno odstupanje, Samsung A6, 18/04/2023.....	47

Slika 30. Približeni prikaz gustoće dvodimenzionalnog odstupanja, Samsung A6, 18/04/2023	48
Slika 31. Broj vidljivih satelita, Samsung A6, 18/04/2023	49
Slika 32. Koordinatna odstupanja, Samsung S6, 18/04/2023	50
Slika 33. Histogrami učestalosti pogrešaka odstupanja, Samsung S6, 18/04/2023	50
Slika 34. Gustoće razdiobi pogrešaka odstupanja, Samsung S6, 18/04/2023	51
Slika 35. Kutijasti dijagrami pogrešaka odstupanja, Samsung S6, 18/04/2023	52
Slika 36. Dvodimenzionalno odstupanje, Samsung S6, 18/04/2023	53
Slika 37. Približeni prikaz gustoće dvodimenzionalnog odstupanja, Samsung S6, 18/04/2023	54
Slika 38. Broj vidljivih satelita, Samsung S6, 18/04/2023	54
Slika 39. Koordinatna odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023	55
Slika 40. Histogrami učestalosti pogrešaka odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023	56
Slika 41. Gustoće razdiobi pogrešaka odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023	56
Slika 42. Kutijasti dijagrami pogrešaka odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023	57
Slika 43. Dvodimenzionalno odstupanje, Samsung S8, 18/04/2023	58
Slika 44. Približeni prikaz gustoće dvodimenzionalnog odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023	59
Slika 45. Broj vidljivih satelita, Samsung S8, 18/04/2023	59
Slika 46. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj širini, 18/04/2023	60
Slika 47. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj dužini, 18/04/2023	61
Slika 48. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po nadmorskoj visini, 18/04/2023	62
Slika 49. Usporedni prikaz dinamičkih mjerenja	63
Slika 50. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj širini, prva faza, 09/05/2023	64
Slika 51. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj dužini, prva faza, 09/05/2023	65
Slika 52. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona od referentne rute, prva faza, 09/05/2023	65
Slika 53. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, prva faza, Samsung A8, 09/05/2023	68
Slika 54. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, prva faza, Samsung S6, 09/05/2023	69
Slika 55. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, prva faza, Samsung S8, 09/05/2023	69
Slika 56. Prikaz brzine brodice u prvoj fazi	70

Slika 57. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj širini, druga faza, 09/05/2023	71
Slika 58. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj dužini, druga faza, 09/05/2023	72
Slika 59. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona od referentne rute, 2. faza, 09/05/2023	72
Slika 60. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, druga faza, Samsung A8, 09/05/2023	74
Slika 61. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, druga faza, Samsung S6, 09/05/2023	74
Slika 62. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, druga faza, Samsung S8, 09/05/2023	75
Slika 63. Prikaz brzine brodice u drugoj fazi, 09/05/2023.....	76
Slika 64. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj širini, grad Bakar, 09/05/2023	77
Slika 65. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj dužini, grad Bakar, 09/05/2023	77
Slika 66. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona od referentne rute, grad Bakar, 09/05/2023	78
Slika 67. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj širini, treća faza,, 09/05/2023	79
Slika 68. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona po geografskoj dužini, treća faza, 09/05/2023	80
Slika 69. Usporedba odstupanja položaja pametnih telefona od referentne rute, 3. faza, 09/05/2023	80
Slika 70. Prikaz brzine brodice u trećoj fazi, 09/05/2023	82
Slika 71. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, treća faza, Samsung A8, 09/05/2023	82
Slika 72. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, treća faza, Samsung S6, 09/05/2023	83
Slika 73. Prikaz brzine kretanja brodice i broj satelita, treća faza, Samsung S8, 09/05/2023	83
Slika 74. Usporedni prikaz statičkih mjerenja	86
Slika 75. Usporedba odstupanja položaja tijekom stajanja u Bakarskom dijelu	87

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podjela komponenti odstupanja i DOP vrijednosti.....	17
Tablica 2. Statistički opis statičkog mjerenja, Samsung A6.....	47
Tablica 3. Statistički opis statičkog mjerenja, Samsung S6	52
Tablica 4. Statistički opis statičkog mjerenja, Samsung S8	57
Tablica 5. Statistički opis dinamičkog mjerenja prve faze	66
Tablica 6. Statistički opis dinamičkog mjerenja druge faze	73
Tablica 7. Statistički opis dinamičkog mjerenja faze grada Bakra.....	78
Tablica 8. Statistički opis dinamičkog mjerenja treće faze	81
Tablica 9. GNSS zahtjevi IMO-a po rezoluciji A.915(22).....	85
Tablica 10. Usporedni prikaz rezultata statičkog mjerenja	86
Tablica 11. Statistički opis usporedbe rezultata dinamičkog mjerenja između prve i druge faze.....	88
Tablica 12. Razlike između donjeg i gornjeg kvartila po fazi mjerenja.....	89

PRILOZI

1. Kod pojedinog statičkog mjerenja

```
pos<-read.csv(file='20230418-091144 - S8 Static.gpx', skip = 28, header =FALSE, sep=',')
```

```
frame
```

```
c_names <- c("lat", "lon", "H", "GPST", "N_sat")
```

```
colnames(pos)<- c_names
```

```
pos$GPST<-as.POSIXct(pos$GPST)
```

```
lat<-45.330436
```

```
lon<-14.436390
```

```
H<- 82.856
```

```
d_lat<-((lat-pos$lat)*-1)
```

```
d_lon<-((lon-pos$lon)*-1)
```

```
d_h<-((H-pos$H)*-1)
```

```
cos_lat<-(cos(lat*pi/180))
```

```
lat_m<-(d_lat*60*1852)
```

```
lon_m<-(d_lon*60*1852*cos_lat)
```

```
summary(lat_m)
```

```
rows<-names(summary(lat_m))
```

```
summary_lat_m<-as.data.frame(matrix(summary(lat_m)))
```

```

summary_lat_m<-rbind(summary_lat_m,sd(lat_m))
summary_lon_m<-as.data.frame(matrix(summary(lon_m)))
summary_lon_m<-rbind(summary_lon_m,sd(lon_m))
summary_h<-as.data.frame(matrix(summary(d_h)))
summary_h<-rbind(summary_h,sd(d_h))

cols<-c('d_lat', 'd_lon', 'd_h')

stats<-cbind.data.frame(summary_lat_m,summary_lon_m, summary_h)

rownames(stats)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats)<-cols

print(stats) # ispisivanje tablice
write.csv(file='stats S8.csv', stats)

par(mar = c(4, 4, 3, 3))
plot(x = pos$GPST, y = lat_m, col="red",ylim=c(-6, 18), type = 'l',
     main = 'Koordinatna odstupanja, Samsung S8, 18/04/2023', xlab = 'Vrijeme (h)',
     ylab = 'Odstupanja (m)')
lines(x = pos$GPST, y = lon_m, col = 'blue') # dodavanje nove varijable na postojeći graf |
lines(x = pos$GPST, y = d_h, col = 'darkgreen') # dodavanje nove varijable na postojeći graf
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equiloggs = TRUE)

legend("topright", legend=c("Lat", "Lon", "H"),
      col=c("red", "blue", "darkgreen"), lty=c(1,1), cex=1)

hist(lat_m, col="red", xlab="Odstupanja geografske širine (m)", ylab="Učestalost",
     breaks=20,
     main="Histogram pogreške geografske širine", ylim=c(0,800), xlim=c(-5,15))
hist(lon_m, col="blue", xlab="Odstupanja geografske duljine (m)", ylab="Učestalost",
     breaks=20,
     main="Histogram pogreške geografske duljine", ylim=c(0,800), xlim=c(-10,15))
hist(d_h, col="darkgreen", xlab="Odstupanja nadmorske visine (m)", ylab="Učestalost",
     breaks=20,
     main="Histogram pogreške nadmorske visine", ylim=c(0,800), xlim=c(-5,15))

plot(x = pos$GPST, y = pos$N_sat, col="red",ylim=c(0, 25), type = 'l',
     main = 'Broj vidljivih satelita, Samsung S8, 18/04/2023', xlab = 'Vrijeme (h)',
     ylab = 'Broj satelita')
legend("topleft", legend=c("N_sat"),
      col=c("red"), lty=c(1,1), cex=1)

hist(lat_m, ylim=c(0,0.5), xlim=c(-10,20),
     col="red", # boja stupca | column color
     border="red",
     prob = TRUE,
     xlab = "Odstupanja geografske širine (m)", ylab="Gustoća", main = "Histogram pogreške
geografske širine")
lines(density(lat_m), # prikaz gustoće | density plot

```

```

lwd = 2, # debljina linije | thickness of line
col = "black")

xfit<-seq(min(lat_m),max(lat_m),length=length(lat_m))
yfit<-dnorm(xfit,mean=0,sd=1)
lines(xfit, yfit, col="blue", lwd=2)
legend("topright", legend=c("krivulja gustoće", "krivulja normalne razdiobe"),
      col=c("black", "blue"), lty=c(1,1), cex=1)

hist(lon_m, ylim=c(0,0.5), xlim=c(-10,15),
     col="blue",
     border="red",
     prob = TRUE,
     xlab = "Odstupanja geografske duljine (m)", ylab="Gustoća", main = "Histogram
pogreške geografske duljine")
lines(density(lon_m),
     lwd = 2,
     col = "black")
xfit<-seq(min(lon_m),max(lon_m),length=length(lon_m))
yfit<-dnorm(xfit,mean=0,sd=1)
lines(xfit, yfit, col="blue", lwd=2)
legend("topright", legend=c("krivulja gustoće", "krivulja normalne razdiobe"),
      col=c("black", "blue"), lty=c(1,1), cex=1)

hist(d_h, ylim=c(0,0.5), xlim=c(-10,20),
     col="darkgreen",
     border="red",
     prob = TRUE,
     xlab = "Odstupanja nadmorske visine (m)", ylab="Gustoća", main = "Histogram
pogreške nadmorske visine")
lines(density(d_h),
     lwd = 2,
     col = "black")
xfit<-seq(min(d_h),max(d_h),length=length(d_h))
yfit<-dnorm(xfit,mean=0,sd=1)
lines(xfit, yfit, col="blue", lwd=2)
legend("topright", legend=c("krivulja gustoće", "krivulja normalne razdiobe"),
      col=c("black", "blue"), lty=c(1,1), cex=1)

boxplot(lat_m, col="red", ylim=c(-4, 12),ylab="Odstupanje (m)",
      main="Kutijasti dijagram pogreške geografske širine")
boxplot(lon_m, col="blue", ylim=c(-6, 8),ylab="Odstupanje (m)",
      main="Kutijasti dijagram pogreške geografske duljine")
boxplot(d_h, col="darkgreen", ylim=c(-4, 15),ylab="Odstupanje (m)",
      main="Kutijasti dijagram pogreške nadmorske visine")

plot(lon_m, lat_m)
plot(lon_m, lat_m, # naredba iscrtavanja lat i lon varijable
     type="o", # vrsta linije
     ylab="Odstupanje geografske širine (m)",

```

```
xlab="Odstupanje geografske duljine (m)",
main="Horizontalno odstupanje, Samsung S8, 18/04/2023")
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilogs =
TRUE)#dodavanje koor. mreže
library("ggplot2")
smoothScatter(lon_m, lat_m,
  ylab="Odstupanje geografske širine (m)",
  xlab="Odstupanje geografske duljine (m)",
  main="Horizontalno odstupanje, Samsung S8, 18/04/2023",
  ylim=c(-1, 7), xlim=c(-3, 3))
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilogs = TRUE)
library("scatterplot3d")
scatterplot3d(lon_m, lat_m, d_h, angle=215, color='blue')
library("rgl")
plot3d(x=lon_m, y=lat_m, z=d_h, col='blue', type = 's', radius = 0.3)
```

2. Kod ukupnog statičkog mjerenja

```
pos_S8<-read.csv(file='20230418-091144 - S8 Static.gpx', skip = 28, header =FALSE,
sep=',')
pos_S6<-read.csv(file='20230418-091158 - S6 Static.gpx', skip = 28, header =FALSE,
sep=',')
pos_A8<-read.csv(file='20230418-091143 - A8 Static.gpx', skip = 28, header =FALSE,
sep=',')
pos_A6<-read.csv(file='20230418-091146 - A6 Static.gpx', skip = 28, header =FALSE,
sep=',')
```

```
c_names <- c("lat", "lon", "H", "GPST", "N_sat")
colnames(pos_S8)<- c_names
colnames(pos_S6)<- c_names
colnames(pos_A8)<- c_names
colnames(pos_A6)<- c_names
```

```
pos_S8$GPST<-as.POSIXct(pos_S8$GPST)
pos_S6$GPST<-as.POSIXct(pos_S6$GPST)
pos_A8$GPST<-as.POSIXct(pos_A8$GPST)
pos_A6$GPST<-as.POSIXct(pos_A6$GPST)
```

```
lat<-45.330436
lon<-14.436390
H<- 82.856
```

```
d_lat_S8<-((lat-pos_S8$lat)*-1)
d_lon_S8<-((lon-pos_S8$lon)*-1)
d_h_S8<-((H-pos_S8$H)*-1)
d_lat_S6<-((lat-pos_S6$lat)*-1)
d_lon_S6<-((lon-pos_S6$lon)*-1)
d_h_S6<-((H-pos_S6$H)*-1)
d_lat_A8<-((lat-pos_A8$lat)*-1)
d_lon_A8<-((lon-pos_A8$lon)*-1)
d_h_A8<-((H-pos_A8$H)*-1)
d_lat_A6<-((lat-pos_A6$lat)*-1)
d_lon_A6<-((lon-pos_A6$lon)*-1)
d_h_A6<-((H-pos_A6$H)*-1)
```

```
cos_lat<-cos(lat*pi/180)
lat_m_S8<-(d_lat_S8*60*1852)
lon_m_S8<-(d_lon_S8*60*1852*cos_lat)
lat_m_S6<-(d_lat_S6*60*1852)
lon_m_S6<-(d_lon_S6*60*1852*cos_lat)
lat_m_A8<-(d_lat_A8*60*1852)
lon_m_A8<-(d_lon_A8*60*1852*cos_lat)
lat_m_A6<-(d_lat_A6*60*1852)
lon_m_A6<-(d_lon_A6*60*1852*cos_lat)
```

```
rows_S8<-names(summary(lat_m_S8))
```



```

rows_S6<-names(summary(lat_m_S6))
rows_A8<-names(summary(lat_m_A8))
rows_A6<-names(summary(lat_m_A6))
summary_lat_m_S8<-as.data.frame(matrix(summary(lat_m_S8)))
summary_lat_m_S6<-as.data.frame(matrix(summary(lat_m_S6)))
summary_lat_m_A8<-as.data.frame(matrix(summary(lat_m_A8)))
summary_lat_m_A6<-as.data.frame(matrix(summary(lat_m_A6)))
summary_lat_m_S8<-rbind(summary_lat_m_S8,sd(lat_m_S8))
summary_lat_m_S6<-rbind(summary_lat_m_S6,sd(lat_m_S6))
summary_lat_m_A8<-rbind(summary_lat_m_A8,sd(lat_m_A8))
summary_lat_m_A6<-rbind(summary_lat_m_A6,sd(lat_m_A6))
summary_lon_m_S8<-as.data.frame(matrix(summary(lon_m_S8)))
summary_lon_m_S6<-as.data.frame(matrix(summary(lon_m_S6)))
summary_lon_m_A8<-as.data.frame(matrix(summary(lon_m_A8)))
summary_lon_m_A6<-as.data.frame(matrix(summary(lon_m_A6)))
summary_lon_m_S8<-rbind(summary_lon_m_S8,sd(lon_m_S8))
summary_lon_m_S6<-rbind(summary_lon_m_S6,sd(lon_m_S6))
summary_lon_m_A8<-rbind(summary_lon_m_A8,sd(lon_m_A8))
summary_lon_m_A6<-rbind(summary_lon_m_A6,sd(lon_m_A6))
summary_h_S8<-as.data.frame(matrix(summary(d_h_S8)))
summary_h_S6<-as.data.frame(matrix(summary(d_h_S6)))
summary_h_A8<-as.data.frame(matrix(summary(d_h_A8)))
summary_h_A6<-as.data.frame(matrix(summary(d_h_A6)))
summary_h_S8<-rbind(summary_h_S8,sd(d_h_S8))
summary_h_S6<-rbind(summary_h_S6,sd(d_h_S6))
summary_h_A8<-rbind(summary_h_A8,sd(d_h_A8))
summary_h_A6<-rbind(summary_h_A6,sd(d_h_A6))

cols<-c('d_lat', 'd_lon', 'd_h')

stats_S8<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S8,summary_lon_m_S8, summary_h_S8)
stats_S6<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S6,summary_lon_m_S6, summary_h_S6)
stats_A8<-cbind.data.frame(summary_lat_m_A8,summary_lon_m_A8, summary_h_A8)
stats_A6<-cbind.data.frame(summary_lat_m_A6,summary_lon_m_A6, summary_h_A6)
rownames(stats_S8)<-c(rows_S8, 'sd')
rownames(stats_S6)<-c(rows_S6, 'sd')
rownames(stats_A8)<-c(rows_A8, 'sd')
rownames(stats_A6)<-c(rows_A6, 'sd')
colnames(stats_S8)<-cols
colnames(stats_S6)<-cols
colnames(stats_A8)<-cols
colnames(stats_A6)<-cols

plot(x = pos_S8$GPST, y =lat_m_S8, ylim=c(-15, 15), col="orange", type = 'l',
     main = 'Usporedba odstupanja mobitela po geo. širini, 18/04/2023', xlab = 'Vrijeme (h)',
     ylab = 'Odstupanja')
lines(x = pos_S6$GPST, y = lat_m_S6, col = 'lightblue')
lines(x = pos_A8$GPST, y = lat_m_A8, col = 'brown')
lines(x = pos_A6$GPST, y = lat_m_A6, col = 'green')
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equiloggs = TRUE)

```

```

legend("topleft", legend=c("S8", "S6", "A8", "A6"),
      col=c("orange", "lightblue", "brown", "green"), lty=c(1,1), cex=1)

plot(x = pos_S8$GPST, y = lon_m_S8, ylim=c(-10, 15), col="orange", type='l',
     main = 'Usporedba odstupanja mobitela po geo. dužini, 18/04/2023', xlab = 'Vrijeme (h)',
     ylab = 'Odstupanja')
lines(x = pos_S6$GPST, y = lon_m_S6, col = 'lightblue') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A8$GPST, y = lon_m_A8, col = 'brown') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A6$GPST, y = lon_m_A6, col = 'green') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilogs = TRUE)
legend("topleft", legend=c("S8", "S6", "A8", "A6"),
      col=c("orange", "lightblue", "brown", "green"), lty=c(1,1), cex=1)

plot(x = pos_S8$GPST, y = d_h_S8, ylim=c(-22, 15), col="orange", type='l',
     main = 'Usporedba odstupanja mobitela po nadmorskoj visini, 18/04/2023', xlab =
'Vrijeme (h)',
     ylab = 'Odstupanja')
lines(x = pos_S6$GPST, y = d_h_S6, col = 'lightblue') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A8$GPST, y = d_h_A8, col = 'brown') # dodavanje nove varijable na postojeći
graf | Add another line
lines(x = pos_A6$GPST, y = d_h_A6, col = 'green') # dodavanje nove varijable na postojeći
graf | Add another line
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilogs = TRUE)
legend("topright", legend=c("S8", "S6", "A8", "A6"),
      col=c("orange", "lightblue", "brown", "green"), lty=c(1,1), cex=1)

```

3. Kod dinamičkog mjerenja odstupanja

```
pos_S8<-read.csv(file='S8.csv', header =TRUE, sep=',')
pos_S6<-read.csv(file='S6.csv', header =TRUE, sep=',')
pos_A8<-read.csv(file='A8.csv', header =TRUE, sep=',')
pos_A6<-read.csv(file='A6.csv', header =TRUE, sep=',')

pos_Garmin<-read.csv(file='Garmin.csv', header =TRUE, sep=',')
pos_Garmin_A6<-read.csv(file='Garmin_A6.csv', header =TRUE, sep=',')

pos_S8$GPST<-as.POSIXct(pos_S8$Time)
pos_S6$GPST<-as.POSIXct(pos_S6$Time)
pos_A8$GPST<-as.POSIXct(pos_A8$Time)
pos_A6$GPST<-as.POSIXct(pos_A6$Time)
pos_Garmin$GPST<-as.POSIXct(pos_Garmin$Time)
pos_Garmin_A6$GPST<-as.POSIXct(pos_Garmin_A6$Time)

d_lat_S8<-((pos_S8$lat-pos_Garmin$lat))
d_lon_S8<-((pos_S8$lon-pos_Garmin$lon))
d_lat_S6<-((pos_S6$lat-pos_Garmin$lat))
d_lon_S6<-((pos_S6$lon-pos_Garmin$lon))
d_lat_A8<-((pos_A8$lat-pos_Garmin$lat))
d_lon_A8<-((pos_A8$lon-pos_Garmin$lon))
d_lat_A6<-((pos_A6$lat-pos_Garmin_A6$lat))
d_lon_A6<-((pos_A6$lon-pos_Garmin_A6$lon))

cos_lat<-cos(pos_Garmin$lat*pi/180) # pi/180 - radijani
cos_lat_A6<-cos(pos_Garmin_A6$lat*pi/180)
lat_m_S8<-(d_lat_S8*60*1852)
lon_m_S8<-(d_lon_S8*60*1852*cos_lat)
lat_m_S6<-(d_lat_S6*60*1852)
lon_m_S6<-(d_lon_S6*60*1852*cos_lat)
lat_m_A8<-(d_lat_A8*60*1852)
lon_m_A8<-(d_lon_A8*60*1852*cos_lat)
lat_m_A6<-(d_lat_A6*60*1852)
lon_m_A6<-(d_lon_A6*60*1852*cos_lat_A6)

pos_S8$DLat <- lat_m_S8
pos_S8$DLon <- lon_m_S8
pos_S6$DLat <- lat_m_S6
pos_S6$DLon <- lon_m_S6
pos_A8$DLat <- lat_m_A8
pos_A8$DLon <- lon_m_A8
pos_A6$DLat <- lat_m_A6
pos_A6$DLon <- lon_m_A6

S8_total <- pos_S8[, c("GPST", "DLat", "DLon")]
S8_1F <- S8_total[1:110, ]
S8_KF <- S8_total[110:132, ]
S8_2F <- S8_total[132:311, ]
```

```

S8_BF <- S8_total[219:245, ]
S8_3F <- S8_total[346:417, ]
S6_total <- pos_S6[, c("GPST", "DLat", "DLon")]
S6_1F <- S6_total[1:110, ]
S6_KF <- S6_total[110:132, ]
S6_2F <- S6_total[132:311, ]
S6_BF <- S6_total[219:245, ]
S6_3F <- S6_total[346:417, ]
A8_total <- pos_A8[, c("GPST", "DLat", "DLon")]
A8_1F <- A8_total[1:110, ]
A8_KF <- A8_total[110:132, ]
A8_2F <- A8_total[132:311, ]
A8_BF <- A8_total[219:245, ]
A8_3F <- A8_total[346:417, ]
A6_total <- pos_A6[, c("GPST", "DLat", "DLon")]
A6_1F <- A6_total[1:64, ]
A6_2F <- A6_total[1, ]

```

```

rows<-names(summary(lat_m_S8))

```

```

# spremanje statističkih pokazatelja iz summary() funkcije u dataframe objekt
summary_lat_m_S8_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_S8$DLat)))
summary_lon_m_S8_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_S8$DLon)))
summary_lat_m_S8_1F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_1F$DLat)))
summary_lon_m_S8_1F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_1F$DLon)))
summary_lat_m_S8_KF<-as.data.frame(matrix(summary(S8_KF$DLat)))
summary_lon_m_S8_KF<-as.data.frame(matrix(summary(S8_KF$DLon)))
summary_lat_m_S8_2F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_2F$DLat)))
summary_lon_m_S8_2F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_2F$DLon)))
summary_lat_m_S8_BF<-as.data.frame(matrix(summary(S8_BF$DLat)))
summary_lon_m_S8_BF<-as.data.frame(matrix(summary(S8_BF$DLon)))
summary_lat_m_S8_3F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_3F$DLat)))
summary_lon_m_S8_3F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_3F$DLon)))

```

```

summary_lat_m_S6_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_S6$DLat)))
summary_lon_m_S6_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_S6$DLon)))
summary_lat_m_S6_1F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_1F$DLat)))
summary_lon_m_S6_1F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_1F$DLon)))
summary_lat_m_S6_KF<-as.data.frame(matrix(summary(S6_KF$DLat)))
summary_lon_m_S6_KF<-as.data.frame(matrix(summary(S6_KF$DLon)))
summary_lat_m_S6_2F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_2F$DLat)))
summary_lon_m_S6_2F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_2F$DLon)))
summary_lat_m_S6_BF<-as.data.frame(matrix(summary(S6_BF$DLat)))
summary_lon_m_S6_BF<-as.data.frame(matrix(summary(S6_BF$DLon)))
summary_lat_m_S6_3F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_3F$DLat)))
summary_lon_m_S6_3F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_3F$DLon)))

```

```

summary_lat_m_A8_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_A8$DLat)))
summary_lon_m_A8_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_A8$DLon)))
summary_lat_m_A8_1F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_1F$DLat)))

```

```
summary_lon_m_A8_1F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_1F$DLon)))
summary_lat_m_A8_KF<-as.data.frame(matrix(summary(A8_KF$DLat)))
summary_lon_m_A8_KF<-as.data.frame(matrix(summary(A8_KF$DLon)))
summary_lat_m_A8_2F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_2F$DLat)))
summary_lon_m_A8_2F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_2F$DLon)))
summary_lat_m_A8_BF<-as.data.frame(matrix(summary(A8_BF$DLat)))
summary_lon_m_A8_BF<-as.data.frame(matrix(summary(A8_BF$DLon)))
summary_lat_m_A8_3F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_3F$DLat)))
summary_lon_m_A8_3F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_3F$DLon)))
```

```
summary_lat_m_A6_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_A6$DLat)))
summary_lon_m_A6_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_A6$DLon)))
summary_lat_m_A6_1F<-as.data.frame(matrix(summary(A6_1F$DLat)))
summary_lon_m_A6_1F<-as.data.frame(matrix(summary(A6_1F$DLon)))
summary_lat_m_A6_2F<-as.data.frame(matrix(summary(A6_2F$DLat)))
summary_lon_m_A6_2F<-as.data.frame(matrix(summary(A6_2F$DLon)))
```

```
summary_lat_m_S8_total<-rbind(summary_lat_m_S8_total,sd(pos_S8$DLat))
summary_lat_m_S6_total<-rbind(summary_lat_m_S6_total,sd(pos_S6$DLat))
summary_lat_m_A8_total<-rbind(summary_lat_m_A8_total,sd(pos_A8$DLat))
summary_lat_m_A6_total<-rbind(summary_lat_m_A6_total,sd(pos_A6$DLat))
summary_lat_m_S8_1F<-rbind(summary_lat_m_S8_1F,sd(S8_1F$DLat))
summary_lat_m_S6_1F<-rbind(summary_lat_m_S6_1F,sd(S6_1F$DLat))
summary_lat_m_A8_1F<-rbind(summary_lat_m_A8_1F,sd(A8_1F$DLat))
summary_lat_m_A6_1F<-rbind(summary_lat_m_A6_1F,sd(A6_1F$DLat))
summary_lat_m_S8_KF<-rbind(summary_lat_m_S8_KF,sd(S8_KF$DLat))
summary_lat_m_S6_KF<-rbind(summary_lat_m_S6_KF,sd(S6_KF$DLat))
summary_lat_m_A8_KF<-rbind(summary_lat_m_A8_KF,sd(A8_KF$DLat))
summary_lat_m_S8_2F<-rbind(summary_lat_m_S8_2F,sd(S8_2F$DLat))
summary_lat_m_S6_2F<-rbind(summary_lat_m_S6_2F,sd(S6_2F$DLat))
summary_lat_m_A8_2F<-rbind(summary_lat_m_A8_2F,sd(A8_2F$DLat))
summary_lat_m_A6_2F<-rbind(summary_lat_m_A6_2F,sd(A6_2F$DLat))
summary_lat_m_S8_BF<-rbind(summary_lat_m_S8_BF,sd(S8_BF$DLat))
summary_lat_m_S6_BF<-rbind(summary_lat_m_S6_BF,sd(S6_BF$DLat))
summary_lat_m_A8_BF<-rbind(summary_lat_m_A8_BF,sd(A8_BF$DLat))
summary_lat_m_S8_3F<-rbind(summary_lat_m_S8_3F,sd(S8_3F$DLat))
summary_lat_m_S6_3F<-rbind(summary_lat_m_S6_3F,sd(S6_3F$DLat))
summary_lat_m_A8_3F<-rbind(summary_lat_m_A8_3F,sd(A8_3F$DLat))
```

```
summary_lon_m_S8_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_S8$DLon)))
summary_lon_m_S6_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_S6$DLon)))
summary_lon_m_A8_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_A8$DLon)))
summary_lon_m_A6_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_A6$DLon)))
summary_lon_m_S8_1F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_1F$DLon)))
summary_lon_m_S6_1F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_1F$DLon)))
summary_lon_m_A8_1F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_1F$DLon)))
summary_lon_m_A6_1F<-as.data.frame(matrix(summary(A6_1F$DLon)))
summary_lon_m_S8_KF<-as.data.frame(matrix(summary(S8_KF$DLon)))
summary_lon_m_S6_KF<-as.data.frame(matrix(summary(S6_KF$DLon)))
summary_lon_m_A8_KF<-as.data.frame(matrix(summary(A8_KF$DLon)))
```

```
summary_lon_m_S8_2F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_2F$DLon)))
summary_lon_m_S6_2F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_2F$DLon)))
summary_lon_m_A8_2F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_2F$DLon)))
summary_lon_m_A6_2F<-as.data.frame(matrix(summary(A6_2F$DLon)))
summary_lon_m_S8_BF<-as.data.frame(matrix(summary(S8_BF$DLon)))
summary_lon_m_S6_BF<-as.data.frame(matrix(summary(S6_BF$DLon)))
summary_lon_m_A8_BF<-as.data.frame(matrix(summary(A8_BF$DLon)))
summary_lon_m_S8_3F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_3F$DLon)))
summary_lon_m_S6_3F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_3F$DLon)))
summary_lon_m_A8_3F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_3F$DLon)))
```

```
summary_lon_m_S8_total<-rbind(summary_lon_m_S8_total,sd(pos_S8$DLon))
summary_lon_m_S6_total<-rbind(summary_lon_m_S6_total,sd(pos_S6$DLon))
summary_lon_m_A8_total<-rbind(summary_lon_m_A8_total,sd(pos_A8$DLon))
summary_lon_m_A6_total<-rbind(summary_lon_m_A6_total,sd(pos_A6$DLon))
summary_lon_m_S8_1F<-rbind(summary_lon_m_S8_1F,sd(S8_1F$DLon))
summary_lon_m_S6_1F<-rbind(summary_lon_m_S6_1F,sd(S6_1F$DLon))
summary_lon_m_A8_1F<-rbind(summary_lon_m_A8_1F,sd(A8_1F$DLon))
summary_lon_m_A6_1F<-rbind(summary_lon_m_A6_1F,sd(A6_1F$DLon))
summary_lon_m_S8_KF<-rbind(summary_lon_m_S8_KF,sd(S8_KF$DLon))
summary_lon_m_S6_KF<-rbind(summary_lon_m_S6_KF,sd(S6_KF$DLon))
summary_lon_m_A8_KF<-rbind(summary_lon_m_A8_KF,sd(A8_KF$DLon))
summary_lon_m_S8_2F<-rbind(summary_lon_m_S8_2F,sd(S8_2F$DLon))
summary_lon_m_S6_2F<-rbind(summary_lon_m_S6_2F,sd(S6_2F$DLon))
summary_lon_m_A8_2F<-rbind(summary_lon_m_A8_2F,sd(A8_2F$DLon))
summary_lon_m_A6_2F<-rbind(summary_lon_m_A6_2F,sd(A6_2F$DLon))
summary_lon_m_S8_BF<-rbind(summary_lon_m_S8_BF,sd(S8_BF$DLon))
summary_lon_m_S6_BF<-rbind(summary_lon_m_S6_BF,sd(S6_BF$DLon))
summary_lon_m_A8_BF<-rbind(summary_lon_m_A8_BF,sd(A8_BF$DLon))
summary_lon_m_S8_3F<-rbind(summary_lon_m_S8_3F,sd(S8_3F$DLon))
summary_lon_m_S6_3F<-rbind(summary_lon_m_S6_3F,sd(S6_3F$DLon))
summary_lon_m_A8_3F<-rbind(summary_lon_m_A8_3F,sd(A8_3F$DLon))
```

```
cols<-c('Lat', 'Lon')
```

```
stats_S8_dinam_total<-
cbind.data.frame(summary_lat_m_S8_total,summary_lon_m_S8_total)
stats_S6_dinam_total<-
cbind.data.frame(summary_lat_m_S6_total,summary_lon_m_S6_total)
stats_A8_dinam_total<-
cbind.data.frame(summary_lat_m_A8_total,summary_lon_m_A8_total)
stats_A6_dinam_total<-
cbind.data.frame(summary_lat_m_A6_total,summary_lon_m_A6_total)
stats_S8_dinam_1F<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S8_1F,summary_lon_m_S8_1F)
stats_S6_dinam_1F<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S6_1F,summary_lon_m_S6_1F)
stats_A8_dinam_1F<-cbind.data.frame(summary_lat_m_A8_1F,summary_lon_m_A8_1F)
stats_A6_dinam_1F<-cbind.data.frame(summary_lat_m_A6_1F,summary_lon_m_A6_1F)
stats_S8_dinam_KF<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S8_KF,summary_lon_m_S8_KF)
stats_S6_dinam_KF<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S6_KF,summary_lon_m_S6_KF)
```

```

stats_A8_dinam_KF<-
cbind.data.frame(summary_lat_m_A8_KF,summary_lon_m_A8_KF)
stats_S8_dinam_2F<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S8_2F,summary_lon_m_S8_2F)
stats_S6_dinam_2F<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S6_2F,summary_lon_m_S6_2F)
stats_A8_dinam_2F<-cbind.data.frame(summary_lat_m_A8_2F,summary_lon_m_A8_2F)
stats_A6_dinam_2F<-cbind.data.frame(summary_lat_m_A6_2F,summary_lon_m_A6_2F)
stats_S8_dinam_BF<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S8_BF,summary_lon_m_S8_BF)
stats_S6_dinam_BF<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S6_BF,summary_lon_m_S6_BF)
stats_A8_dinam_BF<-
cbind.data.frame(summary_lat_m_A8_BF,summary_lon_m_A8_BF)
stats_S8_dinam_3F<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S8_3F,summary_lon_m_S8_3F)
stats_S6_dinam_3F<-cbind.data.frame(summary_lat_m_S6_3F,summary_lon_m_S6_3F)
stats_A8_dinam_3F<-cbind.data.frame(summary_lat_m_A8_3F,summary_lon_m_A8_3F)

```

```

rownames(stats_S8_dinam_total)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S8_dinam_total)<-cols
rownames(stats_S6_dinam_total)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S6_dinam_total)<-cols
rownames(stats_A8_dinam_total)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_A8_dinam_total)<-cols
rownames(stats_A6_dinam_total)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_A6_dinam_total)<-cols
rownames(stats_S8_dinam_1F)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S8_dinam_1F)<-cols
rownames(stats_S6_dinam_1F)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S6_dinam_1F)<-cols
rownames(stats_A8_dinam_1F)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_A8_dinam_1F)<-cols
rownames(stats_A6_dinam_1F)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_A6_dinam_1F)<-cols
rownames(stats_S8_dinam_KF)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S8_dinam_KF)<-cols
rownames(stats_S6_dinam_KF)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S6_dinam_KF)<-cols
rownames(stats_A8_dinam_KF)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_A8_dinam_KF)<-cols
rownames(stats_S8_dinam_2F)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S8_dinam_2F)<-cols
rownames(stats_S6_dinam_2F)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S6_dinam_2F)<-cols
rownames(stats_A8_dinam_2F)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_A8_dinam_2F)<-cols
rownames(stats_A6_dinam_2F)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_A6_dinam_2F)<-cols
rownames(stats_S8_dinam_BF)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S8_dinam_BF)<-cols
rownames(stats_S6_dinam_BF)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S6_dinam_BF)<-cols
rownames(stats_A8_dinam_BF)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_A8_dinam_BF)<-cols

```

```

rownames(stats_S8_dinam_3F)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S8_dinam_3F)<-cols
rownames(stats_S6_dinam_3F)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_S6_dinam_3F)<-cols
rownames(stats_A8_dinam_3F)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_A8_dinam_3F)<-cols

print(stats_S8_dinam_total) # ispisivanje tablice
print(stats_S8_dinam_1F)
print(stats_S8_dinam_KF)
print(stats_S8_dinam_2F)
print(stats_S8_dinam_BF)
print(stats_S8_dinam_3F)
print(stats_S6_dinam_total)
print(stats_S6_dinam_1F)
print(stats_S6_dinam_KF)
print(stats_S6_dinam_2F)
print(stats_S6_dinam_BF)
print(stats_S6_dinam_3F)
print(stats_A8_dinam_total)
print(stats_A8_dinam_1F)
print(stats_A8_dinam_KF)
print(stats_A8_dinam_2F)
print(stats_A8_dinam_BF)
print(stats_A8_dinam_3F)
print(stats_A6_dinam_total)
print(stats_A6_dinam_1F)
print(stats_A6_dinam_2F)

#write.csv(file='stats s8 dinam_total.csv', stats_S8_dinam_total)
#write.csv(file='stats s8 dinam_1F.csv', stats_S8_dinam_1F)
#write.csv(file='stats s8 dinam_KF.csv', stats_S8_dinam_KF)
#write.csv(file='stats s8 dinam_2F.csv', stats_S8_dinam_2F)
#write.csv(file='stats s8 dinam_BF.csv', stats_S8_dinam_BF)
#write.csv(file='stats s8 dinam_3F.csv', stats_S8_dinam_3F)

#write.csv(file='stats s6 dinam_total.csv', stats_S6_dinam_total)
#write.csv(file='stats s6 dinam_1F.csv', stats_S6_dinam_1F)
#write.csv(file='stats s6 dinam_KF.csv', stats_S6_dinam_KF)
#write.csv(file='stats s6 dinam_2F.csv', stats_S6_dinam_2F)
#write.csv(file='stats s6 dinam_BF.csv', stats_S6_dinam_BF)
#write.csv(file='stats s6 dinam_3F.csv', stats_S6_dinam_3F)

#write.csv(file='stats A8 dinam_total.csv', stats_A8_dinam_total)
#write.csv(file='stats A8 dinam_1F.csv', stats_A8_dinam_1F)
#write.csv(file='stats A8 dinam_KF.csv', stats_A8_dinam_KF)
#write.csv(file='stats A8 dinam_2F.csv', stats_A8_dinam_2F)
#write.csv(file='stats A8 dinam_BF.csv', stats_A8_dinam_BF)
#write.csv(file='stats A8 dinam_3F.csv', stats_A8_dinam_3F)

```



```

#write.csv(file='stats A6 dinam_total.csv', stats_A6_dinam_total)
#write.csv(file='stats A6 dinam_1F.csv', stats_A6_dinam_1F)
#write.csv(file='stats A6 dinam_2F.csv', stats_A6_dinam_2F)

num_points_S8 <- nrow(pos_S8)
num_points_S6 <- nrow(pos_S6)
num_points_A8 <- nrow(pos_A8)
num_points_A6 <- nrow(pos_A6)
num_points_Garmin <- nrow(pos_Garmin)

library("geosphere")

for (i_S8 in 1:num_points_S8) {
  point_S8 <- c(pos_S8$lon[i_S8], pos_S8$lat[i_S8])
  point_Garmin <- c(pos_Garmin$lon[i_S8], pos_Garmin$lat[i_S8])

  deviation_S8 <- distHaversine(point_S8, point_Garmin)
  pos_S8$Deviation[i_S8] <- deviation_S8
}

for (i_S6 in 1:num_points_S6) {
  point_S6 <- c(pos_S6$lon[i_S6], pos_S6$lat[i_S6])
  point_Garmin <- c(pos_Garmin$lon[i_S6], pos_Garmin$lat[i_S6])

  deviation_S6 <- distHaversine(point_S6, point_Garmin)
  pos_S6$Deviation[i_S6] <- deviation_S6
}

for (i_A8 in 1:num_points_A8) {
  point_A8 <- c(pos_A8$lon[i_A8], pos_A8$lat[i_A8])
  point_Garmin <- c(pos_Garmin$lon[i_A8], pos_Garmin$lat[i_A8])

  deviation_A8 <- distHaversine(point_A8, point_Garmin)
  pos_A8$Deviation[i_A8] <- deviation_A8
}

for (i_A6 in 1:num_points_A6) {
  point_A6 <- c(pos_A6$lon[i_A6], pos_A6$lat[i_A6])
  point_Garmin_A6 <- c(pos_Garmin_A6$lon[i_A6], pos_Garmin_A6$lat[i_A6])

  deviation_A6 <- distHaversine(point_A6, point_Garmin_A6)
  pos_A6$Deviation[i_A6] <- deviation_A6
}

S8_total <- pos_S8[, c("GPST", "Deviation")]
S8_1F <- S8_total[1:110, ]
S8_KF <- S8_total[110:132, ]
S8_2F <- S8_total[132:311, ]

```

```

S8_BF <- S8_total[219:245, ]
S8_3F <- S8_total[346:417, ]
S6_total <- pos_S6[, c("GPST", "Deviation")]
S6_1F <- S6_total[1:110, ]
S6_KF <- S6_total[110:132, ]
S6_2F <- S6_total[132:311, ]
S6_BF <- S6_total[219:245, ]
S6_3F <- S6_total[346:417, ]
A8_total <- pos_A8[, c("GPST", "Deviation")]
A8_1F <- A8_total[1:110, ]
A8_KF <- A8_total[110:132, ]
A8_2F <- A8_total[132:311, ]
A8_BF <- A8_total[219:245, ]
A8_3F <- A8_total[346:417, ]
A6_total <- pos_A6[, c("GPST", "Deviation")]
A6_1F <- A6_total[1:64, ]
A6_2F <- A6_total[1, ]

```

```

summary_Dev_m_S8_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_S8$Deviation)))
summary_Dev_m_S8_1F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_1F$Deviation)))
summary_Dev_m_S8_KF<-as.data.frame(matrix(summary(S8_KF$Deviation)))
summary_Dev_m_S8_2F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_2F$Deviation)))
summary_Dev_m_S8_BF<-as.data.frame(matrix(summary(S8_BF$Deviation)))
summary_Dev_m_S8_3F<-as.data.frame(matrix(summary(S8_3F$Deviation)))
summary_Dev_m_S6_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_S6$Deviation)))
summary_Dev_m_S6_1F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_1F$Deviation)))
summary_Dev_m_S6_KF<-as.data.frame(matrix(summary(S6_KF$Deviation)))
summary_Dev_m_S6_2F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_2F$Deviation)))
summary_Dev_m_S6_BF<-as.data.frame(matrix(summary(S6_BF$Deviation)))
summary_Dev_m_S6_3F<-as.data.frame(matrix(summary(S6_3F$Deviation)))
summary_Dev_m_A8_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_A8$Deviation)))
summary_Dev_m_A8_1F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_1F$Deviation)))
summary_Dev_m_A8_KF<-as.data.frame(matrix(summary(A8_KF$Deviation)))
summary_Dev_m_A8_2F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_2F$Deviation)))
summary_Dev_m_A8_BF<-as.data.frame(matrix(summary(A8_BF$Deviation)))
summary_Dev_m_A8_3F<-as.data.frame(matrix(summary(A8_3F$Deviation)))
summary_Dev_m_A6_total<-as.data.frame(matrix(summary(pos_A6$Deviation)))
summary_Dev_m_A6_1F<-as.data.frame(matrix(summary(A6_1F$Deviation)))
summary_Dev_m_A6_2F<-as.data.frame(matrix(summary(A6_2F$Deviation)))

```

```

summary_Dev_m_S8_total<-rbind(summary_Dev_m_S8_total,sd(pos_S8$Deviation))
summary_Dev_m_S6_total<-rbind(summary_Dev_m_S6_total,sd(pos_S6$Deviation))
summary_Dev_m_A8_total<-rbind(summary_Dev_m_A8_total,sd(pos_A8$Deviation))
summary_Dev_m_A6_total<-rbind(summary_Dev_m_A6_total,sd(pos_A6$Deviation))
summary_Dev_m_S8_1F<-rbind(summary_Dev_m_S8_1F,sd(S8_1F$Deviation))
summary_Dev_m_S6_1F<-rbind(summary_Dev_m_S6_1F,sd(S6_1F$Deviation))
summary_Dev_m_A8_1F<-rbind(summary_Dev_m_A8_1F,sd(A8_1F$Deviation))
summary_Dev_m_A6_1F<-rbind(summary_Dev_m_A6_1F,sd(A6_1F$Deviation))
summary_Dev_m_S8_KF<-rbind(summary_Dev_m_S8_KF,sd(S8_KF$Deviation))
summary_Dev_m_S6_KF<-rbind(summary_Dev_m_S6_KF,sd(S6_KF$Deviation))

```

```
summary_Dev_m_A8_KF<-rbind(summary_Dev_m_A8_KF,sd(A8_KF$Deviation))
summary_Dev_m_S8_2F<-rbind(summary_Dev_m_S8_2F,sd(S8_2F$Deviation))
summary_Dev_m_S6_2F<-rbind(summary_Dev_m_S6_2F,sd(S6_2F$Deviation))
summary_Dev_m_A8_2F<-rbind(summary_Dev_m_A8_2F,sd(A8_2F$Deviation))
summary_Dev_m_A6_2F<-rbind(summary_Dev_m_A6_2F,sd(A6_2F$Deviation))
summary_Dev_m_S8_BF<-rbind(summary_Dev_m_S8_BF,sd(S8_BF$Deviation))
summary_Dev_m_S6_BF<-rbind(summary_Dev_m_S6_BF,sd(S6_BF$Deviation))
summary_Dev_m_A8_BF<-rbind(summary_Dev_m_A8_BF,sd(A8_BF$Deviation))
summary_Dev_m_S8_3F<-rbind(summary_Dev_m_S8_3F,sd(S8_3F$Deviation))
summary_Dev_m_S6_3F<-rbind(summary_Dev_m_S6_3F,sd(S6_3F$Deviation))
summary_Dev_m_A8_3F<-rbind(summary_Dev_m_A8_3F,sd(A8_3F$Deviation))
```

```
cols<-c('Dev')
```

```
rownames(summary_Dev_m_S8_total)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S8_total)<-cols
rownames(summary_Dev_m_S6_total)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S6_total)<-cols
rownames(summary_Dev_m_A8_total)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_A8_total)<-cols
rownames(summary_Dev_m_A6_total)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_A6_total)<-cols
rownames(summary_Dev_m_S8_1F)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S8_1F)<-cols
rownames(summary_Dev_m_S6_1F)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S6_1F)<-cols
rownames(summary_Dev_m_A8_1F)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_A8_1F)<-cols
rownames(summary_Dev_m_A6_1F)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_A6_1F)<-cols
rownames(summary_Dev_m_S8_KF)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S8_KF)<-cols
rownames(summary_Dev_m_S6_KF)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S6_KF)<-cols
rownames(summary_Dev_m_A8_KF)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_A8_KF)<-cols
rownames(summary_Dev_m_S8_2F)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S8_2F)<-cols
rownames(summary_Dev_m_S6_2F)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S6_2F)<-cols
rownames(summary_Dev_m_A8_2F)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_A8_2F)<-cols
rownames(summary_Dev_m_A6_2F)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_A6_2F)<-cols
rownames(summary_Dev_m_S8_BF)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S8_BF)<-cols
rownames(summary_Dev_m_S6_BF)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S6_BF)<-cols
rownames(summary_Dev_m_A8_BF)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_A8_BF)<-cols
```

```

rownames(summary_Dev_m_S8_3F)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S8_3F)<-cols
rownames(summary_Dev_m_S6_3F)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_S6_3F)<-cols
rownames(summary_Dev_m_A8_3F)<-c(rows, 'sd')
colnames(summary_Dev_m_A8_3F)<-cols

#write.csv(file='stats s8 dinam_Dev.csv', summary_Dev_m_S8_total)
#write.csv(file='stats s6 dinam_Dev.csv', summary_Dev_m_S6_total)
#write.csv(file='stats A8 dinam_Dev.csv', summary_Dev_m_A8_total)
#write.csv(file='stats A6 dinam_Dev.csv', summary_Dev_m_A6_total)
#write.csv(file='stats s8 dinam_Dev_1F.csv', summary_Dev_m_S8_1F)
#write.csv(file='stats s6 dinam_Dev_1F.csv', summary_Dev_m_S6_1F)
#write.csv(file='stats A8 dinam_Dev_1F.csv', summary_Dev_m_A8_1F)
#write.csv(file='stats A6 dinam_Dev_1F.csv', summary_Dev_m_A6_1F)
#write.csv(file='stats s8 dinam_Dev_KF.csv', summary_Dev_m_S8_KF)
#write.csv(file='stats s6 dinam_Dev_KF.csv', summary_Dev_m_S6_KF)
#write.csv(file='stats A8 dinam_Dev_KF.csv', summary_Dev_m_A8_KF)
#write.csv(file='stats A6 dinam_Dev_KF.csv', summary_Dev_m_A6_KF)
#write.csv(file='stats s8 dinam_Dev_2F.csv', summary_Dev_m_S8_2F)
#write.csv(file='stats s6 dinam_Dev_2F.csv', summary_Dev_m_S6_2F)
#write.csv(file='stats A8 dinam_Dev_2F.csv', summary_Dev_m_A8_2F)
#write.csv(file='stats A6 dinam_Dev_2F.csv', summary_Dev_m_A6_2F)
#write.csv(file='stats s8 dinam_Dev_BF.csv', summary_Dev_m_S8_BF)
#write.csv(file='stats s6 dinam_Dev_BF.csv', summary_Dev_m_S6_BF)
#write.csv(file='stats A8 dinam_Dev_BF.csv', summary_Dev_m_A8_BF)
#write.csv(file='stats A6 dinam_Dev_BF.csv', summary_Dev_m_A6_BF)
#write.csv(file='stats s8 dinam_Dev_3F.csv', summary_Dev_m_S8_3F)
#write.csv(file='stats s6 dinam_Dev_3F.csv', summary_Dev_m_S6_3F)
#write.csv(file='stats A8 dinam_Dev_3F.csv', summary_Dev_m_A8_3F)
#write.csv(file='stats A6 dinam_Dev_3F.csv', summary_Dev_m_A6_3F)

print(pos_S8$Deviation)

par(mar = c(4, 4, 3, 3))
plot(x = pos_S8$GPST, y = pos_S8$Deviation, col = 'orange', ylim=c(0, 60), type = 'l',
     main = 'Usporedba odstupanja mobitela od referentne rute, 09/05/2023', xlab = 'UTC
     Vrijeme (h)',
     ylab = 'Odstupanja (m)')
lines(x = pos_S6$GPST, y = pos_S6$Deviation, col = 'lightblue') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A8$GPST, y = pos_A8$Deviation, col = 'brown') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A6$GPST, y = pos_A6$Deviation, col = 'green') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilogs = TRUE)

legend("topright", legend=c("S8", "S6", "A8", "A6"),
      col=c("orange", "lightblue", "brown", "green"), lty=c(1,1), cex=1)

```

```
start_time <- as.POSIXct("2023-05-09 08:26:00")
end_time <- as.POSIXct("2023-05-09 09:04:00")
```

```
plot(x = pos_S8$GPST, y = pos_S8$Deviation, col = 'orange', ylim=c(0, 15),
     xlim=c(start_time, end_time), type = 'l',
     main = 'Usporedba odstupanja mobitela od referentne rute, 1. faza, 09/05/2023', xlab =
'UTC Vrijeme (h)',
     ylab = 'Odstupanja (m)')
xlim=c(start_time, end_time)
lines(x = pos_S6$GPST, y = pos_S6$Deviation, col = 'lightblue') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A8$GPST, y = pos_A8$Deviation, col = 'brown') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A6$GPST, y = pos_A6$Deviation, col = 'green') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilog = TRUE)

legend("topleft", legend=c( "S8", "S6", "A8", "A6"),
      col=c("orange", "lightblue", "brown", "green"), lty=c(1,1), cex=1)
```

```
start_time <- as.POSIXct("2023-05-09 09:05:00")
end_time <- as.POSIXct("2023-05-09 09:15:00")
```

```
plot(x = pos_S8$GPST, y = pos_S8$Deviation, col = 'orange', ylim=c(0, 55),
     xlim=c(start_time, end_time), type = 'l',
     main = 'Usporedba odstupanja mobitela od referentne rute, Kraljevica, 09/05/2023', xlab =
'UTC Vrijeme (h)',
     ylab = 'Odstupanja (m)')
xlim=c(start_time, end_time)
lines(x = pos_S6$GPST, y = pos_S6$Deviation, col = 'lightblue') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A8$GPST, y = pos_A8$Deviation, col = 'brown') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilog = TRUE)

legend("topright", legend=c( "S8", "S6", "A8", "A6"),
      col=c("orange", "lightblue", "brown", "green"), lty=c(1,1), cex=1)
```

```
start_time <- as.POSIXct("2023-05-09 09:15:00")
end_time <- as.POSIXct("2023-05-09 10:26:00")
```

```
plot(x = pos_S8$GPST, y = pos_S8$Deviation, col = 'orange', ylim=c(0, 45),
     xlim=c(start_time, end_time), type = 'l',
     main = 'Usporedba odstupanja mobitela od referentne rute, 2. faza, 09/05/2023', xlab =
'UTC Vrijeme (h)',
     ylab = 'Odstupanja (m)')
xlim=c(start_time, end_time)
lines(x = pos_S6$GPST, y = pos_S6$Deviation, col = 'lightblue') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
```

```
lines(x = pos_A8$GPST, y = pos_A8$Deviation, col = 'brown') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilog = TRUE)
```

```
legend("topright", legend=c("S8", "S6", "A8"),
      col=c("orange", "lightblue", "brown"), lty=c(1,1), cex=1)
```

```
start_time <- as.POSIXct("2023-05-09 09:48:00")
end_time <- as.POSIXct("2023-05-09 10:00:00")
```

```
plot(x = pos_S8$GPST, y = pos_S8$Deviation, col = 'orange', ylim=c(0, 45),
     xlim=c(start_time, end_time), type = 'l',
     main = 'Usporedba odstupanja mobitela od referentne rute, grad Bakar, 09/05/2023', xlab
= 'UTC Vrijeme (h)',
```

```
      ylab = 'Odstupanja (m)')
```

```
xlim=c(start_time, end_time)
```

```
lines(x = pos_S6$GPST, y = pos_S6$Deviation, col = 'lightblue') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
```

```
lines(x = pos_A8$GPST, y = pos_A8$Deviation, col = 'brown') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
```

```
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilog = TRUE)
```

```
legend("topright", legend=c("S8", "S6", "A8"),
      col=c("orange", "lightblue", "brown"), lty=c(1,1), cex=1)
```

```
start_time <- as.POSIXct("2023-05-09 10:39:00")
end_time <- as.POSIXct("2023-05-09 11:02:30")
```

```
plot(x = pos_S8$GPST, y = pos_S8$Deviation, col = 'orange', ylim=c(0, 12),
     xlim=c(start_time, end_time), type = 'l',
```

```
      main = 'Usporedba odstupanja mobitela od referentne rute, 3. faza, 09/05/2023', xlab =
'UTC Vrijeme (h)',
```

```
      ylab = 'Odstupanja (m)')
```

```
xlim=c(start_time, end_time)
```

```
lines(x = pos_S6$GPST, y = pos_S6$Deviation, col = 'lightblue') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
```

```
lines(x = pos_A8$GPST, y = pos_A8$Deviation, col = 'brown') # dodavanje nove varijable
na postojeći graf | Add another line
```

```
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilog = TRUE)
```

```
legend("topright", legend=c("S8", "S6", "A8"),
      col=c("orange", "lightblue", "brown"), lty=c(1,1), cex=1)
```

```
pos_S8$GPST<-as.POSIXct(pos_S8$GPST)
```

```
pos_S6$GPST<-as.POSIXct(pos_S6$GPST)
```

```
pos_A8$GPST<-as.POSIXct(pos_A8$GPST)
```

```
pos_A6$GPST<-as.POSIXct(pos_A6$GPST)
```

```
pos_Garmin$GPST<-as.POSIXct(pos_Garmin$GPST)
```

```
plot(x = pos_Garmin$GPST, y = pos_Garmin$lat, ylim = c(45.27, 45.31), col="blue", type
='l',
```

```

main = 'Usporedba odstupanja mobitela po geo. širini, 09/05/2023', xlab = 'UTC Vrijeme
(h)',
  ylab = 'Odstupanja (geo. širina)')
lines(x = pos_S8$GPST, y = pos_S8$lat, col = 'orange')
lines(x = pos_S6$GPST, y = pos_S6$lat, col = 'lightblue') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A8$GPST, y = pos_A8$lat, col = 'brown') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A6$GPST, y = pos_A6$lat, col = 'green') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilog = TRUE)

legend("topright", legend=c("Reference", "S8", "S6", "A8", "A6"),
  col=c("blue", "orange", "lightblue", "brown", "green"), lty=c(1,1), cex=1)

par(mar = c(4, 4, 3, 3))
plot(x = pos_Garmin$GPST, y = pos_Garmin$lon, ylim = c(14.495, 14.58), col="blue", type
='l',
  main = 'Usporedba odstupanja mobitela po geo. duljini, 09/05/2023', xlab = 'UTC
Vrijeme (h)',
  ylab = 'Odstupanja (geo. duljina)')
lines(x = pos_S8$GPST, y = pos_S8$lon, col = 'orange')
lines(x = pos_S6$GPST, y = pos_S6$lon, col = 'lightblue') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A8$GPST, y = pos_A8$lon, col = 'brown') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A6$GPST, y = pos_A6$lon, col = 'green') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilog = TRUE)

legend("topright", legend=c("Reference", "S8", "S6", "A8", "A6"),
  col=c("blue", "orange", "lightblue", "brown", "green"), lty=c(1,1), cex=1)

par(mar = c(4, 4, 3, 3))
plot(x = pos_Garmin$GPST, y = pos_Garmin$H, ylim = c(-13, 62), col="blue", type = 'l',
  main = 'Usporedba odstupanja mobitela po nadmorskoj visini, 09/05/2023', xlab = 'UTC
Vrijeme (h)',
  ylab = 'Odstupanja (m)')
lines(x = pos_S8$GPST, y = pos_S8$H, col = 'orange')
lines(x = pos_S6$GPST, y = pos_S6$H, col = 'lightblue') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A8$GPST, y = pos_A8$H, col = 'brown') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
lines(x = pos_A6$GPST, y = pos_A6$H, col = 'green') # dodavanje nove varijable na
postojeći graf | Add another line
grid(nx = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted", lwd = par("lwd"), equilog = TRUE)

legend("bottomright", legend=c("Reference", "S8", "S6", "A8", "A6"),
  col=c("blue", "orange", "lightblue", "brown", "green"), lty=c(1,1), cex=1)

```