

Parcijalna komparativna analiza utjecaja svemirskog vremena na određivanje položaja sustavom GPS u području ekvatorijalnih širina

Buovac, Nikola

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:187:631590>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-13**



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**

NIKOLA BUOVAC

**PARCIJALNA KOMPARATIVNA ANALIZA UTJECAJA
SVEMIRSKOG VREMENA NA ODREĐIVANJE POLOŽAJA
SUSTAVOM GPS U PODRUČJU EKVATORIJALNIH ŠIRINA**

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2023.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

**PARCIJALNA KOMPARATIVNA ANALIZA UTJECAJA
SVEMIRSKOG VREMENA NA ODREĐIVANJE POLOŽAJA
SUSTAVOM GPS U PODRUČJU EKVATORIJALNIH ŠIRINA**

**PARTIAL COMPARATIVE ANALYSIS OF SPACE WEATHER
EFFECTS ON GPS POSITIONING IN EQUATORIAL AREAS**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Primijenjena satelitska navigacija

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

Komentor: prof. emer. Serđo Kos

Student: Nikola Buovac

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112072171

Rijeka, rujan 2023.

Student: Nikola Buovac

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

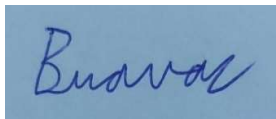
JMBAG: 0112072171

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom PARCIJALNA KOMPARATIVNA ANALIZA UTJECAJA SVEMIRSKOG VREMENA NA ODREĐIVANJE POLOŽAJA SUSTAVOM GPS U PODRUČJU EKVATORIJALNIH ŠIRINA izradio/la samostalno pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Davida Brčića, te komentorstvom prof. emer. Serđa Kosa.

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

Student



Nikola Buovac

Student/studentica: Nikola Buovac

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

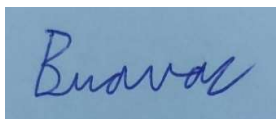
JMBAG: 0112072171

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 – autor



(potpis)

SAŽETAK

Svemirsko vrijeme veoma je promjenjivo i značajno ovisi o Sunčevoj aktivnosti. Promjene uvjeta svemirskog vremena uzrokuju promjene u okolišu Sunce – Zemlja, posebice u ionosferi. Ionosfera je najvažniji medij kroz koji prolazi satelitski signal s obzirom na točnost određivanja položaja GPS sustavom. Koncentracija slobodnih elektrona u ionosferi uzrokuje pogrešku u točnosti određivanja položaja GPS sustavom koja se naziva ionosfersko kašnjenje i ujedno je najznačajnija samostalna pogreška točnosti određivanja položaja GPS sustavom. U ovom diplomskom radu provedeno je istraživanje na temelju kojeg je analiziran utjecaj svemirskog vremena na točnost određivanja položaja GPS sustavom u ekvatorijalnom području. Istraživanje je provedeno u dva vremenska razdoblja, od kojih je jedno razdoblje mirnih uvjeta svemirskog vremena, a drugo razdoblje narušenih uvjeta svemirskog vremena. Geografsko područje istraživanja je područje triju IGS stanica od kojih su dvije smještene u Francuskoj Gvajani, a jedna u Brazilu. Na temelju položajnih zapisa IGS stanica proračunata su odstupanja položaja u oba razdoblja, napravljena je statistička analiza odstupanja položaja i uspoređene su vrijednosti. Također, položaj je, osim SPP – om, određen i DGPS – om kako bi se mogao usporediti utjecaj svemirskog vremena na točnost određivanja položaja s obzirom na SPP i DGPS način određivanja položaja. Za ispravak ionosferskog kašnjenja korišten je Klobucharov model te je analizirana njegova učinkovitost. Vremenska razdoblja istraživanja opisana su pomoću pokazatelja stanja svemirskog vremena nad kojima je također napravljena statistička analiza. Provedenim istraživanjem ustanovljeno je da svemirsko vrijeme ima značajan utjecaj na točnost određivanja položaja te da su odstupanja položaja manja za vrijeme mirnih uvjeta svemirskog vremena. Također je ustanovljeno da svemirsko vrijeme značajno više utječe na SPP način određivanja položaja, nego na DGPS te da se upotrebom Klobucharovog modela smanjuje utjecaj ionosferskog kašnjenja što za posljedicu ima poboljšanje točnosti određivanja položaja GPS sustavom.

Ključne riječi: globalni sustav za određivanje položaja, ionosfersko kašnjenje, satelitska navigacija, statistička analiza, svemirsko vrijeme, ukupni sadržaj elektrona.

SUMMARY

Space weather is highly variable and significantly depends on the activity of the Sun. Changes in space weather conditions cause changes in the Sun – Earth environment, especially in the ionosphere. The ionosphere is the most important medium through which the satellite signal passes regarding to the positioning accuracy using the GPS system. The concentration of free electrons in the ionosphere causes positioning error, which is called ionospheric delay and is also the most significant independent positioning error. In this thesis research was made based on the space weather effects on GPS positioning in equatorial areas was analysed. The research refers to two time periods, one of which is a period of calm space weather conditions, and the other a period of disturbed space weather conditions. The geographical area of the research is the area of three IGS stations, two of which are located in French Guiana, and one in Brazil. Based on the position records of the IGS stations, the position deviations in both periods were calculated, a statistical analysis of the position deviations was made, and the values were compared. Except SPP method, the position was also determined by DGPS in order to be able to compare the effects of space weather on the position accuracy with regard to SPP and DGPS position determination methods. The Klobuchar model was used to correct the ionospheric delay and its effectiveness was analysed. The time periods of the research were described using space weather parameters, which were also analysed statistically. In this thesis it was established that space weather has a significant influence on position accuracy and that position deviations are smaller during calm space weather conditions. It was also established that space weather has a significantly greater influence on position accuracy when the position is determined by SPP than when determined by DGPS and that the use of the Klobuchar model reduces the influence of the ionospheric delay, which results in an improvement in the accuracy of GPS positioning.

Key words: global positioning system, ionospheric delay, satellite navigation, statistical analysis, space weather, total electron content.

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	II
SADRŽAJ	III
1. UVOD	1
1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA	1
1.2. RADNE HIPOTEZE	2
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA	2
1.4. ZNANSTVENE METODE	3
1.5. STRUKTURA RADA	3
2. GLOBALNI SUSTAV ZA ODREĐIVANJE POLOŽAJA (GPS)	5
2.1. ARHITEKTURA GPS – A	5
2.1.1. Prostorni segment.....	5
2.1.2. Kontrolni segment.....	6
2.1.3. Korisnički segment	7
2.2. PRINCIP SATELITSKOG ODREĐIVANJA POLOŽAJA	8
2.3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE GPS SIGNALA	10
2.4. POGREŠKE U ODREĐIVANJU POLOŽAJA GPS SUSTAVOM	12
2.4.1. Korisnička razdioba pogreške.....	12
2.4.2. Geometrijska razdioba točnosti.....	13
2.5. DIFERENCIJSKA USLUGA SUSTAVA GPS	16
3. SVEMIRSKO VRIJEME	20
3.1. POJAVE SVEMIRSKOG VREMENA	20
3.1.1. Sunčev vjetar.....	20
3.1.2. Sunčeve pjege i solarni ciklus.....	20
3.1.3. Sunčeve baklje	21
3.1.4. Koronarni izbačaji mase.....	21
3.1.5. Geomagnetske oluje.....	22
3.2. VAŽNE ZNAČAJKE OKOLIŠA SUNCE – ZEMLJA	22

3.2.1.	Međuplanetarno magnetsko polje	23
3.2.2.	Zemljino magnetsko polje i magnetosfera	24
3.2.3.	Ionosfera	26
3.2.3.1.	Proces stvaranja ionosfere.....	27
3.2.3.2.	Slojevi ionosfere	28
3.2.3.3.	Ionosfera niskih geografskih širina	29
3.2.3.4.	Ukupni sadržaj elektrona i njegov utjecaj na kašnjenje GPS signala.....	30
3.2.3.5.	Klobucharov model ispravka ionosferskog kašnjenja.....	31
3.3.	POKAZATELJI STANJA SVEMIRSKOG VREMENA.....	32
3.3.1.	Pokazatelji Sunčeve aktivnosti.....	32
3.3.2.	Pokazatelji geomagnetske aktivnosti	34
3.3.3.	Ionosferski pokazatelji	34
3.4.	DEFINICIJA MIRNIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA.....	35
4.	<i>ISTRAŽIVANJE</i>.....	36
4.1.	GEOGRAFSKO PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	36
4.2.	VREMENSKO RAZDOBLJE ISTRAŽIVANJA.....	37
4.3.	PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA ZA ISTRAŽIVANJE	38
4.3.1.	Prikupljanje potrebnih podataka za istraživanje.....	38
4.3.1.1.	Podaci o položajnim zapisima.....	38
4.3.1.2.	Podaci o pokazateljima stanja svemirskog vremena	39
4.3.2.	Obrada podataka za istraživanje.....	40
4.3.2.1.	Početna faza obrade podataka	40
4.3.2.2.	Proračun odstupanja položaja.....	41
4.3.2.3.	Statistička obrada podataka.....	44
5.	<i>REZULTATI ISTRAŽIVANJA TE NJIHOVA ANALIZA</i>.....	47
5.1.	OPIS RAZDOBLJA MIRNIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA.....	47
5.2.	OPIS RAZDOBLJA NARUŠENIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA.....	51
5.3.	ANALIZA Odstupanja položaja u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena.....	54
5.4.	ANALIZA Odstupanja položaja u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena	59
5.5.	USPOREDBA TOČNOSTI ODREĐIVANJA POLOŽAJA TIJEKOM MIRNIH I NARUŠENIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA	63

5.6. ANALIZA UTJECAJA SVEMIRSKOG VREMENA NA TOČNOST ODREĐIVANJA POLOŽAJA DGPS – OM.....	70
5.7. ANALIZA UČINKOVITOSTI KLOBUCHAROVOG MODELA ISPRAVKA IONOSFERSKOG KAŠNJENJA NA TOČNOST ODREĐIVANJA POLOŽAJA GPS SUSTAVOM.....	72
6. ZAKLJUČAK.....	76
LITERATURA.....	77
POPIS SLIKA.....	84
POPIS TABLICA	87
PRILOG 1: TABLIČNI I KORELACIJSKI PRIKAZI REZULTATA ISTRAŽIVANJA – RAZDOBLJE MIRNIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA.....	89
PRILOG 2: TABLIČNI I KORELACIJSKI PRIKAZI REZULTATA ISTRAŽIVANJA – RAZDOBLJE NARUŠENIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA.....	96
PRILOG 3: PROGRAMSKI KOD PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA ZA STANICU KOUG I RAZDOBLJE NARUŠENIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA.....	103

1. UVOD

Satelitsko određivanje položaja zasniva se na mjerenju vremena koje je potrebno satelitskom signalu da od odašiljačke antene stigne do prijamne antene. Brzina satelitskog signala u zrakopraznom prostoru je konstantna i jednaka je brzini svjetlosti. Budući da prostor između satelitske i prijamne antene nije zrakoprazan, dolazi do pogreške u mjerenju koja se očituje i na pogrešku u točnosti određivanja položaja. Najznačajnija pogreška u točnosti određivanja položaja Globalnim sustavom za određivanje položaja (engl. *Global Positioning System – GPS*) je ionosfersko kašnjenje. Ionosfersko kašnjenje javlja se zbog koncentracije slobodnih elektrona u ionosferi. Svemirsko vrijeme ima značajan utjecaj na broj slobodnih elektrona u ionosferi, a samim time i na točnost određivanja položaja. U razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena, kada je Sunčeva aktivnost povećana, dolazi do povećanja broja slobodnih elektrona u ionosferi. Svemirsko vrijeme opisuje se pokazateljima stanja svemirskog vremena i na temelju njihovih vrijednosti određuju se uvjeti svemirskog vremena u određenom razdoblju. U ovom radu analiziran je utjecaj svemirskog vremena na točnost određivanja položaja GPS sustavom u ekvatorijalnom području. Za potrebe ovog rada odabrana su dva vremenska razdoblja, jedno mirnih uvjeta svemirskog vremena i jedno narušenih uvjeta svemirskog vremena. Također, odabrane su tri IGS (engl. *International GNSS Service*) stanice u ekvatorijalnom području na temelju čijih će se položajnih zapisa analizirati odstupanja u spomenutim razdobljima svemirskog vremena. Također, razmotrit će se utjecaj svemirskog vremena na točnost određivanja položaja s obzirom na način određivanja položaja te će se analizirati uspješnost korekcijskog modela ionosferskog kašnjenja kojeg koristi GPS sustav.

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

Glavni problem diplomskog rada je utjecaj svemirskog vremena na točnost određivanja položaja GPS sustavom u ekvatorijalnom području te usporedba točnosti određivanja položaja tijekom mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena. Sporedni problemi su usporedba utjecaja svemirskog vremena na točnost određivanja položaja s obzirom na određivanje položaja SPP – om (engl. *Single Point Positioning*) i diferencijskom uslugom GPS sustava (engl. *Differential Global Positioning System - DGPS*) te učinkovitost Klobucharovog modela ispravka ionosferskog kašnjenja na točnost određivanja položaja GPS sustavom.

Sukladno problemu istraživanja, glavni predmet istraživanja je statistička analiza odstupanja položaja tijekom mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena te statistička analiza pokazatelja stanja svemirskog vremena i usporedba dobivenih statističkih pokazatelja između odstupanja u mirnim i narušenim uvjetima svemirskog vremena. Sporedni predmeti istraživanja

su statistička analiza utjecaja svemirskog vremena na točnost određivanja položaja s obzirom na način određivanja položaja (SPP i DGPS) te statistička analiza razlike odstupanja položaja između odstupanja dobivenih s isključenim i uključenim Klobucharovim modelom ispravka ionosferskog kašnjenja.

Objekti istraživanja su odstupanja položaja triju IGS stanica u ekvatorijalnom području te pokazatelji svemirskog vremena u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena.

1.2. RADNE HIPOTEZE

Glavne radne hipoteze koje su postavljene s obzirom na problem, predmet i objekte istraživanja su sljedeće:

- 1) svemirsko vrijeme utječe na točnost određivanja položaja GPS sustavom i
- 2) odstupanja položaja u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena veća su nego u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena.

Također, postavljene su i dvije sporedne hipoteze, a one glase:

- 3) svemirsko vrijeme ima veći utjecaj na točnost određivanja položaja kada se položaj određuje SPP – om, nego kada se određuje DGPS – om i
- 4) uporabom Klobucharovog modela ispravka ionosferskog kašnjenja poboljšava se točnost određivanja položaja GPS sustavom.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je provedeno s ciljem da se dokaže ovisnost točnosti određivanja položaja GPS sustavom u ekvatorijalnom području o stanju svemirskog vremena.

Kako bi se ostvarili ciljevi istraživanja, u radu je odgovoreno na mnoštvo pitanja, a neka od najznačajnijih su sljedeća:

- Je li razdoblje između 28. i 30.12.2019. bilo razdoblje mirnih uvjeta svemirskog vremena?
- Je li razdoblje između 17. i 19.03.2015. bilo razdoblje narušenih uvjeta svemirskog vremena?
- Kolika odstupanja položaja su zabilježena za IGS stanice KOUR, KOUG i BOAV u spomenutim razdobljima?
- Ovisi li točnost određivanja položaja o stanju svemirskog vremena i kako?

- Je li utjecaj svemirskog vremena na točnost određivanja položaja jednak prilikom SPP i DGPS načina određivanja položaja?
- Do koje se mjere može smanjiti utjecaj ionosferskog kašnjenja na točnost određivanja položaja korištenjem Klobucharovog modela ispravka ionosferskog kašnjenja?
- Na koji način promjene svemirskog vremena utječu na ionosferu te kako dinamika ionosfere utječe na točnost određivanja položaja GPS sustavom?

1.4. ZNANSTVENE METODE

Tijekom pisanja ovog diplomskog rada korištene su razne znanstvene metode. U teorijskim poglavljima rada (Globalni sustav za određivanje položaja (GPS) i Svemirsko vrijeme) korištene su sljedeće metode: metoda analize i sinteze, metoda apstrakcije i konkretizacije, induktivna i deduktivna metoda, metoda deskripcije, metoda klasifikacije, metoda generalizacije i specijalizacije te metoda kompilacije. U četvrtom poglavlju rada, koje se odnosi na istraživanje, korištene su metoda deskripcije, metoda klasifikacije te matematičke metode. Najviše korištene metode u petom poglavlju, u kojem se analiziraju rezultati istraživanja, su statistička metoda i metoda komparacije. Također korištene su i metode analize i sinteze, metoda apstrakcije te metoda konkretizacije.

1.5. STRUKTURA RADA

U uvodu rada predstavljen je problem, predmet i objekti istraživanja, postavljene su hipoteze rada i navedeni su ciljevi radi kojih se provodi istraživanje. Spomenute su korištene znanstvene metode i opisana je struktura rada.

U drugom poglavlju opisan je globalni sustav za određivanje položaja. Opisana je arhitektura sustava, odnosno pojedini segmenti od kojih se sastoji. Objašnjen je princip satelitskog položaja te osnovne karakteristike GPS signala. Opisane su pogreške u određivanju položaja GPS sustavom koje se mogu podijeliti na korisničku razdiobu pogreške i geometrijsku razdiobu točnosti. Također, u zadnjem potpoglavlju ovog poglavlja objašnjen je princip određivanja položaja diferencijskim GPS – om.

U trećem poglavlju rada, čiji je naslov Svemirsko vrijeme, dana je definicija svemirskog vremena i opisane su pojave svemirskog vremena. Također, opisane su važne značajke okoliša Sunce – Zemlja pod koje spadaju međuplanetarno magnetsko polje, Zemljino magnetsko polje i magnetosfera te ionosfera. Objašnjeni su i pokazatelji svemirskog vremena koji su korišteni tijekom istraživanja te su definirani mirni uvjeti svemirskog vremena.

U četvrtom poglavlju rada, naslova Istraživanje, opisano je geografsko područje istraživanja i definirana su promatrana razdoblja istraživanja. Opisan je tijek istraživanja rada, koji podrazumijeva prikupljanje potrebnih podataka, proračun odstupanja položaja, statističku obradu podataka i kreiranje rezultata istraživanja.

U petom poglavlju izneseni su rezultati istraživanja i napravljena je njihova analiza. Peto poglavlje se sastoji od opisa razdoblja mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena, analize odstupanja položaja u mirnim i narušenim uvjetima svemirskog vremena te njihove usporedbe, analize utjecaja svemirskog vremena na točnost određivanja položaja s obzirom na način određivanja položaja (SPP i DGPS) te analize učinkovitosti Klobucharovog modela ispravka ionosferskog kašnjenja na točnost određivanja položaja GPS sustavom.

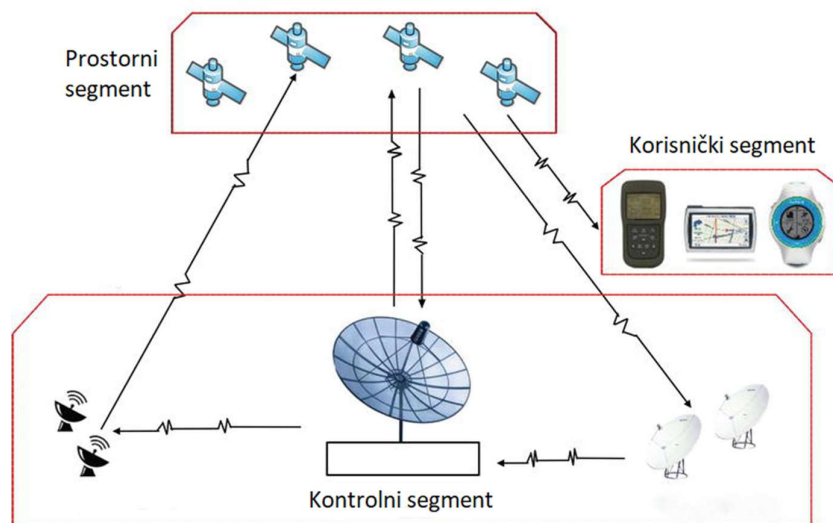
U posljednjem poglavlju izneseni su zaključci koji se temelje na analizi rezultata istraživanja i teorijskoj podlozi vezanoj za temu ovog diplomskog rada.

2. GLOBALNI SUSTAV ZA ODREĐIVANJE POLOŽAJA (GPS)

Globalni sustav za određivanje položaja, izvorno Navstar GPS (engl. *Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System*) je satelitski navigacijski sustav u vlasništvu Vlade Sjedinjenih Američkih Država te pod upravljanjem Svemirskih snaga Sjedinjenih Američkih Država [1]. GPS je dio Globalnog navigacijskog satelitskog sustava (engl. *Global Navigation Satellite System – GNSS*) u koji još spadaju kineski BeiDou, europski Galileo, ruski GLONASS (ru. *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), indijski IRNSS (eng. *Indian Regional Navigation Satellite System*) i japanski QZSS (eng. *Quasi – Zenith Satellite System*) satelitski sustavi [2]. Uloga GPS – a jest da bilo gdje na Zemljinj površini (i u njezinoj blizini) korisniku pruži informaciju o položaju, brzini i smjeru kretanja te vremenu [1].

2.1. ARHITEKTURA GPS – A

GPS sustav sastoji se od triju segmenata. To su prostorni segment (engl. *Space Segment – SS*), kontrolni segment (engl. *Control Segment – CS*) i korisnički segment (engl. *User Segment – US*) [1, 3]. Osim navedenih segmenata, u obzir treba uzeti i prijenosni medij, odnosno prostor između satelitske antene i antene korisnika jer njegove karakteristike uvelike utječu na satelitske signale [4]. Svaki od pojedinih segmenata opisan je u sljedećim podnaslovima.

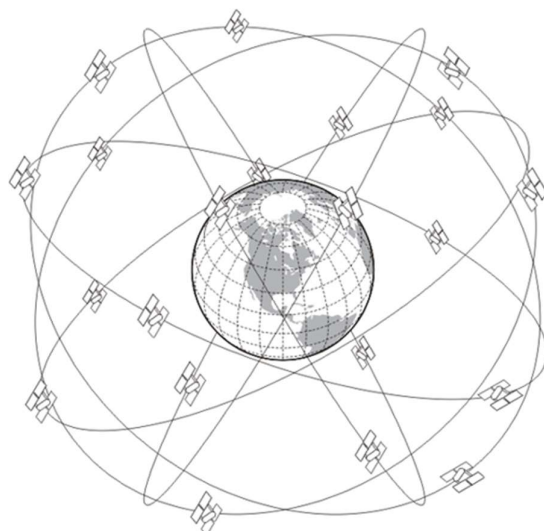


Slika 1: Segmenti GPS sustava [5]

2.1.1. Prostorni segment

Prostorni segment čine sateliti koji se gibaju u određenim orbitama oko Zemlje (Slika 2). Nazivna konstelacija sastoji se od 24 satelita, no oko Zemlje se trenutno (2023.) giba 31 operativan GPS satelit [1, 6]. Sateliti su raspoređeni u 6 orbitalnih ravnina kojima je središte u središtu Zemlje [1]. U svakoj ravnini nalaze se najmanje četiri satelita [1]. Vrijeme potrebno da

GPS satelit okruži Zemlju iznosi polovicu sideričkog dana Zemlje, odnosno 11 sati i 58 minuta, a kreće se brzinom od 3,87 km/s [1, 7]. Siderički dan Zemlje je vrijeme potrebno da Zemlja napravi puni okret oko svoje osi u odnosu na položaj Sunca i iznosi 23 sata 56 minuta i 4,09 sekundi [8]. Orbite su gotovo kružnog oblika i udaljene su jedna od druge za 60°, a inklinacija orbite u odnosu na ravninu ekvatora iznosi 55° [1]. Radijus orbite (udaljenost između satelita i središta Zemlje) u prosjeku iznosi 26600 km što znači da se GPS sateliti kreću u srednjim Zemljinim orbitama (engl. *Medium Earth Orbit – MEO*) [1, 4]. Geometrija konstelacije osmišljena je na način da korisnik u svakom trenutku, bilo gdje na Zemljinoj površini, može dobiti svoju poziciju koristeći minimalno četiri satelita [3].

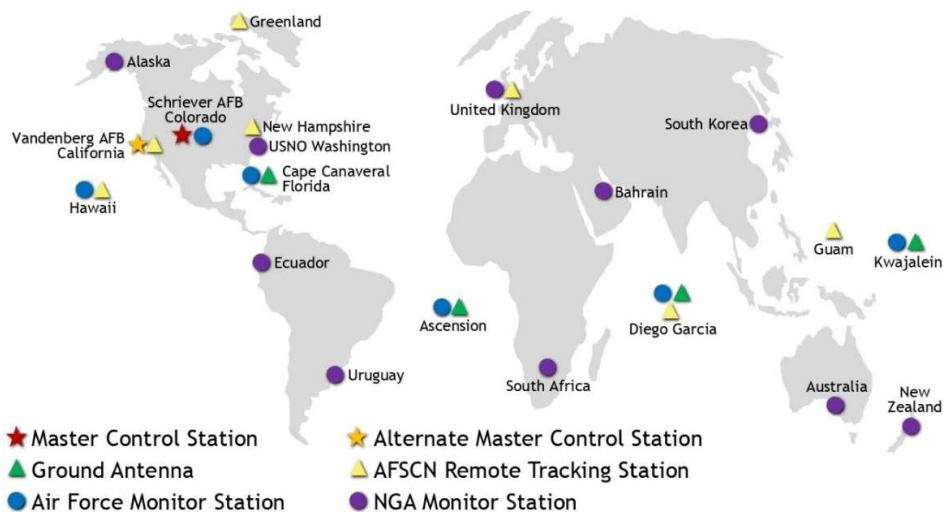


Slika 2: GPS konstelacija [9]

2.1.2. Kontrolni segment

Kontrolni segment GPS sustava sastoji se od glavne kontrolne stanice (engl. *Master Control Station*), zamjenske kontrolne stanice (engl. *Alternate Master Control Station*), 16 nadzornih stanica (engl. *Monitoring Stations*) i 11 Zemaljskih nadzornih antena (engl. *Ground Antennas*) [10]. Geografski položaj komponenata kontrolnog segmenta prikazan je na Slici 3. Glavna kontrolna stanica služi za upravljanje i kontrolu GPS konstelacijom, izračunavanje točnog položaja satelita, odašiljanje navigacijskih poruka satelitima, održavanje i repozicioniranje satelita te prati satelitsko emitiranje i integritet sustava kako bi se osigurao ispravan rad konstelacije [10]. Nadzorne stanice provjeravaju točnu visinu, položaj, brzinu te sveukupno ponašanje satelita u orbiti [11]. Kontrolni segment koristi mjerenja prikupljena od strane nadzornih stanica kako bi predvidio kretanje satelita u orbiti te ispravnost satelitskih satova [11]. Predviđeni podaci upućuju se satelitima, a zatim ih sateliti odašilju korisnicima

[11]. Kontrolni segment osigurava da orbite i satovi GPS satelita ostanu u prihvatljivim granicama točnosti [11]. Nadzorna stanica može pratiti maksimalno 11 satelita u istom vremenu te svaka nadzorna stanica obavlja praćenje satelita dva puta dnevno [11]. Zemaljske nadzorne antene također služe za praćenje i nadzor satelita te prenose informacije o korekciji pojedinačnim satelitima [11].



Slika 3: Kontrolni segment GPS sustava [10]

2.1.3. Korisnički segment

Korisnički segment GPS sustava sastoji se od pet osnovnih komponenta, to su antena, prijamnik, procesor, zaslon i izvor napajanja [1]. Korisnički segment prvenstveno služi za obradu primljenih satelitskih signala kako bi se odredila pozicija, brzina i vrijeme korisnika [1]. Za prijem satelitskih signala služi antena koja ima gotovo hemisferičku pokrivenost, točnije 160° pri kutu maskiranja od 15° [1]. Postoje dva osnovna tipa prijarnika: (1) prijarnici koji primaju L1 C/A satelitske signale te L1 i L2 P(Y) signale i (2) prijarnici koji primaju samo C/A signale [1]. Prijarnici drugog tipa dostupni su svima te pružaju standardne usluge pozicioniranja (engl. *Standard Positioning Service – SPS*), dok su prijarnici prvog tipa namijenjeni vladi i određenim institucijama te pružaju precizne usluge pozicioniranja (engl. *Precise Positioning Service – PPS*) [1, 12]. Osim dva osnovna tipa prijarnika, postoje i druge varijacije kao što je civilni polukodirani prijarnik koji prima L1 C/A signale te fazu vala nosioca na L1 i L2 frekvenciji [1]. Ovaj prijarnik koristi tehnike obrade signala koje ne zahtijevaju kriptografski pristup P(Y) kodu te omogućuje točnost mjerenja na razini centimetra, pa čak i milimetra [1].

2.2. PRINCIP SATELITSKOG ODREĐIVANJA POLOŽAJA

Satelitsko određivanje položaja zasniva se na mjerenju vremena koje je potrebno satelitskom signalu da od odašiljačke antene stigne do prijamne antene [1, 3]. Satelitski signali odašilju se u pravilnim vremenskim razmacima [1, 4]. Prijamnik obrađuje primljeni signal te identificira satelit koji ga je odaslao, njegov položaj, vrijeme odašiljanja signala te vrijeme prijema signala [3]. Kako bi se odredila udaljenost između satelita i korisnika, osim izmjerenog vremena putovanja satelitskog signala, potrebno je znati i brzinu širenja satelitskih signala. GPS signali putuju brzinom od $2,99792458 \cdot 10^8$ m/s, odnosno brzinom kojom elektromagnetski valovi putuju u zrakopraznom prostoru [1, 13]. Formula za izračun udaljenosti između satelita i korisnika je sljedeća:

$$r = \Delta t \cdot c, \quad (1)$$

gdje su:

r – udaljenost između odašiljačke i prijamne antene

Δt – vrijeme potrebno da signal stigne od odašiljačke do prijamne antene

c – brzina širenja satelitskih signala [4].

Kako bi se dobio položaj i vrijeme korisnika u referentnom koordinatnom sustavu, potrebno je da se koriste izmjerene udaljenosti između prijamne i najmanje četiri odašiljačke antene, odnosno četiri satelita [1]. Izmjerena udaljenost između korisničke i odašiljačke antene zapravo otkriva koliki je radijus sfere na čijoj površini se nalazi korisnik, no ne otkriva gdje se na toj površini korisnik uistinu nalazi. Korištenjem četiriju različitih satelita dobivaju se četiri sfere s izračunatim radijusima te se na njihovom sjecištu nalazi korisnik.

Tri osnovna preduvjeta moraju biti ispunjena pri satelitskom određivanju položaja, to su:

- sustav zajedničkog vremena,
- zajednički geoprostorni koordinatni sustav i
- konstantna brzina širenja satelitskih signala [14].

Kako bi se precizno moglo izmjeriti vrijeme širenja satelitskog signala, satovi svih triju segmenata GPS sustava moraju biti usklađeni [6, 14]. Stoga imamo vrijeme GPS sustava, satelitsko vrijeme i korisničko vrijeme. Vrijeme GPS sustava odražava se u odnosu na UTC vrijeme unutar graničnih vrijednosti [6, 14]. Satelitsko i korisničko vrijeme imaju određena odstupanja od vremena GPS sustava [3]. Odstupanje satelitskog sata sadržano je u navigacijskoj poruci, dok se odstupanje korisničkog sata ispravlja dodatnim mjerenjem vremena širenja

satelitskog signala [4]. Upravo iz tog razloga potrebna su najmanje četiri satelita za određivanje položaja. Tri služe za rješavanje koordinatnih nepoznanica, a jedan za ispravak korisničkog vremena. Zbog pogrešaka satelitskog i korisničkog sata te ostalih pogrešaka u satelitskom određivanju položaja, umjesto stvarne udaljenosti između satelita i prijavnika mjeri se pseudoudaljenost [4]. To je udaljenost između odašiljačke i prijamne antene uvećana za vrijednost svih pogrešaka do kojih dolazi pri satelitskom određivanju položaja [15]. Prema tome, formula za izračun stvarne udaljenosti je sljedeća:

$$R_i = \bar{R}_i - c\Delta t_{Ai} - c(\Delta t_u - \Delta t_{Si}), \quad (2)$$

gdje su:

R_i – stvarna udaljenost između odašiljačke i prijamne antene

\bar{R}_i – pseudoudaljenost između odašiljačke i prijamne antene

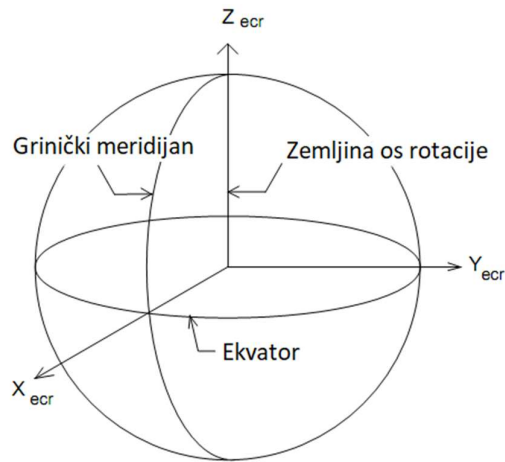
c – brzina svjetlosti, odnosno brzina širenja satelitskog signala

Δt_{Ai} – odstupanje uslijed pogrešaka koje nastaju satelitskim određivanjem položaja, bez pogrešaka korisničkog i satelitskog sata

Δt_u – odstupanje korisničkog sata u odnosu na vrijeme GPS sustava

Δt_{Si} – odstupanje satelitskog sata u odnosu na vrijeme GPS sustava [16].

Zajednički geoprostorni koordinatni sustav unutar kojeg se prikazuju koordinate satelita i korisnika naziva se Rotacijski zemaljski referentni sustav (engl. *Earth Centered, Earth Fixed – ECEF*) [4, 17]. To je pravokutni koordinatni sustav kojem je ishodište u središtu mase Zemlje [18]. Položaj osi ECEF koordinatnog sustava prikazan je na Slici 4. Nadalje, GPS sustav koristi WGS – 84 (engl. *World Geodetic System*) referentni okvir unutar kojeg se pravokutne koordinate korisnika pretvaraju u sferne koordinate [4, 17]. Različiti GNSS sustavi koriste različite referentne okvire, no svima je temelj ECEF. Položaj satelita prvobitno se dobiva u ECI koordinatnom sustavu (engl. *Earth Centered Interrial*). ECI je pravokutni koordinatni sustav sa ishodištem u središtu mase Zemlje, no za razliku od ECEF – a nepomičan je u odnosu na nebesku sferu [17]. Pomoću korisničkog segmenta, odnosno prijavnika, ECI koordinate satelita preračunavaju se u ECEF koordinate [4].



Slika 4: ECEF koordinatni sustav [19]

Konstantna brzina širenja satelitskih signala posljednji je preduvjet satelitskog određivanja položaja. Već je spomenuto da satelitski signali putuju brzinom od $2,99792458 \cdot 10^8$ m/s, no to vrijedi samo kada signal putuje zrakopraznim prostorom [13]. Satelitski signal putuje kroz razne slojeve atmosfere koji nisu zrakoprazni te se zbog toga i njegova brzina mijenja, odnosno kažemo da dolazi do „loma“ signala. Omjer između brzine signala u zrakopraznom prostoru i brzine signala u određenom mediju prikazuje se indeksom loma:

$$n = \frac{c}{v}, \quad (3)$$

gdje su:

n – indeks loma

c – brzina satelitskog signala u zrakopraznom prostoru

v – brzina satelitskog signala u određenom mediju [4].

2.3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE GPS SIGNALA

GPS sateliti proizvode središnju frekvenciju L pojasa od 10,23 MHz koristeći vrlo stabilne satove [20]. Zatim se ta frekvencija množi sa 154 i 120 te se generiraju frekvencije dvaju vala nosioca, $L1 = 1575,42$ MHz i $L2 = 1227,60$ MHz [21]. GPS signali sastoje se od vala nosioca frekvencije L1 ili L2, jedinstvenog koda dodijeljenog svakom satelitu i navigacijske poruke koja sadrži informacije o položaju i brzini satelita te stanju satelitskog sata [20]. Frekvencije valova nosioca L1 i L2 modulirane su kombinacijom navigacijske poruke i jedinstvenog koda kako bi tražene informacije stigle do korisnika [20]. Na taj način, primjenom tehnike izdvajanja signala sa kodnom raspodjelom (engl. *Code Division Multiple Access* –

CDMA) moguće je izdvojiti i detektirati signal s odgovarajućeg satelita [22]. Tijekom praćenja pojedinog satelita koji se nalazi u dohvatu GPS prijamnika, pomoću CDMA tehnike prijamnik generira pseudoslučajni kod (engl. *Pseudorandom Noise – PRN*) satelita koji se prati uzimajući u obzir Dopplerov efekt [22]. L1 frekvencija modulirana je pomoću dva PRN koda, to su C/A (engl. *Coarse Acquisition*) kod i P (engl. *Precise*) kod [23].

Svaki satelit ima jedinstveni C/A PRN kod te su svi PRN kodovi međusobno gotovo ortogonalni što omogućuje GPS prijamniku da razlikuje satelite bez obzira što sateliti emitiraju na istim frekvencijama vala nosioca L1 i L2 [24]. Svaki signal s kodom C/A ima veličinu 1023 bita i emitira se svake milisekunde, a valna duljina mu iznosi 300 m [20]. Trajanje P koda iznosi 7 dana te se pomoću njega modeliraju i L1 i L2 signali [20]. Ovaj kod koristi samo vojska i određene vladine institucije, a frekvencija ponavljanja P kodiranog signala deset je puta veća nego frekvencija ponavljanja C/A kodiranog signala [16]. Valna duljina P kodiranog signala iznosi 30 m što ga čini kraćim i posljedično preciznijim od C/A kodiranog signala [23]. Struktura L1 i L2 GPS signala prikazana je u Tablici 1.

Osnovna frekvencija		$f_0 = 10,23 \text{ Mhz}$
L1	Frekvencija	$154 \cdot f_0 = 1575,420 \text{ MHz}$
	Valna duljina	19,03 cm
L2	Frekvencija	$120 \cdot f_0 = 1227,600 \text{ MHz}$
	Valna duljina	24,42 cm
P kodirani signal	Frekvencija ponavljanja (eng. <i>chip rate</i>)	$f_0 = 10,23 \text{ MHz (Mbit/s)}$
	Duljina Period (interval) ponavljanja	29,31 m 266 dana, 7 dana/satelit
C/A kodirani signal	Frekvencija ponavljanja (eng. <i>chip rate</i>)	$f_0 / 10 = 1,023 \text{ MHz (Mbit/s)}$
	Duljina Period (interval) ponavljanja	293,1 m 1 ms
Navigacijska poruka	Frekvencija Ukupna duljina trajanja	$f_0 / 204\,600 = 50 \text{ Hz (bit/s)}$ 12,5 min

Tablica 1: Struktura GPS signala [4]

Posljednji ključni dio GPS signala je navigacijska poruka. Potrebno je 12,5 minuta za prijem cjelokupne poruke koja se preuzima brzinom od 50 bit/s [25]. Najvažniji dijelovi navigacijske poruke su efemeride satelita, podaci almanaha (približni položaji ostalih satelita) te vrijeme sustava i ispravke satelitskog sata [20].

Osim spomenutih L1 i L2 signala te C/A i P kodova, postoje signali nove generacije (L5 i L1C) te novi vojni M kod [26].

L5 je treći civilni signal (nakon L1 C/A i L2C) i odašilju ga sateliti tipa Block IIF na frekvenciji od 1176.45 MHz [26, 27]. Emitira se u radijskom pojasu rezerviranom isključivo za

službe sigurnosti zračnog prometa te ima veću snagu, širu propusnost i nižu frekvenciju od L1 i L2 signala što poboljšava prijam za korisnike u zatvorenom prostoru [26]. Osim u uslugama prijevoza, smatra se da će L5 korisnicima diljem svijeta pružiti najnapredniji civilni GPS signal [26]. Budući da L5 signal trenutno (2023.) odašilje 18 satelita, još uvijek nije operativan i ne bi se trebao koristiti u uslugama koje su povezane sa sigurnošću ljudskih života [28].

L1C je četvrti civilni signal koji je dizajniran kako bi omogućio interoperabilnost između GPS – a i ostalih globalnih navigacijskih satelitskih sustava [27]. Odašilje se na jednakoj frekvenciji kao i L1 C/A signal (1575,42 MHz) [26]. Dizajn bi trebao omogućiti bolji prijem signala u gradovima i drugim izazovnim okruženjima, nego što je slučaj kod L1 C/A signala [26]. Prvi L1C signal emitiran je u prosincu 2018. godine, a smatra se da će postati operativan krajem 2020 – ih [29].

Vojni M kod primjenjuje se u L1 i L2 pojasevima i osmišljen je radi povećanja sigurnosti GPS signala te poboljšanja sposobnosti protiv ometanja vojnih prijamnika [30]. Dizajniran je na način da prijamnik može primiti M kodni signal bez pristupa C/A ili P kodnim signalima [27].

2.4. POGREŠKE U ODREĐIVANJU POLOŽAJA GPS SUSTAVOM

Pri satelitskom određivanju položaja dolazi do niza pogrešaka koje utječu na točnost dobivenog položaja. Izvori pogrešaka mogu biti razni, no mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine, a to su korisnička razdioba pogreške i geometrijska razdioba točnosti. Korisnička razdioba pogreške odnosi se na pogrešku u proračunu udaljenosti između odašiljačke i prijamne antene, dok geometrijska razdioba točnosti isključivo ovisi o geometrijskoj raspodjeli satelita koji se koriste za određivanje položaja.

2.4.1. Korisnička razdioba pogreške

Korisnička razdioba pogreške (engl. *User Equivalent Range Error - UERE*) predstavlja kombinaciju utjecaja prostornog segmenta, korisničkog segmenta te prijenosnog medija na točnost određivanja položaja [31, 32]. Iznos korisničke razdiobe pogreške ne prenosi se putem satelitskog signala, već se računa unutar prijamnika [32]. Također, izračun UERE ne uzima u obzir geometrijski položaj satelita [32].

U pogreške prostornog segmenta spadaju pogreška u procijenjenim položajima (efemeridama) satelita, odstupanje satelitskog sata od vremena GPS sustava, relativistički učinak te sklopovska kašnjenja satelitske opreme [31].

Pogreška korisničkog segmenta sastoji se od pogreške odstupanja korisničkog sata od vremena GPS sustava, pogreške uslijed šuma u prijamniku, pogreške višestrukih puteva satelitskih signala i pogreške sklopovskih kašnjenja korisničke opreme [31].

U pogrešku prijenosnog medija spada troposfersko kašnjenje te ionosfersko kašnjenje. Troposfersko kašnjenje ovisi o temperaturi, tlaku i vlažnosti zraka te o lokaciji prijamnika i satelita [33]. Troposfera nije disperzivan medij, što znači da troposfersko kašnjenje nije ovisno o frekvenciji GPS signala [33]. Troposfersko kašnjenje ne može se ukloniti pomoću kombinacije frekvencija kao što je to moguće kod ionosferskog kašnjenja, već se ispravlja upotrebom modela [33]. Troposfersko kašnjenje može se podijeliti na hidrostatsku i mokru komponentu. Hidrostatska komponenta odnosi se na suhe plinove (većinski dušik i kisik), lako je predvidljiva te predstavlja 90% troposferskog kašnjenja [33]. Mokra komponenta odnosi se na količinu vodene pare u troposferi. Ionosfersko kašnjenje bit će opisano u poglavlju 3.2.4.4., a uobičajene (orijentalne) vrijednosti navedenih pogrešaka prikazane su u Tablici 2.

Uzrok pogreške	Vrijednost pogreške [m]
Satelitski sat	1,5
Satelitske efemeride	2,5
Ionosfersko kašnjenje	5,0
Troposfersko kašnjenje	0,5
Šum u prijamniku	0,3
Višestruki putevi	0,6
Ukupno:	10,4

Tablica 2: Orijentalne vrijednosti GPS pogrešaka [34]

Korisnička razdioba pogreške (UERE) računa se kao korijen zbroja kvadrata svih gore navedenih pogrešaka koje utječu na mjerenje pseudoudaljenosti te se izražava u metrima:

$$\sigma_{UERE} = \sqrt{\sigma_{R1}^2 + \sigma_{R2}^2 + \dots + \sigma_{Rn}^2}, \quad (4)$$

gdje su:

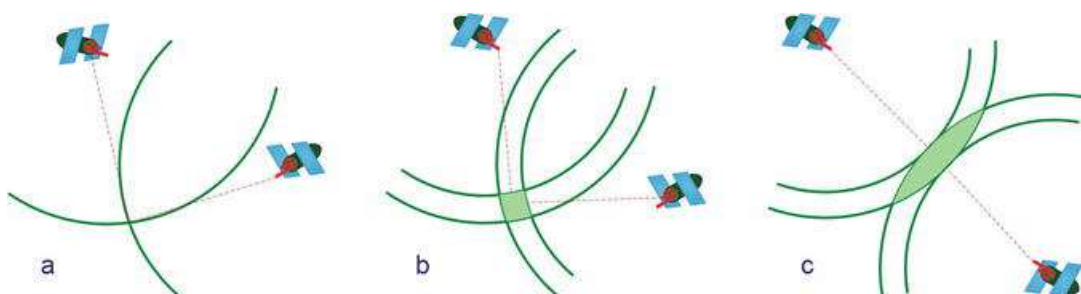
σ_{UERE} – korisnička razdioba pogreške (UERE)

$\sigma_{R1}^2, \sigma_{R2}^2, \dots, \sigma_{Rn}^2$ – kvadrati pogrešaka od kojih se sastoji korisnička razdioba pogreške [31].

2.4.2. Geometrijska razdioba točnosti

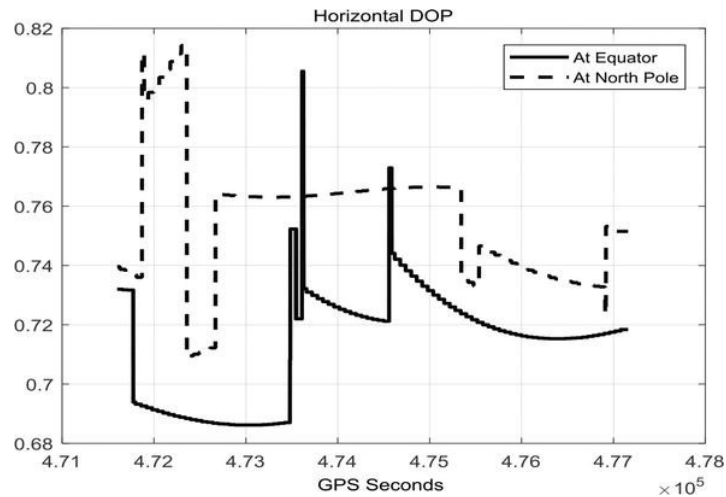
Osim korisničke razdiobe pogreške (UERE), postoji još jedan važan parametar o kojem ovisi točnost dobivenog položaja, a naziva se geometrijska razdioba točnosti (engl. *Dilution of*

Precision – DOP). DOP ovisi o geometrijskoj raspodijeli vidljivih satelita; što je bolja geometrija DOP je manji, a time je i pozicija preciznija. Slika 5 prikazuje koncept geometrijske razdiobe točnosti. Slika 5a prikazuje idealan slučaj u kojem bi signali s dva satelita formirali kružnice koje se sijeku u poziciji prijavnika s pretpostavkom da ne postoje nikakve pogreške u mjerenju, što nikada nije slučaj [20]. Slika 5b prikazuje praktičan slučaj u kojem je, zbog postojanja pogrešaka u mjerenju pseudoudaljenosti, položaj prijavnika definiran područjem neodređenosti. Oblik područja neodređenosti ovisi o geometriji satelita kao što je prikazano na Slici 5b i Slici 5c. DOP se koristi kako bi se izabrali geometrijski najpovoljniji sateliti koji će biti uključeni u izračun položaja [20]. Idealan prijavnik izabrat će samo skupinu satelita koji imaju minimalnu DOP vrijednost [35]. Izračun DOP vrijednosti zahtijeva samo poznavanje položaja prijavnika i satelita, a rezultat je bezdimenzionalna vrijednost [36].

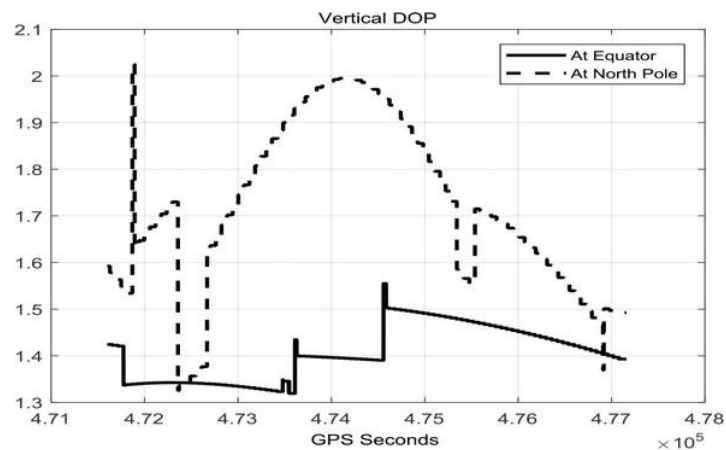


Slika 5: Koncept geometrijske razdiobe točnosti [20]

DOP, odnosno GDOP (engl. *Geometric Dilution of Precision*) je generalni parametar koji opisuje geometriju satelita, no postoje i podvrste. Neke od njih su HDOP (engl. *Horizontal Dilution of Precision*) i VDOP (engl. *Vertical Dilution of Precision*). Simulirane vrijednosti HDOP i VDOP parametara, s obzirom na područje ekvatora i polarno područje, prikazane su na Slikama 6 i 7. Vidljivo je da su vrijednosti oba parametra manje u području ekvatora zbog bolje geometrije satelita. Također, može se primijetiti da GPS pruža manje vrijednosti HDOP parametra u odnosu na VDOP, upravo zbog rasporeda satelita i njihovih orbita.



Slika 6: HDOP vrijednosti na području ekvatora i u polarnom području [20]



Slika 7: VDOP vrijednosti na području ekvatora i u polarnom području [20]

Naposlijetku, ukupna pogreška u određivanju položaja satelitskim navigacijskim sustavom računa se kao umnožak korisničke razdiobe pogreške (UERE) i geometrijske razdiobe točnosti (DOP):

$$\sigma_T = \sigma_R \cdot DOP, \tag{5}$$

gdje su:

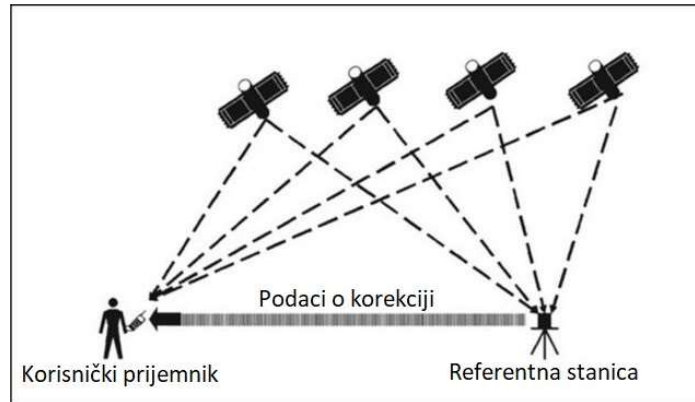
σ_T – ukupna pogreška položaja

σ_R – korisnička razdioba pogreške (UERE)

DOP – geometrijska razdioba točnosti [20, 37].

2.5. DIFERENCIJSKA USLUGA SUSTAVA GPS

Diferencijska usluga sustava GPS je tehnika satelitskog određivanja položaja koja značajno poboljšava točnost Globalnog sustava za određivanje položaja [38]. Uvedena je kako bi se zadovoljile potrebe mjerenja udaljenosti i pozicioniranja koje zahtijevaju veću točnost od standardnih usluga pozicioniranja [39]. Osnovni princip rada DGPS – a prikazana je na Slici 8.



Slika 8: Osnovni princip rada DGPS - a [39]

Kao što je prikazano, DGPS zahtjeva postojanje visokokvalitetnih referentnih prijamnika (referentnih stanica) sa svojom poznatom izmjerenom pozicijom [38]. Referentna stanica procjenjuje vremenski sporo promjenjive komponente pogrešaka svakog satelitskog mjerenja te stvara korekciju za svaki GPS vidljivi satelit [38]. Ova se korekcija emitira svim korisnicima DGPS – a na prikladnoj komunikacijskoj vezi, a uključuje sljedeće:

- korekcije neobrađenih mjerenja pseudoudaljenosti krajnjeg korisnika te korekcije satelitskog sata i efemerida,
- neobrađena mjerenja referentne stanice (npr. pseudoudaljenost i faza vala nosioca),
- podatke o integritetu (npr. oznake „koristi“ ili „ne koristi“ za svaki vidljivi satelit ili statistički pokazatelji točnosti danih ispravaka) i
- dodatne podatke koji sadrže informacije o lokaciji i ispravnosti referentne stanice te meteorološke podatke o području u kojem se nalazi referentna stanica [1].

Udaljenost između referentne stanice i korisnika pri određivanju položaja putem lokalnog diferencijskog GPS – a (engl. *Local Area Differential Global Positioning System – LADGPS*) ne bi trebala iznositi više od 150 km [38]. Unutar tog raspona, diferencijska korekcije uvelike poboljšava točnost pozicije za sve korisnike [38]. Ovo proizlazi iz razloga što najznačajnije GPS pogreške sporo variraju s vremenom, a snažno koreliraju s udaljenošću [38]. Što je

udaljenost između manja, točnost će biti bolja jer će prijenosni medij iznad referentne stanice i korisnika imati jednaka, odnosno sličnija svojstva.

U većini operativnih LADGPS sustava, umjesto utvrđivanja pogrešaka koordinata položaja, referentna stanica utvrđuje i šalje korekcije pseudoudaljenosti za svaki vidljivi satelit [1]. Proces izračuna korigirane pseudoudaljenosti opisan je pomoću matematičkih izraza u nastavku teksta.

Geometrijska udaljenost između pojedinog satelita i referentne stanice u ECEF koordinatnom sustavu je sljedeća [1]:

$$R_m^i = \sqrt{(x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2 + (z_i - z_m)^2}, \quad (6)$$

gdje su:

R_m^i – geometrijska udaljenost između i – tog satelita i referentne stanice,

x_i, y_i, z_i – pozicija i – tog satelita u ECEF koordinatnom sustavu,

x_m, y_m, z_m – pozicija referentne stanice u ECEF koordinatnom sustavu.

Referentna stanica mjeri pseudoudaljenost do i – tog satelita koja se sastoji od geometrijske udaljenosti između i – tog satelita i referentne stanice te pogrešaka [1]:

$$\rho_m^i = R_m^i + c\delta t_m + \varepsilon_m, \quad (7)$$

gdje su:

ρ_m^i – izmjerena pseudoudaljenost između i – tog satelita i referentne stanice,

$c\delta t_m$ – pogreška odstupanja sata referentne stanice u odnosu na sat GPS sustava,

ε_m – zbroj pogrešaka pseudoudaljenosti između i – tog satelita i referentne stanice.

Razlika geometrijske udaljenosti i izmjerene pseudoudaljenosti predstavlja diferencijsku korekciju ($\Delta\rho_m^i$) [1]:

$$\Delta\rho_m^i = R_m^i - \rho_m^i = -c\delta t_m - \varepsilon_m. \quad (8)$$

Diferencijsku korekciju, koja može biti pozitivna ili negativna, referentna stanica prosljeđuje korisničkom prijamniku. U korisničkom prijamniku diferencijska se korekcija zbraja s izmjerenom pseudoudaljenosti između i – tog satelita i korisničkog prijamnika (ρ_u^i) [1]:

$$\rho_u^i + \Delta\rho_m^i = R_u^i + c\delta t_u + \varepsilon_u + (-c\delta t_m - \varepsilon_m), \quad (9)$$

gdje su:

R_u^i – geometrijska udaljenost između i – tog satelita i korisničkog prijamnika,

$c\delta t_u$ – pogreška odstupanja sata korisničkog prijamnika u odnosu na sat GPS sustava,

ε_u – zbroj pogrešaka pseudoudaljenosti između i – tog satelita i korisničkog prijamnika.

U značajnoj mjeri, komponente pogreške pseudoudaljenosti korisničkog prijamnika zajedničke su komponentama pogreške pseudoudaljenosti referentne stanice, s iznimkom pogrešaka višestrukih puteva i šuma u prijamniku [1]. Korigirana pseudoudaljenost između i – tog satelita i korisničkog prijamnika ($\rho_{u,cor}^i$) je sljedeća [1]:

$$\rho_{u,cor}^i = R_u^i + \varepsilon_{um} + \delta t_{um}, \quad (10)$$

gdje su:

$\varepsilon_{um} = \varepsilon_u - \varepsilon_m$ – razlika pogrešaka pseudoudaljenosti korisničkog prijamnika i referentne stanice,

$c\delta t_{um} = c\delta t_u - c\delta t_m$ – pogreška uslijed razlike u vremenu sata korisničkog prijamnika i sata referentne stanice.

U Kartezijevom koordinatnom sustavu (u ovom slučaju ECEF – u) može se zapisati [1]:

$$\rho_{u,cor}^i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} + \varepsilon_{um} + c\delta t_{um}, \quad (11)$$

gdje je:

x_u, y_u, z_u – pozicija korisničkog prijamnika u ECEF koordinatnom sustavu.

Kada se uzme u obzir da pogreška pseudoudaljenosti varira u ovisnosti s vremenom, odaslana diferencijska korekcija glasi [1]:

$$\Delta\rho_m^i(t_m) = [R_m^i(t_m) - \rho_m^i(t_m)], \quad (12)$$

gdje je:

t_m – vrijeme referentne stanice.

Kako bi korisnički prijamnik mogao prilagoditi diferencijsku korekciju s obzirom na vrijeme vlastitog mjerenja pseudoudaljenosti (t), referentna stanica mu odašilje diferencijsku korekciju ovisnu o vremenu ($\Delta\rho_m^i(t_m)$). Diferencijska korekcija ovisna o vremenu korisničkog prijamnika ($\Delta\rho_m^i(t)$) je sljedeća [1]:

$$\Delta\rho_m^i(t) = \Delta\rho_m^i(t_m) + \dot{\Delta\rho}_m^i(t_m)(t - t_m). \quad (13)$$

Naposljetku, korigirana pseudoudaljenost između i – tog satelita i korisničkog prijamnika u trenutku t glasi [1]:

$$\rho_{u,corr}^i(t) = \rho_u^i(t) + \Delta\rho_m^i(t). \quad (14)$$

Učinkovitost DGPS – a u uklanjanju, odnosno smanjivanju pogrešaka položaja okvirno je prikazana u Tablici 3, a utjecaj svemirskog vremena, odnosno ukupnog sadržaja elektrona na određivanje položaja putem DGPS – a razrađen je na temelju stvarnih podataka u poglavlju 5.6.

Uzrok pogreške	Vrijednost pogreške [m]	
	Standardni GPS	Diferencijski GPS
Satelitski sat	1,5	0,0
Satelitske efemeride	2,5	0,0
Ionosfersko kašnjenje	5,0	0,4
Troposfersko kašnjenje	0,5	0,2
Šum u prijammiku	0,3	0,3
Višestruki putevi	0,6	0,6
Ukupno:	10,4	1,5

Tablica 3: Usporedba vrijednosti pogrešaka između standardne i diferencijske usluge GPS – a [34]

3. SVEMIRSKO VRIJEME

Svemirsko vrijeme je pojam koji objedinjuje kombinaciju pojava u svemiru blizu Zemlje koje mogu utjecati na modernu tehnologiju [40]. Uključuje vremenski promjenjive uvjete i dinamičke procese na Suncu, u solarnom vjetru i međuplanetarnom mediju, u Zemljinj magnetosferi, atmosferi, termosferi i ionosferi [40].

3.1. POJAVE SVEMIRSKOG VREMENA

3.1.1. Sunčev vjetar

Sunce kontinuirano emitira tokove elektromagnetskog zračenja i nabijenih čestica. Magnetsko polje Sunca prenosi se solarnim vjetrom i također ispunjava međuplanetarni prostor. Sunčev vjetar je turbulentno širenje ioniziranog plina (plazme) koje se neprekidno širi od Sunca u sve smjerove međuplanetarnog prostora, a sastoji se od iona i elektrona [40]. Parametri Sunčevog vjetra značajno variraju ovisno o pojavama na Suncu (osobito tijekom eruptivnih događaja). Prosječna brzina Sunčevog vjetra iznosi 450 km/s, no može značajno varirati [40]. Interakcija Sunčevog vjetra sa Zemljinim magnetskim poljem formira magnetosferu. Vrlo bitan parametar pri sudaranju Sunčevog vjetra s magnetosferom je smjer međuplanetarnog magnetskog polja. Ako je smjer međuplanetarnog magnetskog polja suprotan magnetskom polju Zemlje, dolazi do magnetske rekonekcije između dvaju polja zbog čega Sunčev vjetar i njegove čestice ulaze u magnetosferu i izazivaju geomagnetske poremećaje [40].

3.1.2. Sunčeve pjegice i solarni ciklus

Crne točke na površini Sunca koje sadržavaju vrlo jaka magnetska polja nazivaju se Sunčevim pjegama [40]. Sunčeve pjegice hladnije su od okolne plazme, imaju tendenciju pojavljivanja u skupinama te mogu opstati od nekoliko dana do nekoliko Sunčevih rotacija [41]. Što je više pjega na Suncu, veća je vjerojatnost nastanka intenzivnih solarnih događaja [40]. Veličina Sunčevih pjega može biti i do nekoliko puta veća od Zemlje te se najčešće pojavljuju u srednjim i niskim Sunčevim širinama [42]. Broj i intenzitet Sunčevih pjega ovisi o solarnom ciklusu.

Solarni ciklus je periodična reverzija Sunčevog magnetskog polja, odnosno izmjena položaja sjevernog i južnog magnetskog pola Sunca [43]. Promjene u Sunčevom magnetskom polju utječu na količinu aktivnosti na Sunčevoj površini. Solarni ciklus može trajati između 8 i 14 godina, no prosječno vrijeme trajanja je 11 godina [43]. Tijekom solarnog ciklusa Sunčeva aktivnost se mijenja na način da je smanjena, zatim se povećava do svog vrhunca i onda se opet smanjuje [44]. Za vrijeme najjače Sunčeve aktivnosti, odnosno solarnog maksimuma,

magnetski polovi Sunca zamijene mjesta [44]. Razdoblje najmanje Sunčeve aktivnosti naziva se solarni minimum [44]. Tijekom solarnog ciklusa broj Sunčevih pjega se mijenja na način da je malen, zatim velik i onda opet malen [43]. Također, položaj Sunčevih pjega se mijenja tijekom ciklusa. Tijekom solarnog maksimuma uglavnom se nalaze na srednjim širinama (cca. 30° sjeverno i južno od Sunčevog ekvatora), a zatim se postepeno pomiču prema ekvatoru gdje se nalaze za vrijeme solarnog minimuma [43]. Trenutno (2023.) je na snazi 25. solarni ciklus koji je započeo u prosincu 2019. godine i predviđa se da će solarni maksimum nastupiti 2025. godine [43].

3.1.3. Sunčeve baklje

Sunčeva baklja je snažna i iznenadna eksplozija na Suncu pri kojoj se oslobađa energija koju karakterizira emisija elektromagnetskog zračenja svih valnih duljina te nagli porast sjaja Sunčeve površine [40]. Velika količina nabijenih čestica i značajno pojačano elektromagnetsko zračenje (X – zrake, ekstremne UV – zrake, gama zrake, infracrvene zrake, svjetlost, mikrovalovi i radiovalovi) izbijaju iz malog područja na Suncu [40]. Sunčeve baklje znatno utječu na karakteristike Sunčevog vjetrova, a samim time i na Zemlju. Pojavljuju se u aktivnim područjima Sunca i povezane su sa snažnim magnetskim poljima Sunčevih pjega. Valja napomenuti da Sunčeve baklje ne proizlaze iz svih Sunčevih pjega, već uglavnom iz onih koje su veće i snažnije [40]. Sunčeve baklje klasificiraju se prema intenzitetu i njihovom utjecaju na Zemlju u pet kategorija: A, B, C, M, X [40]. U kategoriju A spadaju najslabije baklje, a u kategoriju X najjače. Ovih pet kategorija dodatno je podijeljeno brojevima od 1 do 9 [40]. Ljestvica je logaritamska tako da je npr. Sunčeva baklja kategorije M7 deset puta slabija od baklje kategorije X7. Najintenzivnije baklje klase X nemaju gornju granicu intenziteta [40]. Intenzivne Sunčeve baklje (uglavnom klase X, a ponekad i M) mogu uzrokovati značajne ionosferske poremećaje na strani Zemlje koja je okrenuta prema Suncu [40].

3.1.4. Koronarni izbačaji mase

Koronarni izbačaji mase (engl. *Coronal Mass Ejections – CME*) su velika izbacivanja plazme i magnetskog polja iz Sunčeve korone [45]. Mogu izbaciti milijarde tona koronarnog sadržaja te magnetsko polje koje je uvelike snažnije od međuplanetarnog magnetskog polja odvučenog Sunčevim vjetrom [45]. Koronarni izbačaji mase prostiru se u smjeru od Sunca prema van brzinama između 250 i 3000 km/s [45]. Najbrži koronarni izbačaji mase mogu dospjeti do Zemlje u roku od 15 – 18 sati, dok sporijima može trebati i do nekoliko dana [45]. Kada koronarni izbačaj mase stigne u Zemljino okruženje, ovisno o svom intenzitetu, može djelovati sa Zemljinim magnetskim poljem te narušiti stabilnost magnetosfere [40]. Najbitniji

parametri na temelju kojih se pretpostavlja veličina utjecaja koronarnog izbačaja mase na Zemlju su njegova veličina, brzina i smjer [45]. Tijekom interakcije magnetskog polja koje nosi koronarni izbačaj mase s magnetskim poljem Zemlje dolazi do geomagnetskih poremećaja koji će biti značajno veći ako su ta dva polja suprotnog smjera [45]. U takvim slučajevima može doći do nastanka značajnijih geomagnetskih oluja.

3.1.5. Geomagnetske oluje

Geomagnetske oluje veliki su poremećaji Zemljine magnetosfere koji nastaju tijekom vrlo učinkovite razmijene energije Sunčevog vjetra sa svemirskim prostorom koji okružuje Zemlju [46]. Rezultat su varijacije Sunčevog vjetra koji stvara značajne promjene u strujama, plazmi i magnetskim poljima u Zemljinoj magnetosferi [47]. Uvjeti solarnog vjetra koji su učinkoviti za stvaranje geomagnetskih oluja su dugotrajna razdoblja solarnog vjetra velike brzine, i što je najvažnije, magnetsko polje solarnog vjetra usmjereno suprotno od smjera Zemljinog magnetskog polja na dnevnoj strani magnetosfere [47]. Najsnažnije geomagnetske oluje javljaju se tijekom koronarnog izbacivanja mase, kada ogromne količine plazme dospijevaju u Zemljino okruženje [47]. Za geomagnetsku oluju karakteristične su tri faze: u početnoj fazi dolazi do blagog porasta jakosti Zemljinog magnetskog polja, u glavnoj fazi dolazi do naglog i izrazitog pada jakosti Zemljinog magnetskog polja, a u fazi oporavka Zemljino se magnetsko polje postepeno vraća u nepobuđeno stanje [47]. Geomagnetske oluje klasificiraju se s obzirom na vrijednosti Kp i Dst indeksa, kako je prikazano u Tablici 4.

Oznaka intenziteta s obzirom na Kp indeks	Oznaka intenziteta s obzirom na Dst indeks	Vrijednost Kp indeksa	Vrijednost Dst indeksa [nT]
G1	slaba	5	< - 30
G2	umjerena	6	< - 50
G3	snažna	7	< - 100
G4	vrlo snažna	8	< - 200
G5	velika	9	< - 350

Tablica 4: Klasifikacija geomagnetskih oluja s obzirom na Kp i Dst indekse [40, 48]

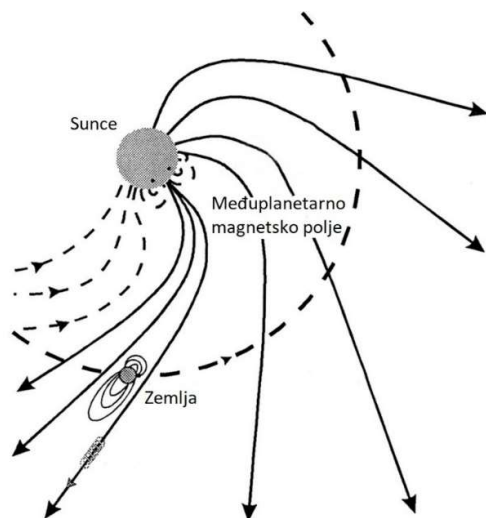
3.2. VAŽNE ZNAČAJKE OKOLIŠA SUNCE – ZEMLJA

U ovom poglavlju opisane su glavne značajke međuplanetarnog prostora i geoprostora čiji parametri značajno variraju s obzirom na promjenjivost svemirskog vremena i povezani su s točnošću određivanja položaja GPS sustavom. Međuplanetarni prostor, često nazivan međuplanetarni medij (engl. *Interplanetary Medium – IPM*), je prostor između Sunca i planeta ispunjen česticama i magnetskim poljima [49]. Ovdje se radi uglavnom o česticama Sunčevog

vjetra, a najistaknutije polje je međuplanetarno magnetsko polje [49]. Geoprostor predstavlja područje svemira u blizini Zemlje koje uključuje gornju atmosferu, ionosferu i magnetosferu [50]. Može se protumačiti i kao područje interakcije Sunca i Zemlje.

3.2.1. Međuplanetarno magnetsko polje

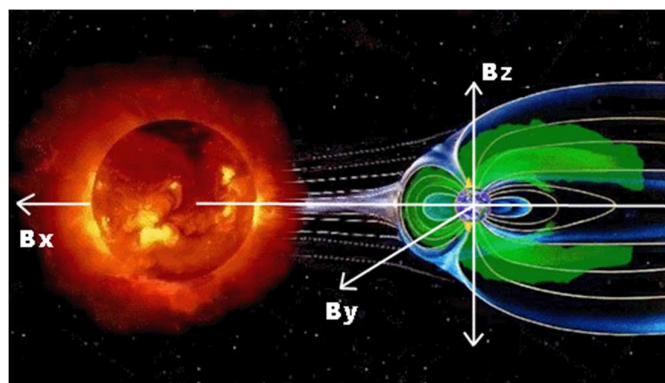
Međuplanetarno magnetsko polje (engl. *Interplanetary Magnetic Field – IMF*) je produžetak magnetskog polja Sunca koje je djelovanjem Sunčevog vjetra odvučeno u međuplanetarni prostor [51]. Za vrijeme solarnog minimuma, magnetsko polje Sunca izgleda poprilično slično magnetskom polju Zemlje [52]. Za vrijeme pojačane Sunčeve aktivnosti, magnetsko polje Sunca poprima vrlo složen oblik i ne zadržava se samo u prostoru oko Sunca [52]. Zbog rotacije Sunca oko svoje osi (jednom u 25 dana), međuplanetarno magnetsko polje u području ekvatorijalne ravnine Sunca poprima spiralan oblik koji se naziva Parkerova spirala (Slika 9) [51, 52].



Slika 9: Međuplanetarno magnetsko polje [53]

Jakost međuplanetarnog magnetskog polja ovisi o udaljenosti od Sunca te o Sunčevoj aktivnosti. Ukoliko je Sunce u svojoj aktivnoj fazi, vrijednosti će biti veće te što je udaljenost od Sunca manja, jakost magnetskog polja je veća. Tipične vrijednosti međuplanetarnog magnetskog polja u području Zemljine orbite iznose 3 – 4 nT [54]. Smatra se da je međuplanetarno polje umjereno jako kada vrijednosti iznose približno 10 nT, jako kada iznose 20 nT, a iznimno jako kada iznose približno 30 nT [52]. Totalni intenzitet jakosti međuplanetarnog magnetskog polja može se rastaviti na tri komponente u GSM (engl. *Geocentric Solar Magnetospheric system*) koordinatnom sustavu kao što je prikazano na Slici 10. GSM koordinatni sustav ima ishodište u središtu zemlje, x os je usmjerena prema središtu

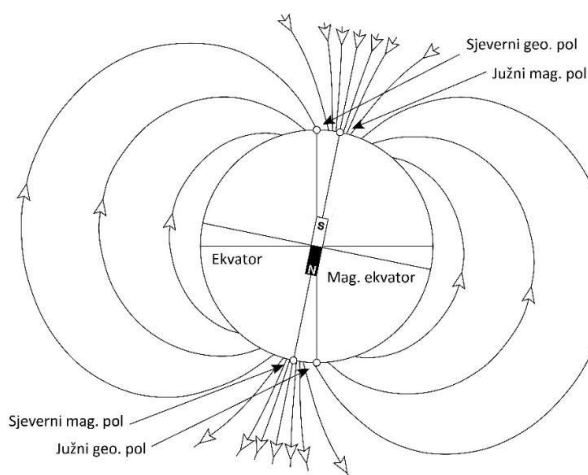
Sunca, y os je okomita na dužinu koja spaja sjeverni i južni magnetski pol Zemlje, a z os prolazi kroz sjeverni magnetski pol [55]. Budući da međuplanetarno magnetsko polje uvelike ovisi o Sunčevoj aktivnosti, komponente totalnog intenziteta međuplanetarnog polja poslužit će kao dobri pokazatelji stanja svemirskog vremena.



Slika 10: GSM koordinatni sustav [52]

3.2.2. Zemljino magnetsko polje i magnetosfera

Zemljino magnetsko polje može se opisati pomoću dipolnog polja štapićastog magneta koji bi bio nagnut u odnosu na os rotacije Zemlje za približno 11° [56]. To znači da se položaji polova Zemljinog magnetskog polja razlikuju od položaja geografskih polova. Južni magnetski pol nalazi se u blizini sjevernog geografskog pola, a sjeverni magnetski pol u blizini južnog geografskog pola. Dipolna aproksimacija Zemljinog magnetskog polja prikazana je na Slici 11.

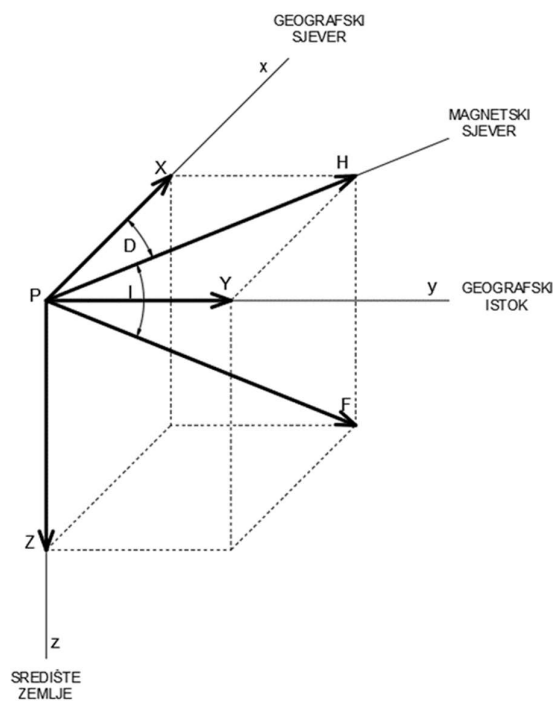


Slika 11: Dipolna aproksimacija Zemljinog magnetskog polja [57]

Magnetsko polje dipola vertikalno je uzduž osi polova, a horizontalno uzduž ekvatora, što znači da će na području ekvatora horizontalna komponenta magnetskog polja Zemlje biti

veća od vertikalne, a na području polova bit će obrnuto. Zemljin magnetski ekvator je velika kružnica Zemlje na kojoj je polje horizontalno, odnosno vertikalna komponenta je jednaka nuli, a Zemljini magnetski polovi su točke u kojima je polje vertikalno, a horizontalna komponenta je jednaka nuli [58]. Jakost Zemljinog magnetskog polja najveća je u magnetskim polovima te se smanjuje prema ekvatoru [58].

U svakoj točki na površini Zemlje, Zemljino magnetsko polje može se prikazati pomoću vektora totalnog intenziteta Zemljinog magnetskog polja F (Slika 12). Svaki vektor definiran je svojim smjerom i iznosom. U ovom slučaju, iznos vektora F je totalni intenzitet Zemljinog magnetskog polja T . Totalni intenzitet Zemljinog magnetskog polja T predstavlja jakost Zemljinog magnetizma u nekoj točki na površini Zemlje. Za definiranje smjera Zemljinog magnetskog polja potrebna su nam još dva parametra, to su magnetska inklinacija I i magnetska deklinacija D . Inklinacija I je kut kojeg zatvaraju vektor totalnog intenziteta F i njegova horizontalna komponenta H , a deklinacija D je kut između geografskog i magnetskog meridijana.



Slika 12: Elementi Zemljinog magnetskog polja [59]

Na temelju Slike 12 uočljivo je da X , Y i Z komponente vektora totalnog intenziteta F u nekoj točki na Zemlji ovise o njegovom smjeru i jakosti, a mogu se odrediti na sljedeći način:

$$X = H \cdot \cos D \quad (15)$$

$$Y = H \cdot \sin D \quad (16)$$

$$Z = F \cdot \sin I \quad (17)$$

Jakost Zemljinog magnetskog polja nije stalna, već se mijenja. Jedan od razloga njene promjenjivosti je aktivnost Sunca. Kada je prema Zemlji okrenuta aktivnija strana Sunca, odnosno strana Sunca na kojoj se nalazi veći broj Sunčevih pjega, varijacije Zemljinog magnetskog polja bit će veće [58]. Do iznimno značajnih varijacija dolazi za vrijeme geomagnetskih oluja. Najčešće varijacije koje uzrokuju geomagnetske oluje su porasti totalnog intenziteta za nekoliko stotina nanotesli, no izmjerene su promijene čak i od 1000 nT [58]. Budući da aktivnost Sunca utječe na jakost Zemljinog magnetskog polja, intenzitet jakosti Zemljinog magnetskog polja može poslužiti kao dobar pokazatelj stanja svemirskog vremena.

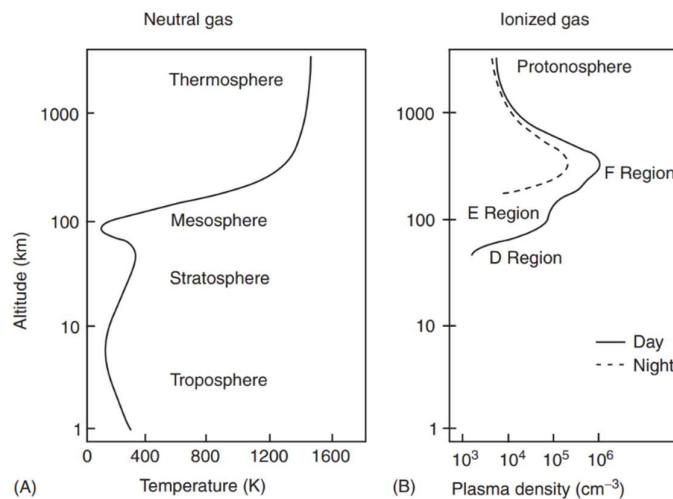
Prostor koji okružuje Zemlju i u kojem je, s obzirom na međuplanetarno magnetsko polje, Zemljino magnetsko polje značajno dominantnije, naziva se Zemljina magnetosfera [60]. Magnetosfera je oblikovana interakcijom Sunčevog vjetra sa Zemljinim magnetskim poljem [60]. Na strani koja je okrenuta prema Suncu magnetosfera je tlačena Sunčevim vjetrom i ima paraboličan oblik površine koji se naziva magnetopauza [60]. Magnetopauza je vanjska granica magnetosfere i udaljena je od Zemlje za približno 10 Zemljinih radijusa [60]. Na strani Zemlje koja je okrenuta od Sunca, magnetosfera se proteže na udaljenosti veće od 100 Zemljinih polumjera, te se formira rep magnetosfere [60]. Unutar repa magnetosfere nalazi se sloj plazme koji se često naziva neutralnim slojem zbog slabog magnetskog polja u tom području [60]. Zemljina magnetosfera prikazana je na Slici 10 desno, koja je ujedno poslužila za prikaz GSM koordinatnog sustava.

3.2.3. Ionosfera

Ionosfera je područje Zemljine atmosfere u kojem je broj iona, odnosno električki nabijenih čestica, dovoljno velik da utječe na širenje radiovalova [61]. Prostire se između 50 i 1000 kilometara nadmorske visine [62]. Na tim je visinama tlak zraka dovoljno nizak da se mogu formirati ioni koji će slobodno putovati znatno dugo bez sudaranja i rekombiniranja u neutralne atome [63]. Ionizacija je uglavnom uzrokovana Sunčevim zračenjem na rendgenskim i ultraljubičastim valnim duljinama [61]. Ionosfera ima nepovoljan utjecaj na širenje satelitskih signala i upravo zbog toga predstavlja značajno područje u okolišu Sunce – Zemlja.

3.2.3.1. Proces stvaranja ionosfere

Ionosfera prvenstveno nastaje kada rendgenske zrake, koje su ujedno najenergičnija komponenta Sunčevog spektra zračenja, i ekstremne ultraljubičaste zrake dolaze u interakciju s osvijetljenom stranom Zemlje [64]. Visokoenergetski fotoni pogađaju atmosferu osvijetljene strane Zemlje, ioniziraju je i pritom gube energiju [64]. Kako ionizirajuća zraka prolazi kroz atmosferu, postaje sve slabija i slabija te za sobom ostavlja ionizirani sloj [64]. Pritom se dio energije troši na ioniziranje zraka, a dio se pretvara u toplinu, što rezultira porastom temperatura do vrijednosti mnogo viših nego u bilo kojem djelu guste atmosfere ispod [64]. Budući da se ionosfera prostire dijelom atmosfere, na Slici 13 prikazana je usporedba s obzirom na nadmorsku visinu. Najvažniji atmosferski pokazatelj je temperatura, a njena ovisnost o visini prikazana je na Slici 13a. Ključan ionosferski pokazatelj je broj elektrona (koji je jednak broju pozitivnih iona) po kubnom centimetru. Njegove vrijednosti za tipične dnevne i noćne uvjete s obzirom na visinu prikazane su na Slici 13b.

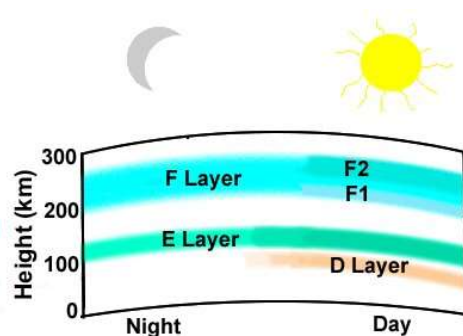


Slika 13: Tipičan profil temperature Zemljine atmosfere i gustoće ionosferske plazme [64]

Atmosferska temperatura ima najniže vrijednosti u području mezopauze (granični sloj između mezosfere i termosfere) i iznose cca. 200 K. Temperatura se zatim penje i najveće vrijednosti postiže u termosferi (veće od 1000 K), u istom visinskom rasponu gdje nastaje dnevna ionosfera. Uočljivo je da ionosfera tijekom noćnih sati ne nestaje u potpunosti, iako Sunčeva svjetlost nije više prisutna da stvara nove ionizacije [64]. To je jedna od ključnih karakteristika Zemljine ionosfere.

3.2.3.2. Slojevi ionosfere

S obzirom na svoj sastav i utjecaj na širenje satelitskih signala, ionosfera se može podijeliti na tri osnovna sloja [63]. Najniži sloj ionosfere je D – sloj, zatim slijedi E – sloj te najviši F – sloj, koji se dodatno može podijeliti na F1 i F2 – sloj [63]. Postojanost slojeva ionosfere ovisi o dnevnim i noćnim satima kao što je prikazano na Slici 14 [65]. Stupanj ionizacije snažno je kontroliran Sunčevim zračenjem. Ionizacija različitih slojeva prolazi kroz izražene promijene koje ovise o dnevnim i noćnim satima, geografskoj širini te o promjenama vezanim uz godišnja doba [63]. Visina F – sloja najznačajnije varira te najviše ovisi o spomenutim faktorima [63]. Visine D i E – sloja uglavnom su konstantne [63]. Svaki sloj ionosfere ima različita svojstva, stoga slijedi opis svakog pojedinog sloja.



Slika 14: Podjela ionosfere na slojeve s obzirom na dnevne i noćne sate [64]

D – sloj je najniži sloj ionosfere i prostire se između 60 i 100 kilometara nadmorske visine [63]. Između 90 i 100 km, D – sloj je ioniziran snažnim rendgenskim zrakama, između 80 i 90 km ioniziran je *Lyman Alpha* zračenjem, a između 65 i 80 km glavni izvor ionizacije su galaktičke kozmičke zrake [63]. Porast bilo kojeg od ovih zračenja, može uzrokovati trenutno povećanje ionizacije D – sloja. D – sloj nastaje pri izlasku Sunca, najviše je ioniziran u podne, a nestaje pri zalasku Sunca [63]. Postoji samo tijekom dnevnih sati jer mu je potrebno stalno zračenje koje ga opskrbljuje ionima. Ukoliko nema zračenja (tijekom noćnih sati), ioni se vrlo brzo rekombiniraju u neutralne atome. D – sloj je manje ioniziran u usporedbi s F – slojem, no zbog gušće koncentracije masivnijih iona uzrokuje lakšu apsorpciju energije radiovalova. Maksimalna gustoća ionizacije D – sloja iznosi 10^{10} iona po cm^3 [63]. Povremene erupcije sunčevih baklji i drugi solarni događaji mogu dramatično ionizirati D – sloj i uzrokovati privremeni prekid radiokomunikacije u određenoj mjeri [63].

E – sloj prostire se između cca. 100 i 125 km nadmorske visine [63]. Uglavnom je ioniziranim slabijim rendgenskim zrakama i ekstremnim ultraljubičastim zrakama [63].

Tijekom dnevnih sati, karakteristike ionizacije ovog sloja približno su jednake ionizaciji D – sloja: ionizacija je najveća tijekom podneva i uglavnom nestaje tijekom noćnih sati [63]. Ovisno o geografskoj širini (bliže ili dalje ekvatoru) i godišnjem dobu (više ili manje dnevnih sati), E – sloj će ili skoro u potpunosti nestati tijekom noćnih sati, ili će postojati, ali biti vrlo slabo ioniziran [63]. Maksimalna gustoća ionizacije E – sloja iznosi 10^{11} iona po cm^3 [63]. Budući da je E – sloj rjeđi od D – sloja, rekombinacija iona je također malo niža. Iz tog razloga gustoća elektrona je veća, a smanjenje nakon zalaska Sunca nije tako naglo [63].

F – sloj prostire se od cca. 150 do 1000 km nadmorske visine i uglavnom je ioniziran ekstremnim ultraljubičastim zračenjem [63]. Tijekom dnevnih sati može se podijeliti na F1 i F2 – sloj. F1 – sloj počinje na otprilike 150 km, a F2 na 200 km nadmorske visine. Spomenute visine su samo okvirne jer konstantno variraju. F1 – sloj je znatno slabiji i igra manju ulogu u propagaciji satelitskih signala. Maksimalna ionizacija F1 – sloja nastupa približno tijekom podneva. Stupanj ionizacije F1 – sloja uglavnom varira na isti način kao i E – sloj, ovisno o godišnjem dobu. Tijekom zime, F1 – sloj spaja se s F2 – slojem i ne može se sagledati zasebno, osim u ekvatorijalnim geografskim širinama [63]. Visina F – sloja najviše varira, od 160 km do više od 500 km, ovisno o godišnjem dobu, geografskoj širini, dobu dana te najviše o Sunčevoj aktivnosti [63]. Sunčeva aktivnost igra značajnu ulogu u gustoći ionizacije ovog sloja. U usporedbi s ostalim slojevima, F2 – sloj postojan je i tijekom noći, i tijekom dana te je najtrajniji i najioniziraniji sloj. Rekombinacija elektrona odvija se sporije nego unutar D i E – sloja jer je najrjeđi [63]. Maksimalna gustoća ionizacije F – sloja iznosi 10^{12} iona po cm^3 [63].

3.2.3.3. *Ionosfera niskih geografskih širina*

Ovisno o položaju korisnika, ionosfera se može podijeliti na ionosferu niskih geografskih širina, ionosferu srednjih geografskih širina i ionosferu visokih geografskih širina [4]. Budući da je u ovom radu istraživanje provedeno za ekvatorijalno geografsko područje, u nastavku teksta opisana je ionosfera niskih geografskih širina.

Ionosfera niskih geografskih širina poteže se u području 20° sjeverne i južne geomagnetske širine [66]. Pod jakim je utjecajem elektromagnetskih sila, posebno horizontalne komponente Zemljinog magnetskog polja jer je ona na području ekvatora naj snažnija [66]. Primarna posljedica toga je abnormalno velika električna vodljivost iznad područja geomagnetskog ekvatora [66]. Jaka električna struja (engl. *electrojet*) javlja se u E – sloju, a F – sloj podložan je elektrodinamičkom podizanju i tzv. „efektu fontane“ koji iskrivljuje opći oblik ionosfere u cijelom području niskih geomagnetskih širina [66]. Posljedica je nepravilnost u gustoći elektrona koja je najmanja u području geomagnetskog ekvatora, a najveća na približno

$\pm 15 - 20^\circ$ geomagnetske širine [4]. Ova pojava naziva se ekvatorijalna anomalija ionizacije (engl. *Equatorial Ionization Anomaly – EIA*). Kako je kretanje ionosferske plazme ograničeno magnetskim silnicama, anomalija se, pogonjena atmosferskim neutralnim vjetrovima kreće prema polovima te u kružnom procesu, od polova nazad prema ekvatoru [4]. Pri tome se gustoća elektrona protokom prema polovima povećava, dok se pomakom prema ekvatoru smanjuje [4].

3.2.3.4. Ukupni sadržaj elektrona i njegov utjecaj na kašnjenje GPS signala

Parametar ionosfere koji najviše utječe na širenje GPS signala je ukupan broj elektrona u ionosferi. Ovaj integrirani broj elektrona, koji se obično naziva ukupni sadržaj elektrona (engl. *Total Electron Content – TEC*), izražava se kao broj elektrona u okomitom stupcu koji ima poprečni presjek 1 m^2 i proteže se cijelim putem od GPS satelita do prijarnika [3]. Ukupni sadržaj elektrona izražava se u TEC jedinicama (engl. *Total Electron Content Unit – TECU*), pri čemu je $1 \text{ TECU} = 10^{16}$ elektrona po m^2 [4].

Ukupni sadržaj elektrona uzrokuje ionosfersko kašnjenje GPS signala koje ima za posljedicu pogrešku u točnosti očitano položaja. Ionosfersko kašnjenje proporcionalno je ukupnom sadržaju elektrona i obrnuto proporcionalno kvadratu prijenosne frekvencije satelitskih signala [67]:

$$\Delta\rho = \frac{40.3}{f^2} \cdot TEC, \quad (18)$$

gdje su:

$\Delta\rho$ – ionosfersko kašnjenje GPS signala

f – frekvencija GPS signala

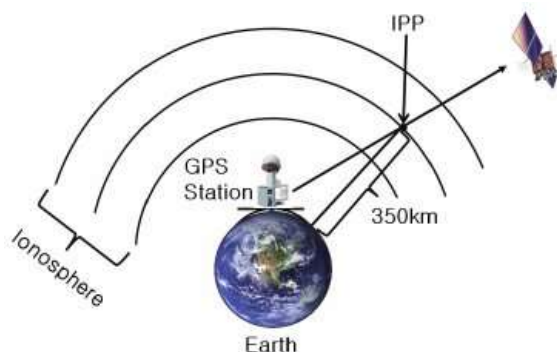
TEC – ukupni sadržaj elektrona.

Pri GPS L1 satelitskim signalima za određivanje položaja, 1 TECU uzrokuje vremensko kašnjenje od 0.542 ns, odnosno ekvivalentnu pogrešku u proračunu udaljenosti od 0.1624 m [4]. Vremensko kašnjenje signala od 1 ns odgovara 2,85 TECU te je ekvivalentno vrijednosti od 0,2998 m pogreške u proračunu pseudoudaljenosti [4].

Ionosfersko kašnjenje moguće je značajno smanjiti korištenjem dvofrekvencijskih prijarnika. Također, određivanje položaja DGPS – om isto u dobroj mjeri smanjuje ionosfersko kašnjenje. Što se tiče jednofrekvencijskog L1 određivanja položaja, ionosfersko kašnjenje smanjuje se upotrebom korekcijskog modela.

3.2.3.5. Klobucharov model ispravka ionosferskog kašnjenja

Klobucharov model ispravka ionosferskog kašnjenja satelitskog signala koristi se unutar GPS i BeiDou satelitskih navigacijskih sustava. U Klobucharovom modelu, GPS ionosferska pogreška procjenjuje se izračunavanjem TEC vrijednosti između GPS satelita i GPS prijamnika, a ukupna ionosferska pogreška može se eliminirati približno 50 do 60%, ovisno o solarnoj aktivnosti i položaju [68]. Model se zasniva na pretpostavci da su slobodni elektroni koncentrirani na imaginarnom sloju čija je debljina jednaka nuli i koji je udaljen od površine Zemlje 350 km (Slika 15) [68]. Također, u modelu je određeno da je TEC na vrhuncu u 14 h po lokalnom vremenu te da je konstantan između 22 i 6 h i iznosi 9,24 TECU [68]. Klobucharov model koristi geomagnetsku širinu na točki probijanja ionosfere (engl. *Ionosphere Pierce Point – IPP*), kao što je prikazano na Slici 15 [68]. IPP je definiran kao točka gdje se linija vidljivosti koja povezuje GPS satelit s točkom prijema signala susreće s ranije spomenutim imaginarnim slojem [68]. Promjena TEC vrijednosti u IPP točki varira s obzirom na solarni ciklus, godišnje doba, geomagnetsko polje i položaj korisnika.



Slika 15: Koncept IPP točke [68]

Za korištenje Klobucharovog modela potrebni su Klobucharovi koeficijenti, α_n i β_n , koji se generiraju pomoću dva kriterija [68]. Prvi kriterij je datum promatranja. Glavna kontrolna stanica (MCS) GPS – a podijelila je jednu godinu u 37 intervala i dodijelila skupinu Klobucharovih koeficijenata svakom intervalu [68]. Drugi kriterij je srednja vrijednost solarnog zračenja (engl. *Solar Flux*) za prethodnih pet dana uključujući i odgovarajući dan [68]. Sunčevo zračenje je razvrstano u 10 stupnjeva, a za svaki stupanj određena je skupina Klobucharovih koeficijenata [68]. Glavna kontrolna stanica GPS – a vrši odabir potrebnih Klobucharovih koeficijenata s obzirom na datum opažanja i solarno zračenje te ih dostavlja putem satelitske navigacijske poruke [68].

Algoritam Klobucharovog modela definiran je na sljedeći način [4, 1]:

$$t_{iv} \begin{cases} t_n + A \cdot \cos \left[\frac{2\pi - (t - t_0)}{P} \right] & (\text{dan}) \\ t_n, \text{ ako } \left[\frac{2\pi - (t - t_0)}{P} \right] \geq \frac{\pi}{2} & (\text{noć}), \end{cases} \quad (19)$$

gdje su:

t_{iv} – vertikalno ionosfersko kašnjenje,

t_n – noćna vrijednost ionosferskog kašnjenja,

A – vršna vrijednost ionosferskog kašnjenja (amplituda),

P – period kosinusne komponente,

t – lokalno vrijeme za koje se računa ionosfersko kašnjenje,

t_0 – konstantni fazni pomak (trenutak pojave vršne vrijednosti ionosferskog kašnjenja).

Pri tome su A i P pokazatelji definirani Klobucharovim α_n i β_n koeficijentima [6, 1]:

$$A = \sum_{n=0}^3 \alpha_n \varphi^n ; \quad P = \sum_{n=0}^3 \beta_n \varphi^n, \quad (20)$$

gdje je:

φ^n – geomagnetska širina.

Uspješnost Klobucharovog modela u ovom radu analizirana je na temelju stvarnih položajnih zapisa stanica KOUR, KOUG i BOAV u poglavlju 5.7.

3.3. POKAZATELJI STANJA SVEMIRSKOG VREMENA

Za opis stanja svemirskog vremena u nekom razdoblju razmatraju se vrijednosti pokazatelja svemirskog vremena. Pokazatelji svemirskog vremena mogu se podijeliti u tri skupine: pokazatelji sunčeve aktivnosti, pokazatelji geomagnetske aktivnosti i ionosferski pokazatelji. Pokazatelja stanja svemirskog vremena ima mnogo, no ovdje će biti opisani samo oni važniji koji su se koristili tijekom istraživanja. Na temelju usporedbe uobičajenih vrijednosti pokazatelja s pokazateljima u određenom razdoblju, određuju se uvjeti svemirskog vremena koji mogu biti mirni, narušeni ili nešto između.

3.3.1. Pokazatelji Sunčeve aktivnosti

Prvi i najosnovniji pokazatelj Sunčeve aktivnosti je broj Sunčevih pjega (engl. *Sunspot Number* – *SSN*). Broj Sunčevih pjega ovisi o Sunčevoj aktivnosti, odnosno o solarnom ciklusu.

Kao što je već napomenuto, za vrijeme solarnog minimuma na Suncu se nalazi manje Sunčevih pjega, a za vrijeme solarnog maksimuma više. Valja napomenuti da se u SSN pokazatelj ubrajaju samo vidljive Sunčeve pjege, odnosno one koje su na strani Sunca koja je okrenuta prema Zemlji. Broj sunčevih pjega računa se na način da se svaka skupina Sunčevih pjega vrednuje s 10, pojedinačne pjege se vrednuju s 1, a ukupan zbroj se množi s koeficijentom ispravke koji je ovisan o opservatoriju:

$$R = K(10g + s), \quad (21)$$

gdje su:

R – broj Sunčevih pjega (SSN)

K – koeficijent ispravke ovisan o opservatoriju

g – broj skupina Sunčevih pjega

s – broj pojedinačnih Sunčevih pjega [69, 70].

Idući pokazatelj Sunčeve aktivnosti je solarno 10,7 radio zračenje (engl. *Solar Flux – SF*) koje se često naziva F10.7 indeks [71]. Solarno 10,7 radio zračenje jest Sunčevo zračenje koje ima valnu duljinu od 10,7 cm, odnosno frekvenciju od 2800 MHz te potječe iz Sunčeve kromosfere i korone [71]. F10.7 indeks jedan je od najdulje mjerenih pokazatelja Sunčeve aktivnosti, a može se mjeriti sa Površine Zemlje u svim atmosferskim uvjetima [71]. Dobro korelira s brojem Sunčevih pjega što znači da njegove vrijednosti također ovise o solarnom ciklusu [71]. F10.7 indeks izražava se u *sfu* jedinicama (engl. *Solar Flux Unit – sfu*), a jedna *sfu* jedinica iznosi $10^{-22} W * m^{-2} * Hz^{-1}$ [4, 71]. Ovaj pokazatelj pokazao se veoma pouzdanim pri prognoziranju svemirskog vremena [71].

SSN i F10.7 indeks su pokazatelji koji se mjere na dnevnoj bazi i korišteni su tijekom istraživanja u ovom radu.

Još jedan od pokazatelja Sunčeve aktivnosti je jakost međuplanetarnog magnetskog polja (IMF). Jakost međuplanetarnog magnetskog polja također ovisi o Sunčevoj aktivnosti kao i ostala dva spomenuta pokazatelja. Međuplanetarno magnetsko polje поближе je opisano u poglavlju 3.2.1. Pokazatelji koji su korišteni tijekom istraživanja su Bx, By i Bz komponente totalnog intenziteta međuplanetarnog magnetskog polja u GSM koordinatnom sustavu.

3.3.2. Pokazatelji geomagnetske aktivnosti

Pokazateljima geomagnetske aktivnosti opisuje se jakost Zemljinog magnetskog polja te njegove promijene koje su izazvane promjenjivim svemirskim vremenom. Jakost Zemljinog magnetskog polja u nekoj točki na površini Zemlje može se prikazati pomoću vektora totalnog intenziteta magnetskog polja kao što je opisano u poglavlju 3.2.2. Pokazatelji koji su korišteni u radu za opis jakosti Zemljinog magnetskog polja su X , Y i Z komponente totalnog intenziteta Zemljinog magnetskog polja. Promjenjivost Zemljinog magnetskog polja može se opisati pomoću Dst i Kp indeksa.

Dst indeks (engl. *Disturbance Storm Time Index*) je pokazatelj koji opisuje stanje uzbude magnetosfere na području geomagnetskog ekvatora i koristi se za procjenu geomagnetske aktivnosti. Dst se izračunava na temelju mjerenja koja obavljaju četiri geomagnetska opservatorija smještena u ekvatorijalnom pojasu [72]. Za vrijeme mirnih uvjeta svemirskog vremena, Dst vrijednosti kreću se oko nule, dok se za vrijeme geomagnetskih oluja vrijednosti mogu spustiti i do nekoliko stotina nanotesli [73].

Kp indeks je globalni indeks geomagnetske aktivnosti koji se temelji na trosatnim mjerenjima zemaljskih magnetometara koji se nalaze u području srednjih geografskih širina diljem svijeta [47]. Svaka stanica je kalibrirana prema svojoj zemljopisnoj širini i izvješćuje određeni K indeks ovisno o geomagnetskoj aktivnosti izmjerenoj na mjestu magnetometra [47]. Sam K indeks je trosatni kvazi – logaritamski lokalni indeks geomagnetske aktivnosti za određenu lokaciju i vrijeme, uspoređen s krivuljom mirnih geomagnetskih uvjeta [47]. Magnetometar mjeri maksimalnu devijaciju horizontalne komponente Zemljinog magnetskog polja. Globalni Kp indeks se zatim određuje algoritmom koji stavlja izmjerene K vrijednosti svake stanice zajedno. Vrijednost Kp indeksa kreće se od 0 do 9, gdje vrijednost 0 znači da postoji vrlo mala geomagnetska aktivnost, a vrijednost 9 znači ekstremnu geomagnetsku oluju [47].

3.3.3. Ionosferski pokazatelji

Pomoću ionosferskih pokazatelja opisuje se stanje pobude ionosfere. Od ionosferskih pokazatelja u radu je korišten ukupni sadržaj elektrona (TEC) koji je opisan u poglavlju 3.2.3.4. Osim ukupnog sadržaja elektrona, bitni ionosferski pokazatelji su i kritične frekvencije pojedinog ionosferskog sloja. Svaki ionosferski sloj ima svoju kritičnu frekvenciju nakon koje se signal više ne odbija, već kroz njega prolazi [4]. Drugim riječima, do kritične frekvencije dolazi kod približavanja frekvencije odaslanog signala najvišoj frekvenciji plazme u ionosferskom sloju, gdje izmjerena virtualna visina sloja zbog sve sporijeg širenja odaslanih

signala teži k beskonačnosti [4]. Iako kritične frekvencije postoje za svaki ionosferski sloj, obično se koriste kritične frekvencije za E, F1 i F2 slojeve i sukladno tome označavaju se sa f_0E , f_0F1 i f_0F2 . Za opis ionosfere koriste se još i vršne vrijednosti gustoće slobodnih elektrona ionosferskih slojeva te visine vršnih vrijednosti gustoće slobodnih elektrona ionosferskih slojeva. Vršne vrijednosti gustoće slobodnih elektrona označavaju se s obzirom na ionosferski sloj na koji se odnose (N_mE , N_mF1 , N_mF2), a sukladno tome visine na kojima se nalaze vršne vrijednosti gustoće slobodnih elektrona označavaju se sa h_mE , h_mF1 , h_mF2 .

3.4. DEFINICIJA MIRNIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA

Razdoblje mirnih uvjeta svemirskog vremena definira se kao razdoblje u kojem pokazatelji stanja svemirskog vremena imaju svoje uobičajene vrijednosti i ne dolazi do naglih promjena, već variraju u skladu sa svojom sistemskom varijacijom [40]. Za potrebe definiranja mirnih uvjeta svemirskog vremena u ovom radu, određene su granične vrijednosti pokazatelja Sunčeve aktivnosti, pokazatelja geomagnetske aktivnosti i ionosferskih pokazatelja (Tablica 5) [4, 52, 74, 40, 75].

Pokazatelji stanja svemirskog vremena		Granična vrijednost
Pokazatelji Sunčeve aktivnosti	SSN	> 30
	F10.7 [sfu]	> 100
	IMF_Bx [nT]	> 15
	IMF_By [nT]	> 15
	IMF_Bz [nT]	> 15
Pokazatelji geomagnetske aktivnosti	EMF_X	*
	EMF_Y	*
	EMF_Z	*
	Dst [nT]	< -20
Ionosferski pokazatelji	TEC [TECU]	> 25
* pokazatelji jakosti Zemljinog magnetskog polja nisu definirani graničnim vrijednostima već se gleda mijenjanje njihovih vrijednosti tijekom vremena (uobičajene promjene s obzirom na dnevne i noćne sate – mirni uvjeti, iznenadni i značajni porasti ili padovi jakosti polja – narušeni uvjeti)		

Tablica 5: Granične vrijednosti mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio autor]

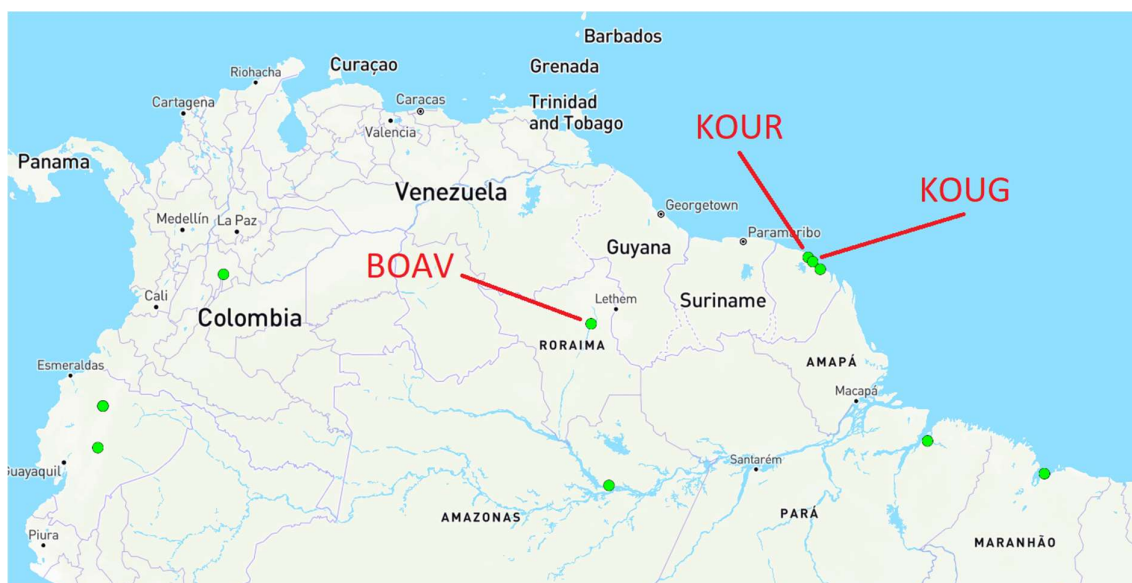
Ukoliko vrijednosti navedenih pokazatelja u određenom razdoblju prelaze granične vrijednosti iz Tablice 5, radi se o razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena, a ako se zadržavaju unutar definiranih vrijednosti, govorimo o razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena.

4. ISTRAŽIVANJE

U ovom poglavlju predstavljeno je geografsko područje istraživanja, vremensko razdoblje i sam tijek istraživanja. Geografsko područje podrazumijeva lokacije IGS stanica, a vremensko razdoblje dva trodnevna perioda u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena. Vremenska razdoblja definirana su s obzirom na pokazatelje stanja svemirskog vremena. U tijeku istraživanja opisano prikupljanje potrebnih podataka za istraživanje, njihova obrada i kreiranje rezultata istraživanja.

4.1. GEOGRAFSKO PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je provedeno na ekvatorijalnom području, točnije na trima IGS (engl. *International GNSS Service*) stanicama, od kojih se dvije nalaze u Francuskoj Gvajani, a jedna u Brazilu (Slika 16). Na temelju zapisa o položaju ovih triju stanica proračunata su odstupanja. U Tablici 6 nalaze se geografske koordinate stanica. Ove stanice izabrane su jer imaju ažurne podatke i nalaze se relativno blizu jedna drugoj.



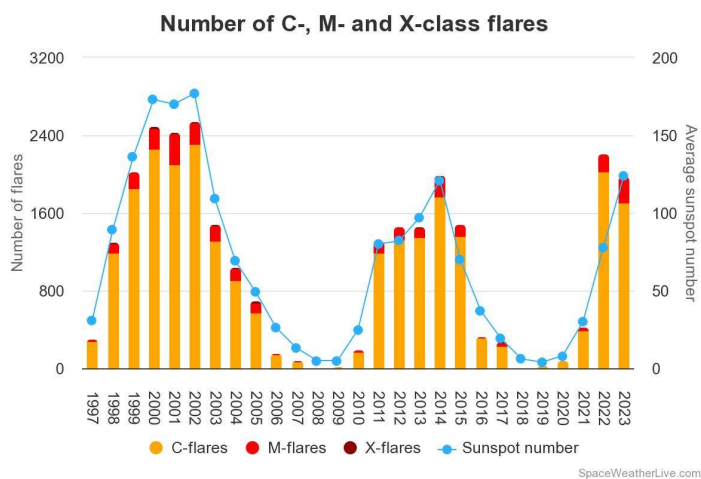
Slika 16: Geografski položaj IGS stanica [76]

Ime stanice	Država	Geografska širina	Geografska duljina	Nadmorska visina [m]
BOAV	Brazil	2,8451944° N	60,7011111° W	69,876
KOUR	Francuska Gvajana	5,2521667° N	52,8059722° W	- 25,362
KOUG	Francuska Gvajana	5,0984722° N	52,6397500° W	106,614

Tablica 6: Geografske koordinate stanica [76]

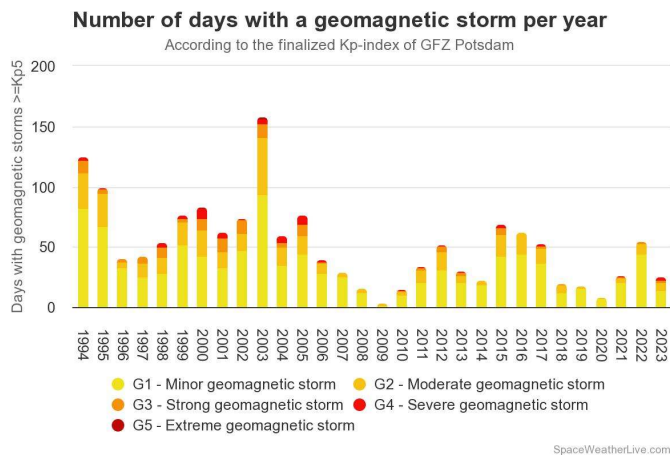
4.2. VREMENSKO RAZDOBLJE ISTRAŽIVANJA

S obzirom na temu diplomskog rada, izabrana su dva razdoblja koja će se obrađivati: (1) razdoblje mirnih uvjeta svemirskog vremena u trajanju od tri dana (28.12.2019 – 30.12.2019) i (2) razdoblje narušenih uvjeta svemirskog vremena, također u trajanju od tri dana (17.03.2015. – 19.03.2015.). Izbor razdoblja prvobitno je ovisio o Sunčevoj aktivnosti, odnosno o solarnom ciklusu. Na Slici 17 prikazan je prosječan broj vidljivih Sunčevih pjega i broj Sunčevih baklji po godinama kroz tri solarna ciklusa. Uočljiva je velika razliku u vrijednostima za 2019. i 2015. godinu.



Slika 17: Kretanje vrijednosti SSN - a i broja Sunčevih baklji tijekom godina [77]

Pri samom odabiru godina u kojima će se razmatrati trodnevno razdoblje, vodilo se računa i o broju dana u godini tijekom kojih su bile prisutne geomagnetske oluje (Slika 18). Uočljivo je da je broj dana s geomagnetskim olujama u 2015. godini bio znatno veći nego u 2019. te da su u 2015. godini bile prisutne snažne geomagnetske oluje, dok u 2019. nisu.



Slika 18: Broj dana s geomagnetskim olujama po godinama [77]

Za obradu teme ovog rada mogla su se koristiti i neka druga razdoblja, no zbog dostupnosti podataka izabrane su relativno kasnije godine. Razdoblja mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena opisana su pomoću pokazatelja stanja svemirskog vremena u poglavljima 5.1. i 5.2.

4.3. PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA ZA ISTRAŽIVANJE

U svrhu obrade teme ovog diplomskog rada provedeno je konkretno istraživanje u ranije spomenutim vremenskim periodima i geografskom području. U ovom poglavlju opisan je tijek istraživanja: od prikupljanja potrebnih podataka i njihove obrade do kreiranja rezultata istraživanja na temelju kojih će se pokušati obraniti postavljene hipoteze rada.

4.3.1. Prikupljanje potrebnih podataka za istraživanje

Kako bi se mogla izračunati odstupanja položaja i odrediti stanje svemirskog vremena u promatranim vremenskim periodima za određeno geografsko područje, za početak je bilo potrebno prikupiti sve potrebne podatke. To podrazumijeva podatke o položajnim zapisima i podatke o pokazateljima stanja svemirskog vremena.

4.3.1.1. Podaci o položajnim zapisima

Podaci o položajnim zapisima preuzeti su sa mrežnih stranica IGS – a (engl. *International GNSS Service*). To je međunarodna mreža referentnih stanica koje obavljaju prikupljanje i pohranu podataka vezanih za GNSS opažanja. Podaci o položajnim zapisima dostupni su za preuzimanje putem sljedeće poveznice: <ftp://igs.ign.fr/pub/igs/data/>. Preuzimanje se obavlja na način da se prvo odabere željena godina, zatim dan i onda željena IGS stanica. Preuzeta datoteka je opservacijska (.d) datoteka RINEX formata (engl. *Receiver Independent Exchange Format*) koja sadrži podatke o vremenima mjerenja (npr. trenutak prijema satelitskog signala), pseudoudaljenosti, broj faza vala nosioca i druge podatke koji su vezani za mjerenja pojedinog GNSS prijavnika na određenoj lokaciji [78]. U svrhu ovog rada preuzeto je 18 opservacijskih datoteka (3 stanice puta 6 promatranih dana).

Kako bismo mogli generirati položajne zapise, osim opservacijskih datoteka bilo je potrebno preuzeti i navigacijske (.n) datoteke, također RINEX formata. Navigacijske datoteke sadrže satelitske efemeride, koeficijente predviđenih ispravaka satelitskih satova, informacije o statusu GNSS sustava, stanju satelita, koeficijente ionosferskog modela, itd., odnosno informacije na razini sustava, a ne pojedinog prijavnika [78]. Navigacijske datoteke preuzimaju se posebno za svaki promatrani dan u godini, a dostupne su na mrežnim stranicama NOAA – e (engl. *National Oceanic and Atmospheric Administration*) putem sljedeće

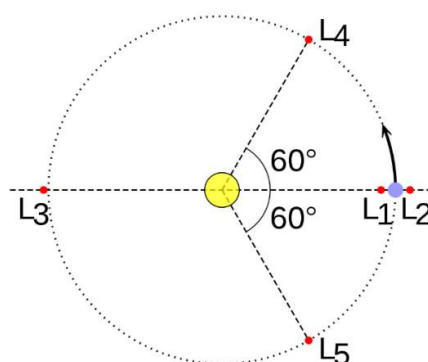
poveznice: <https://geodesy.noaa.gov/corsdata/rinex/>. Za potrebe ovog rada preuzeto je ukupno 6 navigacijskih datoteka (3 za razdoblje mirnih uvjeta svemirskog vremena i 3 za razdoblje narušenih uvjeta svemirskog vremena).

4.3.1.2. Podaci o pokazateljima stanja svemirskog vremena

Preuzeti su podaci za sljedeće pokazatelje stanja svemirskog vremena: SSN, F10.7, jakost IMF polja (IMF_Bx, IMF_By i IMF_Bz), jakost Zemljinog magnetskog polja (EMF_X, EMF_Y i EMF_Z), Dst i TEC.

Podaci koji se odnose na SSN i F10.7 imaju učestalost mjerenja od jednog dana i preuzeti su sa mrežnih stranica *Space Weather Live* (<https://www.spaceweatherlive.com/>).

Podaci o jakosti IMF polja preuzeti su sa mrežnih stranica NASA – e putem sljedeće poveznice: https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/sc_merge_min1.html. Preuzimanje datoteka se odvija na način da se izabere svemirska letjelica (engl. *Spacecraft*) s koje se mjerila jakost IMF polja, vremensko razdoblje, komponente IMF polja u željenom koordinatnom sustavu te učestalost mjerenja. Za potrebe ovog rada preuzeti su podaci o jakosti IMF_Bx, IMF_By i IMF_Bz komponentata u GSM (engl. *Geocentric Solar Magnetospheric system*) koordinatnom sustavu s učestalošću mjerenja od jedne minute sa svemirske letjelice Wind. Wind je svemirska letjelica koja se nalazi u Lissajousovoj orbiti u Langrangeovoj točki L1 [79]. U toj točki gravitacijska sila Sunca i Zemlje imaju jednak utjecaj na svemirsku letjelicu, stoga je njena pozicija stabilna i kreće se na način da se uvijek nalazi između Sunca i Zemlje [80]. Položaj Lagrangeovih točaka u odnosu na Sunce i Zemlju prikazan je na Slici 19.



Slika 19: Položaj Lagrangeovih točaka u odnosu na Sunce i Zemlju [80]

Podaci o jakosti komponentata geomagnetskog polja preuzeti su sa mrežnih stranica INTERMAGNET – a (engl. *International Real – time Magnetic Observatory Network*) putem sljedeće poveznice: https://imag-data.bgs.ac.uk/GIN_V1/GINForms2. INTERMAGNET je

globalna mreža geomagnetskih opservatorija smještenih diljem svijeta pomoću kojih se mjeri jakost Zemljinog magnetskog polja. Za potrebe ovog rada preuzeti su podaci o jakosti EMF_X, EMF_Y i EMF_Z komponenata Zemljinog magnetskog polja s učestalošću mjerenja od jedne minute, za geomagnetski opservatorij Kourou (KOU). Ovaj geomagnetski opservatorij je izabran jer se nalazi u istom gradu kao i jedna od referentnih IGS stanica, a ujedno je i najbliže svim trima IGS stanicama.

Podaci o iznosu *Dst* indeksa u promatranim razdobljima preuzeti su sa mrežnih stranica Svjetskog centra za geomagnetizam u Kyotu (engl. *World Data Center for Geomagnetism, Kyoto*) putem sljedeće poveznice: <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstae/index.html>. Učestalost mjerenja preuzetih podataka je jedan sat.

Podaci o TEC vrijednostima tijekom promatranog razdoblja derivirani su pomoću programskog alata *GPS Gopi* iz opservacijskih datoteka. Budući da proračun TEC vrijednosti podrazumijeva izoliranje i uklanjanje komponenata sklopovskog kašnjenja satelitskih predajnika i korisničkog prijamnika, bilo je potrebno preuzeti i datoteke koje sadrže te podatke. Navedene datoteke preuzete su sa mrežnih stranica Astronomskog Instituta Sveučilišta u Bernu putem sljedeće poveznice: <ftp://ftp.aiub.unibe.ch/CODE/>.

4.3.2. Obrada podataka za istraživanje

Kako bi se kreirali rezultati istraživanja, preuzete podatke potrebno je obraditi uz pomoć određenih programskih alata. Obrada podataka za istraživanje podijeljena je u tri faze: početna faza obrade podataka, proračun odstupanja i statistička obrada podataka. Pojedine faze obrade opisane su u tekstu koji slijedi.

4.3.2.1. Početna faza obrade podataka

Za početak je potrebno učiniti dekompresiju preuzetih opservacijskih (*.d*) datoteka u opservacijske (*.o*) datoteke. To su u suštini iste datoteke; *.d* datoteka je komprimirana inačica *.o* datoteke (zauzima 25 - 30 % izvorne opservacijske datoteke). Iako se obje mogu koristiti za generiranje položajnih zapisa, s komprimiranom datotekom nije moguće izvršavati sve zadatke i iskoristiti sve podatke koji se ovdje nalaze [78]. Dekompresija je izvršena pomoću programskog alata *RNXCMP*.

Sljedeći korak je generiranje datoteka o položajnim zapisima. Datoteke o položajnim zapisima (*.pos*) generirane su kombinacijom opservacijskih (*.o*) i navigacijskih (*.n*) datoteka pomoću programskog alata *RTKPOST* koji je dio programskog paketa *RTKLIB*. Prilikom generiranja *.pos* datoteka potrebno je učitati željenu opservacijsku i navigacijsku datoteku,

odabrati koji GNSS podsustav će se koristiti, definirati način pozicioniranja (engl. *Positioning Mode*), uključiti ili isključiti ionosferski i troposferski model, odabrati kut maskiranja, definirati separator odvajanja te definirati izlazni format zapisa položaja. *RTKPOST* ima još mnogo opcija, no ovo su najosnovnije. U ovom radu generirane su tri vrste *.pos* datoteka: (1) način pozicioniranja SPP, ionosferski model isključen, (2) način pozicioniranja SPP, ionosferski model uključen i (3) način pozicioniranja DGPS/DGNSS, ionosferski model isključen. Prilikom kreiranja *.pos* datoteka s načinom pozicioniranja DGPS/DGNSS, potrebno je odrediti koja stanica će biti *Rover* (stanica za koju se generiraju položajni zapisi), a koja *Base* (stanica pomoću koje se ispravlja položaj). Datoteke o položajnim zapisima s načinom pozicioniranja DGPS/DGNSS generirane su samo za stanicu KOUG. Postavljeni parametri tijekom generiranja *.pos* datoteka u ovome radu izgledali su kao u Tablici 7. Generirane su ukupno 42 datoteke o položajnim zapisima, od toga 18 vrste (1) i 18 vrste (2) (tri stanice puta 6 promatranih dana) te 6 vrste (3) (jedna stanica puta šest promatranih dana).

Parametar	Vrsta (1)	Vrsta (2)	Vrsta (3)
Included Satellites	GPS	GPS	GPS
Positioning Mode	Single	Single	DGPS/DGNSS
Rover Station	/	/	KOUG
Base Station	/	/	KOUR
Elevation Mask [°]	15	15	15
Ionosphere Correction	off	Broadcast	off
Troposphere Correction	Seastamoine	Seastamoine	off
Field Separator	,	,	,
Solution Format	Lat/Lon/Height	Lat/Lon/Height	Lat/Lon/Height

Tablica 7: Postavljeni parametri tijekom generiranja datoteka o položajnim zapisima [izradio student]

Početna faza obrade podataka podrazumijeva kreiranje podataka o položajnim zapisima i obradu podataka o pokazateljima stanja svemirskog vremena. Podaci o pokazateljima stanja svemirskog vremena obrađeni su pomoću programskog alata *Notepad++* kako bi se kasnije, zajedno sa podacima o položajnim zapisima, mogli obraditi u programskom jeziku *R*. U programski jezik *R* učitane su sve datoteke o položajnim zapisima i središnje datoteke o pokazateljima stanja svemirskog vremena kako bi se mogla izračunati odstupanja položaja te napraviti statistička obrada podataka.

4.3.2.2. Proračun odstupanja položaja

Proračun odstupanja položaja obavljen je u programskom jeziku *R* na temelju učitanih datoteka s položajnim zapisima. Svaka *.pos* datoteka sadrži 1440 zapisa o položaju (24 sata puta

60 minuta). Proračun odstupanja položaja podrazumijeva odstupanja geografske širine, dužine i visine, horizontalna odstupanja te 3D odstupanja.

Odstupanja geografske širine, duljine i visine predstavljaju razliku između stvarnog i izmjenjenog položaja stanice. Stvarni položaj stanice nam je poznat, a izmjenjeni se nalazi u *.pos* datotekama. Formule za izračun navedenih odstupanja u metrima su sljedeće:

$$\Delta\varphi = (\varphi_t - \varphi_c) \cdot 60 \cdot 1852 \quad (22)$$

$$\Delta\lambda = (\lambda_t - \lambda_c) \cdot 60 \cdot 1852 \cdot \cos\left(\varphi_t \cdot \frac{\pi}{180}\right) \quad (23)$$

$$\Delta h = h_t - h_c, \quad (24)$$

gdje su:

$\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ i Δh – odstupanja geografske širine, dužine i visine u metrima

φ_t , λ_t i h_t – stvarne (prave) vrijednosti geografske širine [°], dužine [°] i visine [m] stanice

φ_c , λ_c i h_c – izmjerene vrijednosti geografske širine [°], dužine [°] i visine [m] stanice

60 * 1852 – jedan stupanj ima 60 minuta, a jedna lučna minuta ima vrijednost 1852 metra (odnosno jednu nautičku milju), stoga je odstupanje u stupnjevima potrebno pomnožiti s ova dva broja kako bi se dobilo odstupanje u metrima.

Horizontalna odstupanja proračunata su pomoću *Haversine* formule. *Haversine* formula koristi se za izračun udaljenosti između dvije točke na sferi (odnosno na Zemljinoj površini). Stvarni položaj stanice možemo promatrati kao jednu točku na Zemljinoj površini, a izmjenjeni položaj kao drugu. Formula je sljedeća [81]:

$$\Delta hor = 2 \cdot r \cdot \sin^{-1} \left(\sqrt{\sin^2\left(\frac{\varphi_t - \varphi_c}{2}\right) + \cos(\varphi_t) \cdot \cos(\varphi_c) \cdot \sin^2\left(\frac{\lambda_t - \lambda_c}{2}\right)} \right), \quad (25)$$

gdje su:

Δhor – horizontalno odstupanje u metrima

r – radijus Zemlje na geografskoj širini stanice [m]

φ_t i λ_t – stvarne (prave) vrijednosti geografske širine i dužine stanice [rad]

φ_c i λ_c – izmjerene vrijednosti geografske širine i dužine stanice [rad].

Radijus Zemlje u metrima za određenu geografsku širinu izraženu u radijanima računa se na sljedeći način [81]:

$$r = 6378000 - 21 \cdot \sin(\varphi_t). \quad (26)$$

Budući da su vrijednosti geografske širine i dužine u .pos datotekama izražene u stupnjevima, prije uvrštavanja u *Haversine* formulu potrebno ih je pretvoriti u radijane. Stupnjevi se pretvaraju u radijane na način da se vrijednost u stupnjevima pomnoži sa $\pi/180$.

Kao što je već rečeno, *Haversine* formula služi za izračun udaljenosti između dvije točke na sferi, što znači da uzima u obzir zakrivljenost Zemlje. Budući da se u radu računaju odstupanja položaja čija najveća vrijednost ne dostiže ni 30 metara, zakrivljenost Zemlje u ovom slučaju ne igra nikakvu ulogu. Upravo zbog međusobno male udaljenosti između pravog i izmjerenih položaja stanica, horizontalna odstupanja mogla su se računati i pomoću Pitagorinog poučka kako slijedi:

$$\Delta hor = \sqrt{\Delta\varphi^2 + \Delta\lambda^2}, \quad (27)$$

gdje su:

Δhor – horizontalno odstupanje u metrima

$\Delta\varphi$ – odstupanje geografske širine u metrima

$\Delta\lambda$ – odstupanje geografske dužine u metrima.

Izračunata horizontalna odstupanja pomoću Pitagorinog poučka gotovo da se ni ne razlikuju od horizontalnih odstupanja izračunatih pomoću *Haversine* formule. Odlučeno je da će se u radu koristiti odstupanja izračunata pomoću *Haversine* formule jer su teoretski točnija (Zemljina površina sagledava se kao sfera, a ne kao ravnina), no u praktičnom smislu oba načina izračuna daju vjerodostojne podatke.

3D odstupanja u ovom radu izračunata su pomoću Pitagorinog poučka na sljedeći način:

$$\Delta 3D = \sqrt{\Delta hor^2 + \Delta h^2}, \quad (28)$$

gdje su:

$\Delta 3D$ – 3D odstupanje u metrima

Δhor – horizontalno odstupanje u metrima

Δh – odstupanje nadmorske visine u metrima.

Osim gore spomenute formule, mogla se koristiti i formula koja slijedi jer se pomoću nje dobiju gotovo identični rezultati kao s prvom formulom:

$$\Delta 3D = \sqrt{\Delta\varphi^2 + \Delta\lambda^2 + \Delta h^2} \quad (29)$$

gdje su:

$\Delta 3D$ – 3D odstupanje u metrima

$\Delta\varphi$ – odstupanje geografske širine u metrima

$\Delta\lambda$ – odstupanje geografske dužine u metrima

Δh – odstupanje nadmorske visine u metrima.

4.3.2.3. *Statistička obrada podataka*

Kako bi se kreirali rezultati istraživanja koji podrazumijevaju tablice sa statističkim pokazateljima odstupanja položaja i pokazatelja stanja svemirskog vremena te grafičke i korelacijske prikaze, u programskom jeziku *R* napravljena je statistička obrada podataka. Korišteni su sljedeći statistički pokazatelji: minimum, maksimum, srednja (aritmetička) vrijednost, medijan, prvi kvartil, treći kvartil i standardna devijacija. Pomoću spomenutih statističkih pokazatelja opisana su odstupanja položaja i pokazatelji stanja svemirskog vremena. Kako bi se odredila međusobna povezanost između odstupanja položaja i pokazatelja stanja svemirskog vremena, napravljen je korelacijski izračun uz pomoć Pearsonovog koeficijenta korelacije.

Srednja vrijednost je aritmetička sredina svih vrijednosti promatranog skupa, a dobiva se tako da se zbroj svih vrijednosti podijeli s njihovim brojem. Medijan je vrijednost koja dijeli skup na dva dijela na način da pola elemenata skupa ima veću, a pola manju vrijednost od medijana. Kvartili također dijele skup na dva dijela. Tako prvi kvartil dijeli skup na način da 1/3 elemenata ima manju vrijednost od njega, a 2/3 veću. Treći kvartil dijeli skup na način da 2/3 elemenata imaju manju vrijednost od njega, a 1/3 veću. Standardna devijacija predstavlja prosječno odstupanje vrijednosti od srednje vrijednosti, odnosno aritmetičke sredine. Standardna devijacija dobiva se kao aritmetička sredina sume kvadrata odstupanja, što znači da predstavlja prosječne vrijednosti odstupanja, bilo u pozitivnom ili negativnom smjeru.

Korelacija predstavlja suodnos ili međusobnu povezanost između različitih pojava predstavljenih vrijednostima dviju varijabli. Pri tome povezanost znači da je vrijednost jedne

varijable moguće s određenom vjerojatnošću predvidjeti na osnovi saznanja o vrijednosti druge varijable [82]. Promjena vrijednosti jedne varijable utječe na promjenu vrijednosti druge varijable. Varijabla koja svojom vrijednošću utječe na drugu varijablu naziva se *neovisna varijabla*, a varijabla na koju se utječe naziva se *ovisna varijabla* [82]. Ovisno o međusobnom odnosu dviju varijabli među kojima postoji korelacija, ona može biti linearna ili nelinearna [82]. Pokazatelj koji govori o tome koliko su promjene vrijednosti jedne statističke varijable povezane s promjenama vrijednosti druge statističke varijable naziva se *koeficijent korelacije* [82]. Postoji mnogo koeficijenata korelacije, no najpoznatiji su Pearsonov koeficijent i Spearmanov koeficijent.

Pearsonov koeficijent linearne korelacije mjeri jakost i smjer linearne korelacije, tj. vjerojatnost da vrijednosti jedne statističke varijable odgovara određena vrijednost druge statističke varijable pri izravnoj ili recipročnoj razmjernosti [82]. Pearsonov koeficijent računa se na sljedeći način [82]:

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n\sum(x_i)^2 - (\sum x_i)^2][n\sum(y_i)^2 - (\sum y_i)^2]}}, \quad (30)$$

gdje su:

r – Pearsonov koeficijent linearne korelacije,

x_i, y_i – uspoređivane vrijednosti varijable,

n – broj uspoređivanih vrijednosti.

Spearmanov koeficijent redosljedne korelacije mjeri jakost i smjer korelacije između redosljeda vrijednosti monotonih statističkih varijabli, pri čemu nije važno jesu li korelacije linearne ili nelinearne [82]. Računa se prema formuli [82]:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}, \quad (31)$$

gdje su:

ρ – Spearmanov koeficijent redosljedne korelacije,

n – broj uspoređivanih vrijednosti.

i – redno mjesto pojedine vrijednosti,

d – razlika između rednih mjesta vrijednosti u redosljedima uspoređivanih varijabli.

Pri tumačenju vrijednosti Pearsonova i Spearmanova koeficijenta vrijede ista pravila. Koeficijenti mogu poprimiti vrijednosti između +1 i -1; pozitivni su kad je korelacija pozitivna, tj. ako porastu jedne varijable odgovara porast druge, a negativni kad je korelacija negativna, tj. kad porastu jedne varijable odgovara smanjenje druge. Tumačenje vrijednosti Pearsonova i Spearmanova koeficijenta prikazano je u Tablici 8.

Vrijednost koeficijenta	Opis korelacije
-1	potpuna i negativna
od -1 do -0,75	vrlo dobra do izvrsna i negativna
od -0,75 do -0,50	umjerena i negativna
od -0,50 do -0,25	slaba i negativna
od -0,25 do 0	neznatna i negativna
od 0	nema korelacije
od 0 do 0,25	neznatna i pozitivna
od 0,25 do 0,50	slaba i pozitivna
od 0,50 do 0,75	umjerena i pozitivna
od 0,75 do 1	vrlo dobra do izvrsna i pozitivna
+1	potpuna i pozitivna

Tablica 8: Tumačenje vrijednosti Pearsonova i Spearmanova koeficijenta [82]

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA TE NJIHOVA ANALIZA

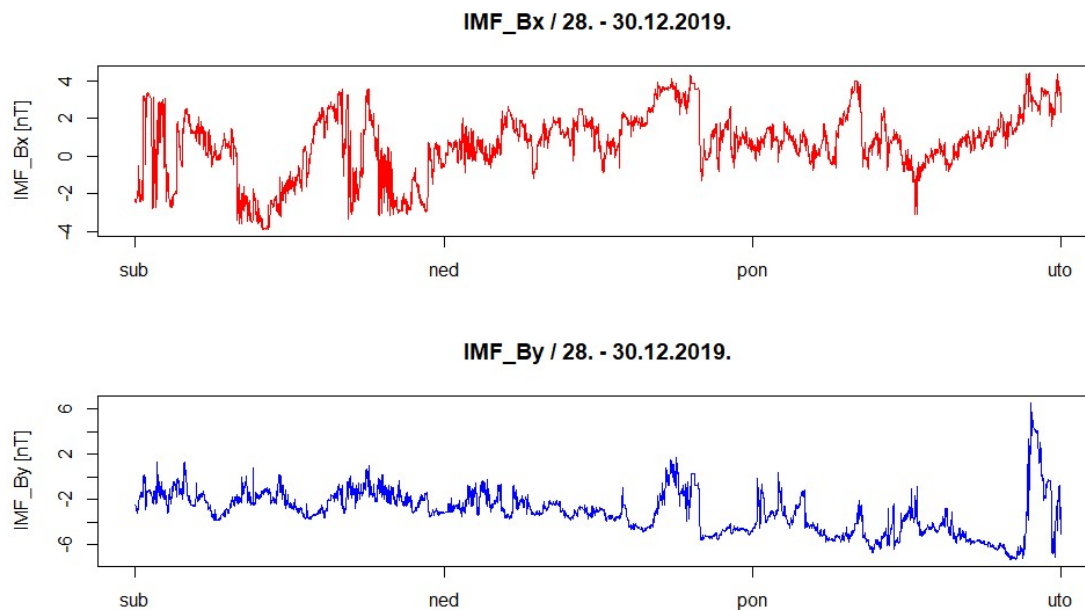
5.1. OPIS RAZDOBLJA MIRNIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA

Za razdoblje mirnih uvjeta svemirskog vremena izabrano je trodnevno razdoblje od 28.12.2019. do 30.12.2019. (DOY 362 – 364). Kao osnovni pokazatelji Sunčeve aktivnosti korišteni su SSN i F10.7 indeks, a njihove vrijednosti prikazane su za svaki dan posebno u Tablici 9.

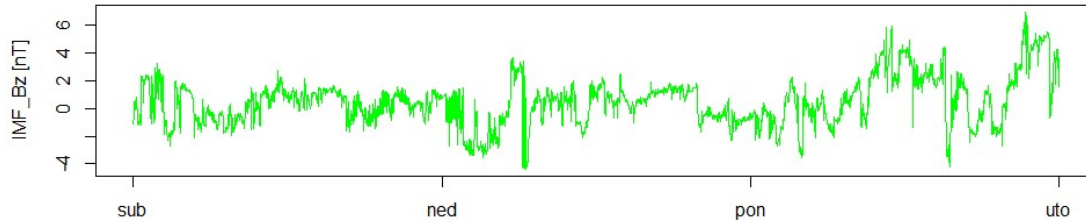
Dan	SSN	F10.7 [sfu]
28.12.2019. (DOY 362)	0	72
29.12.2019. (DOY 363)	0	72
30.12.2019. (DOY 364)	0	72

Tablica 9: Vrijednosti SSN - a i F10.7 indeksa tijekom razdoblja mirnih uvjeta svemirskog vremena [83]

Osim gore navedenih, dobar pokazatelj Sunčeve aktivnosti su i komponente totalnog intenziteta međuplanetarnog magnetskog polja (IMF_{Bx} , IMF_{By} i IMF_{Bz}), a njihov iznos u promatranom razdoblju prikazan je na Slici 20.



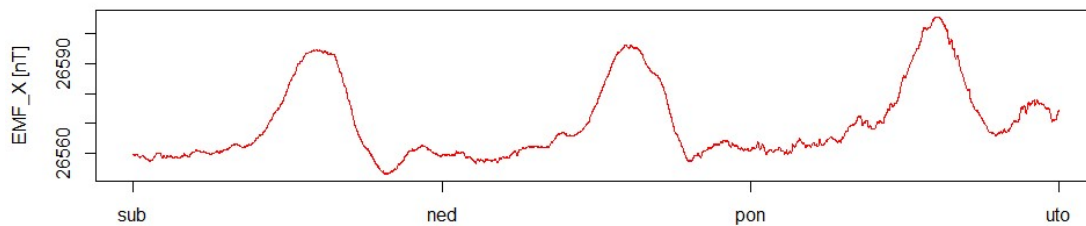
IMF_Bz / 28. - 30.12.2019.



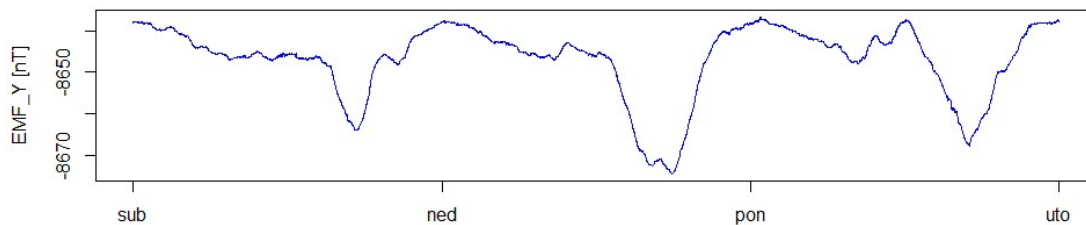
Slika 20: Vrijednosti Bx (gornji prikaz), By (srednji prikaz) i Bz (donji prikaz) komponenta IMF polja tijekom razdoblja mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

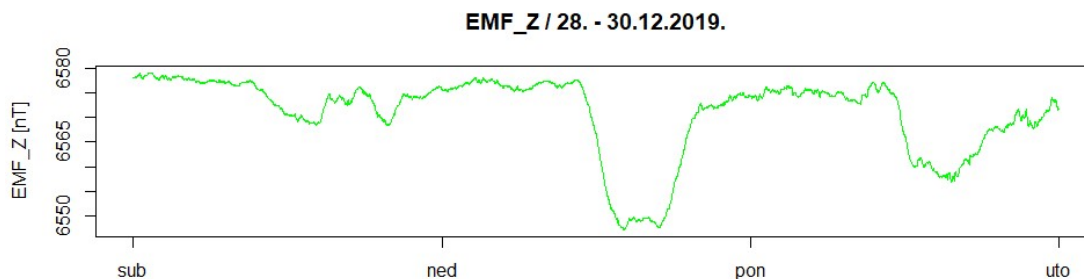
Geomagnetska aktivnost u promatranom razdoblju opisana je pomoću komponenta totalnog intenziteta Zemljinog magnetskog polja (EMF_X , EMF_Y i EMF_Z) i Dst indeksa. Podaci o jakosti Zemljinog magnetskog polja odnose se na provedena mjerenja geomagnetskog opservatorija Kourou koji je ujedno najbliži geomagnetski opservatorij svim trima IGS stanicama. Komponente totalnog intenziteta Zemljinog magnetskog polja u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena prikazane su na Slici 21, a vrijednost Dst indeksa prikazana je na Slici 22.

EMF_X / 28. - 30.12.2019.

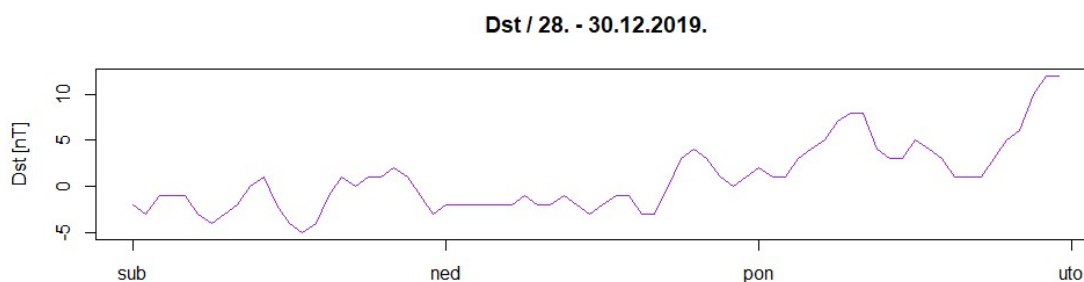


EMF_Y / 28. - 30.12.2019.



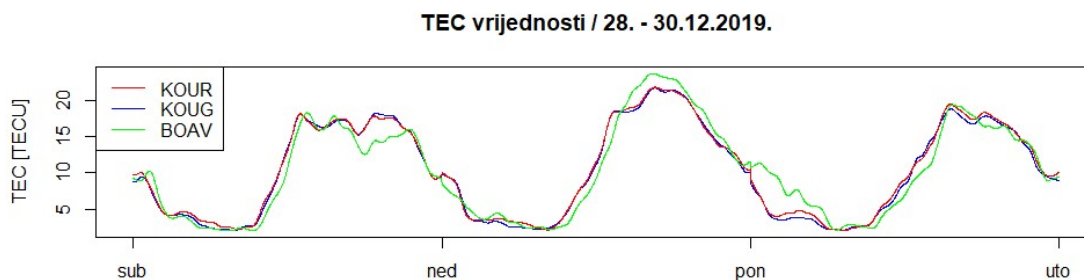


Slika 21: Vrijednosti X (gornji prikaz), Y (srednji prikaz) i Z (donji prikaz) komponenta Zemljinog magnetskog polja tijekom razdoblja mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]



Slika 22: Vrijednosti Dst indeksa tijekom razdoblja mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Za opis stanja ionosfere u promatranom razdoblju razmotrit će se kretanje vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona. Budući da je TEC deriviran iz opservacijskih datoteka, njegove vrijednosti prikazat će se za ionosferu iznad svake stanice posebno (Slika 23).



Slika 23: TEC vrijednosti u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Osim grafičkih prikaza, napravljena je i statistička analiza pokazatelja stanja svemirskog vremena, a vrijednosti njenih pokazatelja nalaze se u Tablicama 10 i 11.

	Dst	IMF_Bx	IMF_By	IMF_Bz	EMF_X	EMF_Y	EMF_Z
Minimum	-5,00	-3,91	-7,36	-4,40	26552,90	-8674,60	6547,10
Prvi kvartil	-2,00	-0,17	-4,54	-0,68	26560,50	-8647,60	6568,90
Medijan	0,00	0,78	-3,03	0,50	26564,30	-8645,30	6574,10
Srednja vrijednost	0,81	0,65	-3,10	0,47	26570,02	-8646,88	6570,95
Treći kvartil	3,00	1,72	-1,88	1,34	26576,40	-8640,60	6576,20
Maksimum	12,00	4,44	6,60	6,95	26605,80	-8636,60	6579,10
Standardna devijacija	3,68	1,70	1,86	1,70	12,85	8,79	7,89

Tablica 10: Statistički pokazatelji vrijednosti pokazatelja stanja svemirskog vremena u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

	KOUR	KOUG	BOAV
Minimum	2,02	2,03	2,01
Prvi kvartil	4,06	3,61	3,96
Medijan	9,76	9,42	9,56
Srednja vrijednost	10,39	10,19	10,23
Treći kvartil	16,70	16,67	15,68
Maksimum	21,84	21,73	23,74
Standardna devijacija	6,31	6,39	6,35

Tablica 11: Statistički pokazatelji TEC vrijednosti u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Promatrajući prikazane pokazatelje stanja svemirskog vremena, dolazimo do zaključka da njihove vrijednosti ne premašuju definirane vrijednosti mirnih uvjeta svemirskog vremena te možemo zaključiti da je razdoblje od 28.12.2019. do 30.12.2019. uistinu bilo razdoblje mirnih uvjeta svemirskog vremena. Broj vidljivih Sunčevih pjega tijekom svih triju dana bio je jednak nuli, a F10.7 indeks iznosio je 72 sfu, što je manje od definiranih 100 sfu. Vrijednosti komponenata međuplanetarnog magnetskog polja nisu dostigle čak ni 10 nT, a za tu vrijednost se smatra da je IMF polje tek umjerene jakosti [52]. Promatrajući X i Y komponente Zemljinog magnetskog polja uočavamo da nema nikakvih značajnih poremećaja te da su vrijednosti veće tijekom dnevnih sati, a manje tijekom noćnih. Upravo tako bi trebalo i biti jer je magnetosfera tlačena s dnevne strane i jakost magnetskog polja opada prema repu magnetosfere. Ne smije nas zavarati Y komponenta Zemljinog magnetskog polja za koju bismo iz prve možda rekli da tijekom dnevnih sati ima manje vrijednosti jer minus označava samo smjer, a jakost se gleda kao apsolutna vrijednost. Dst indeks je također malen i nije ni blizu graničnim definiranim vrijednostima mirnih uvjeta svemirskog vremena. Vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona

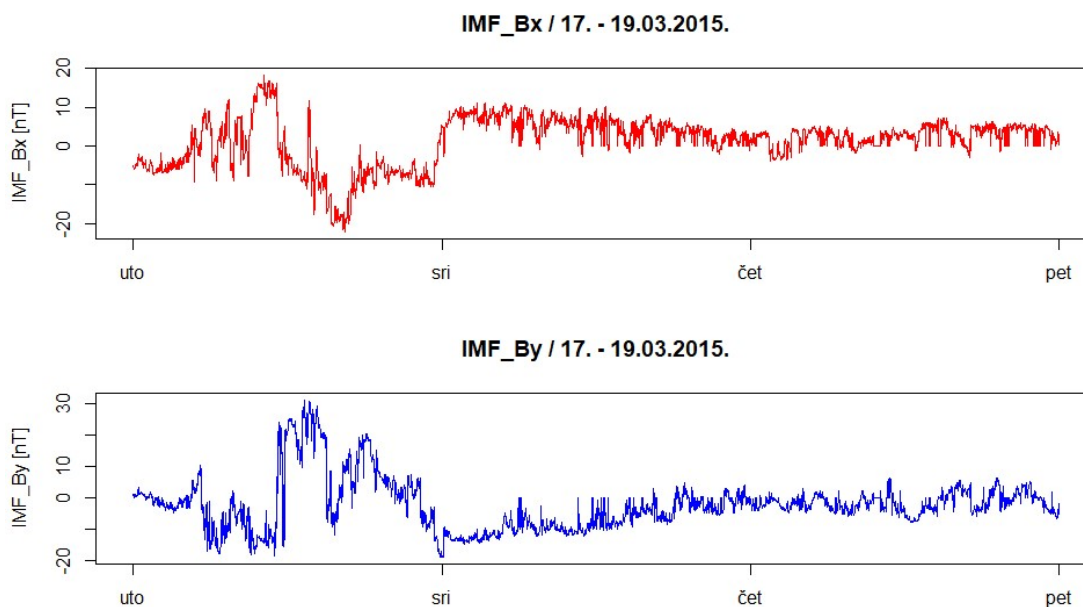
također su relativno male. Porast vrijednosti uočavamo tijekom dnevnih sati, a razlog tome je djelovanje Sunčevog vjetra koje ima znatno jači učinak na stranu Zemlje koja je okrenuta prema Suncu. Također uočavamo da su TEC vrijednosti stanica KOUR i KOUG vrlo slične, dok vrijednosti stanice BOAV malo odstupaju. Razlog je u tome što su prve dvije stanice vrlo blizu jedna drugoj pa je ionosfera iznad njih gotovo identična, dok je treća stanica ipak udaljenija pa ima i različitiju ionosferu.

5.2. OPIS RAZDOBLJA NARUŠENIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA

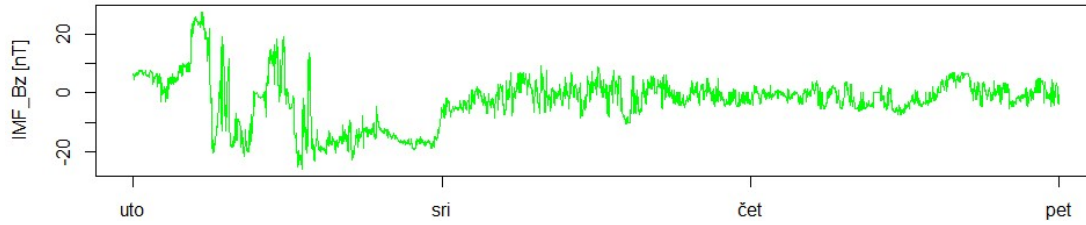
Za razdoblje narušenih uvjeta svemirskog vremena izabrano je trodnevno razdoblje od 17.03.2015. do 19.03.2015. (DOY 76 – 78). Za opis ovog razdoblja koristit će se jednaki pokazatelji kao i za razdoblje mirnih uvjeta svemirskog vremena.

Dan	SSN	F10.7 [sfu]
17.03.2015. (DOY 76)	60	114
18.03.2015. (DOY 77)	44	115
19.03.2015. (DOY 78)	71	109

Tablica 12: Vrijednosti SSN - a i F10.7 indeksa tijekom razdoblja narušenih uvjeta svemirskog vremena [83]

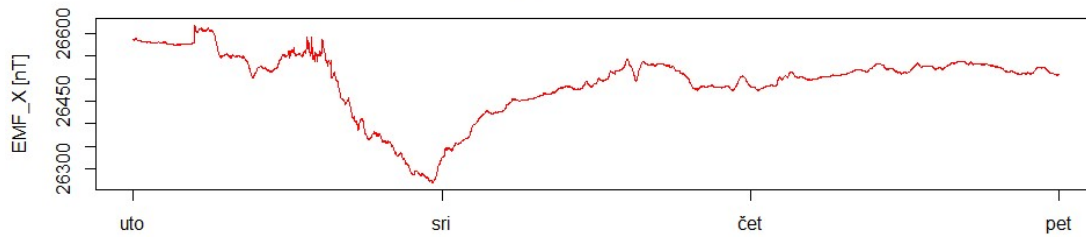


IMF_Bz / 17. - 19.03.2015.

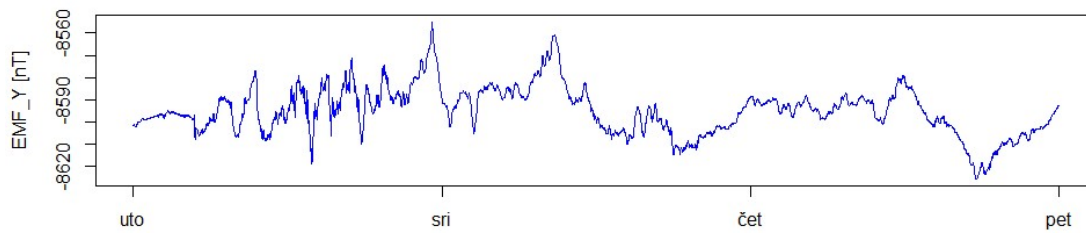


Slika 24: Vrijednosti Bx (gornji prikaz), By (srednji prikaz) i Bz (donji prikaz) komponentata IMF polja tijekom razdoblja narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

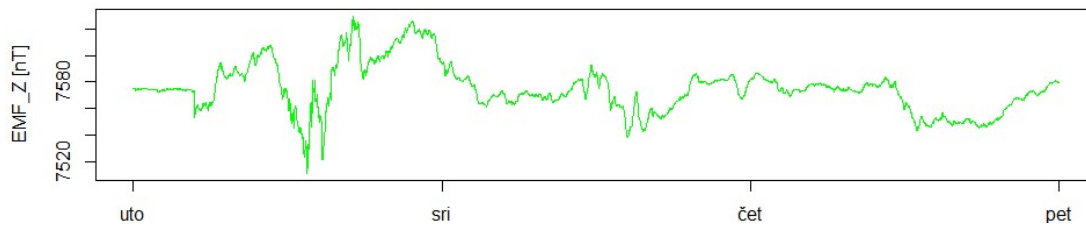
EMF_X / 17. - 19.03.2015.



EMF_Y / 17. - 19.03.2015.

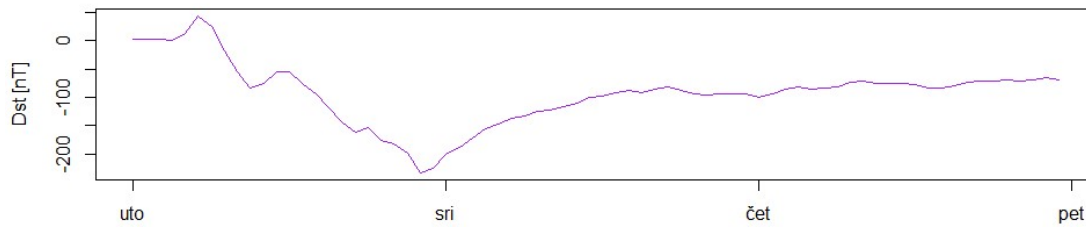


EMF_Z / 17. - 19.03.2015.



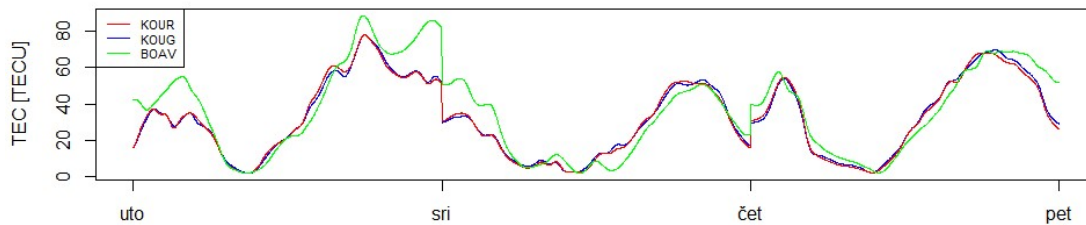
Slika 25: Vrijednosti X (gornji prikaz), Y (srednji prikaz) i Z (donji prikaz) komponentata Zemljinog magnetskog polja tijekom razdoblja narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Dst / 17. - 19.03.2015.



Slika 26: Vrijednosti Dst indeksa tijekom razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

TEC vrijednosti / 17. - 19.03.2015.



Slika 27: TEC vrijednosti u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

	Dst	IMF_Bx	IMF_By	IMF_Bz	EMF_X	EMF_Y	EMF_Z
Minimum	-234,00	-22,26	-18,88	-25,98	26268,90	-8625,70	7510,90
Prvi kvartil	-117,25	-2,15	-7,51	-5,32	26476,50	-8602,00	7564,20
Medijan	-86,00	2,78	-2,81	-1,34	26511,00	-8595,20	7574,10
Srednja vrijednost	-92,67	1,32	-2,17	-2,53	26491,53	-8595,01	7574,84
Treći kvartil	-71,75	5,35	0,64	1,72	26531,10	-8588,90	7582,60
Maksimum	45,00	18,42	31,33	27,62	26618,60	-8554,90	7629,90
Standardna devijacija	54,55	6,28	8,30	8,18	70,51	10,69	18,13

Tablica 13: Statistički pokazatelji vrijednosti pokazatelja stanja svemirskog vremena u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

	KOUR	KOUG	BOAV
Minimum	2,12	2,10	2,09
Prvi kvartil	12,96	13,23	12,22
Medijan	31,66	30,96	38,42
Srednja vrijednost	32,47	32,67	36,36
Treći kvartil	51,64	51,49	53,66
Maksimum	78,09	78,04	88,64
Standardna devijacija	20,74	20,62	23,94

Tablica 14: Statistički pokazatelji TEC vrijednosti u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Uočeno je da tijekom ovog promatranog razdoblja SSN i F10.7 indeks imaju veće vrijednosti od definiranih vrijednosti mirnog svemirskog vremena. SSN se kreće između 44 i 71, a F10.7 indeks tijekom sva tri dana ima veću vrijednost od 100 sfu. Jakost komponenta međuplanetarnog magnetskog polja doseže vrijednosti pri kojima se smatra da je polje iznimne jakosti, čak 30 nT [52]. Na temelju ovih podataka možemo zaključiti da je tijekom promatranog razdoblja Sunčeva aktivnost bila povećana te da je moguć značaj utjecaj na ionosferu i sam geoprostor. Što se tiče jakosti Zemljinog magnetskog polja, uočene su značajne oscilacije svih triju komponenta. Umjesto da se vrijednosti mijenjaju s obzirom na dnevne i noćne sate, kao što je to slučaj u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena, ovdje uočavamo nagle poraste i padove u jakosti polja. Promatrajući kretanje vrijednosti *Dst* indeksa, možemo zaključiti da je u promatranom razdoblju došlo do značajnih geomagnetskih poremećaja. Vrijednost *Dst* indeksa u početku raste, zatim naglo pada do vrijednosti većih od – 200 nT, a nakon toga se postepeno stabilizira. Upravo ovakav slijed promijene vrijednosti *Dst* indeksa označava postojanje geomagnetske oluje [58]. Blago povećanje vrijednosti u početnoj fazi nastanka geomagnetske oluje je posljedica kompresije magnetosfere, dok je posljedica naglog pada vrijednosti *Dst* indeksa pad jakosti horizontalne komponente Zemljinog magnetskog polja (u ovom slučaju najviše uočljivo na *X* komponenti) [58]. Stanje pobude ionosfere u promatranom razdoblju opisat će se pomoću ukupnog sadržaja elektrona. Uočavamo da TEC doseže vrijednosti veće od 80 TECU, što znači da je Sunčeva aktivnost imala značajan utjecaj na pobudu ionosfere u ovom razdoblju. Najveće vrijednosti TEC – a javljaju se u vrijeme kada je *Dst* indeks bio najniži.

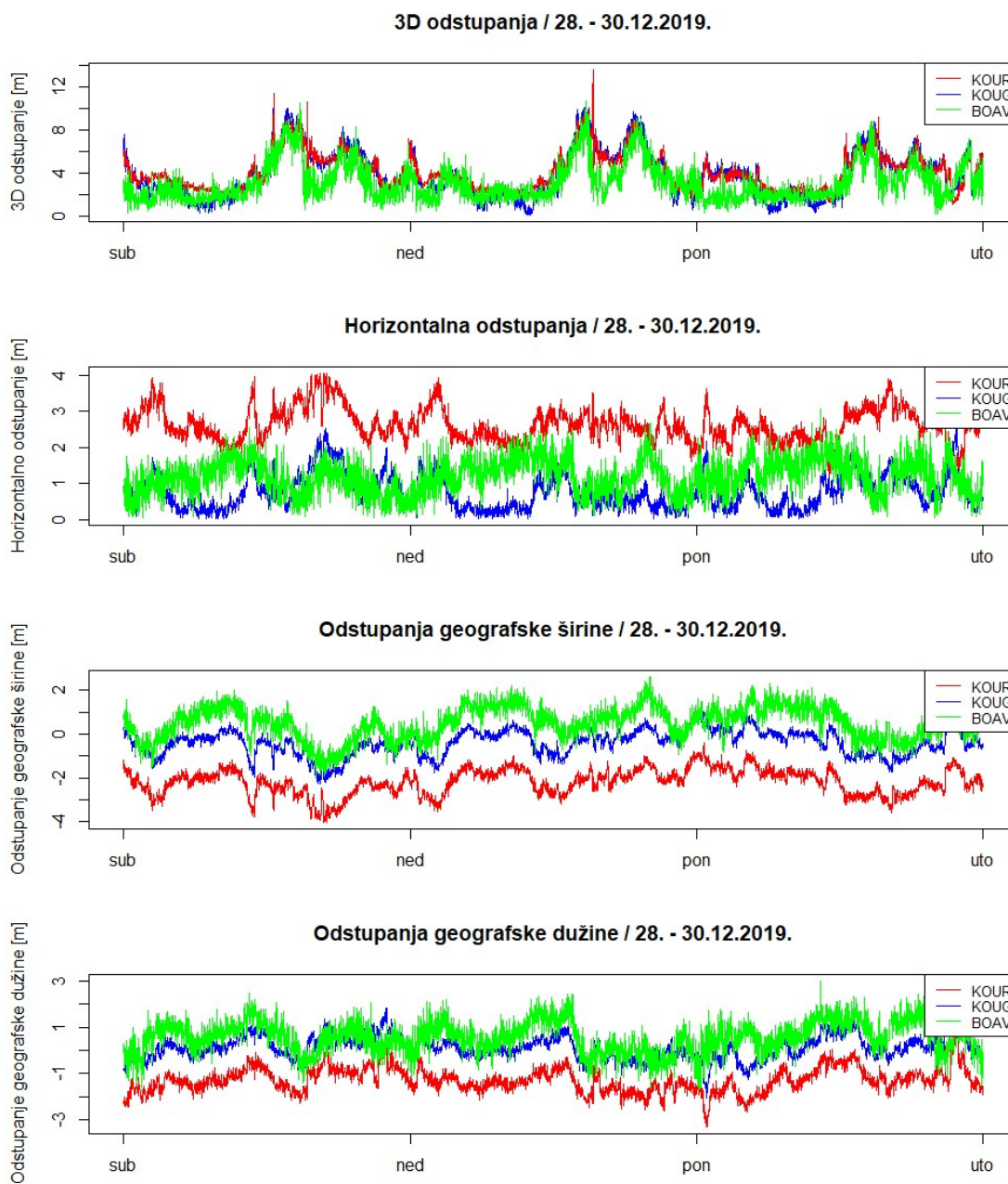
Na dan 17.03.2015. u približno 4 h i 30 min snažan koronarni izbačaj mase dospio je do Zemlje te izazvao geomagnetsku oluju jačine G4 koja je poznata pod nazivom *St. Patrick's Day 2015 Geomagnetic Storm* [84].

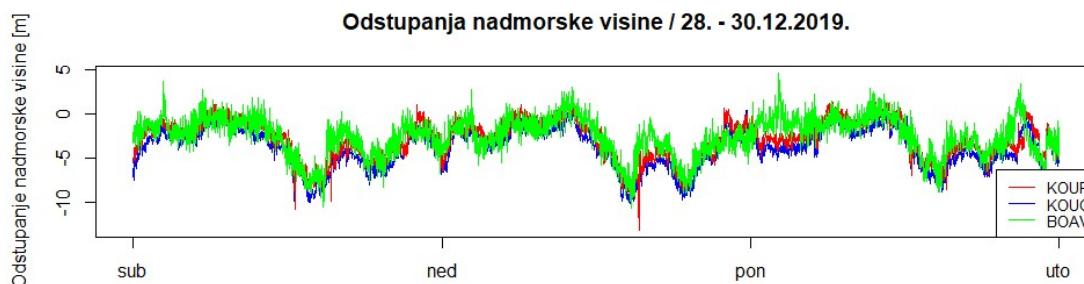
Na temelju vrijednosti pokazatelja stanja svemirskog vremena te usporedbom istih s definiranim uvjetima mirnog svemirskog vremena, možemo zaključiti da je razdoblje od 17.03.2015. do 19.03.2015. bilo razdoblje narušenih uvjeta svemirskog vremena.

5.3. ANALIZA Odstupanja položaja u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena

Kako bi se analizirala odstupanja položaja u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena, razmotrit će se rezultati istraživanja koji podrazumijevaju grafičke prikaze i statističke pokazatelje odstupanja položaja za sve tri promatrane stanice u spomenutom razdoblju. Razmotrit će se 3D odstupanja položaja, horizontalna odstupanja, odstupanja geografske širine

i duljine te odstupanja nadmorske visine. Kretanje vrijednosti spomenutih odstupanja tijekom razdoblja od 28. – 30.12.2019. za IGS stanice KOUR, KOUG i BOAV prikazano je na Slici 28.





Slika 28: Sve komponente odstupanja položaja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

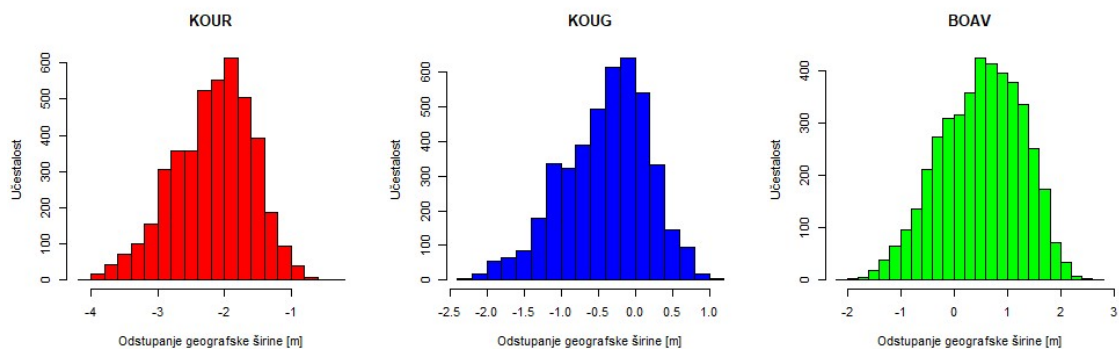
Za početak će se promotriti 3D odstupanja. Uočljivo je kako su kretanja vrijednosti 3D odstupanja tijekom vremena vrlo slična za sve tri stanice. Odstupanja su veća tijekom dnevnih sati, a manja tijekom noćnih. Upravo takav oblik kretanja vrijednosti ima i ukupni sadržaj elektrona o kojem uvelike ovisi veličina odstupanja položaja. Vrijednosti 3D odstupanja tijekom dnevnih sati dosežu cca. 12 metara, a tijekom noćnih sati cca. 4 metra. Što se tiče horizontalnih odstupanja, jasno se primjećuju razlike u vrijednostima s obzirom na pojedinu stanicu. Također je uočljivo da se vrijednosti odstupanja geografske širine i duljine za svaku stanicu razlikuju, dok su odstupanja nadmorske visine približno jednaka kod sve tri stanice. Odstupanja nadmorske visine poprimaju značajno veće vrijednosti od odstupanja geografske širine i dužine. Uzrok većeg odstupanja vertikalne komponente od horizontalne je geometrija satelita koja više pogoduje preciznosti određivanja geografske širine i dužine, nego nadmorske visine. Prilikom promatranja vrijednosti odstupanja, treba uzeti u obzir da se veličina odstupanja promatra kao apsolutna vrijednost, dok minus samo označava smjer u kojem se izmjereni položaj nalazi u odnosu na pravi položaj stanice.

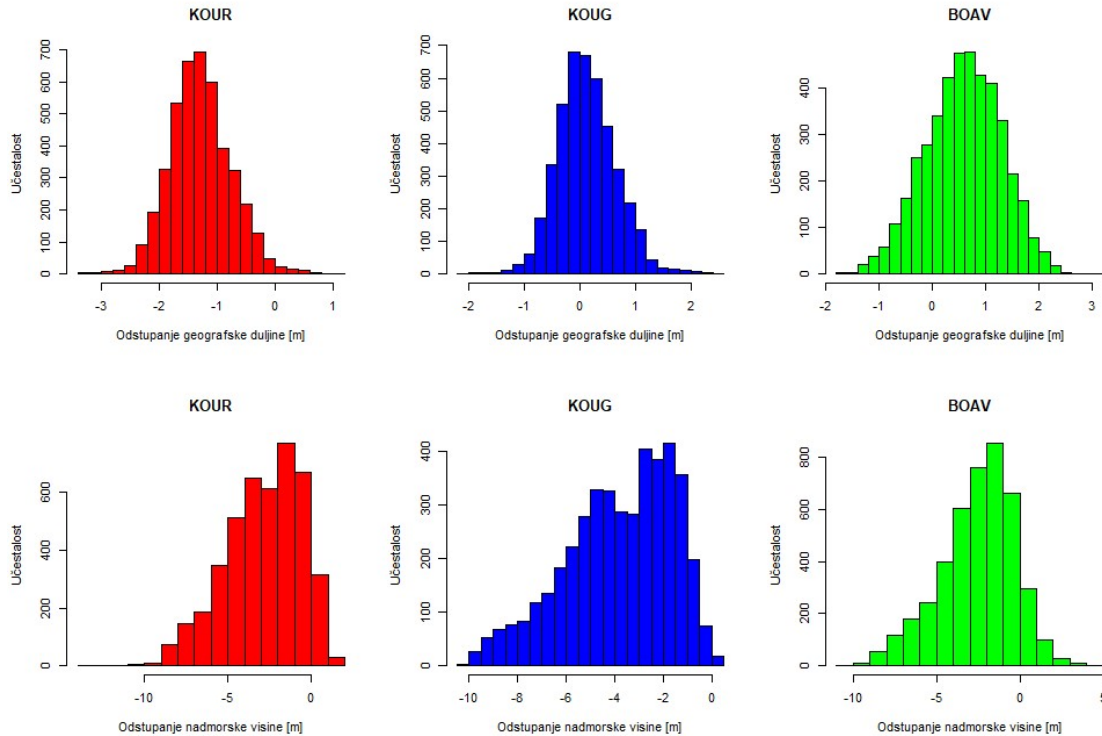
Stanica KOUR	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,1311	1,1052	-4,0351	-3,3348	-13,1552
Prvi kvartil	2,6891	2,2824	-2,5838	-1,6388	-4,3393
Medijan	3,7459	2,5684	-2,1129	-1,3172	-2,6005
Srednja vrijednost	4,1467	2,6114	-2,1748	-1,2863	-2,8644
Treći kvartil	5,2351	2,9054	-1,7472	-0,9605	-1,0894
Maksimum	13,6063	4,0575	-0,3994	1,1409	1,8058
Standardna devijacija	1,7552	0,4740	0,5910	0,5346	2,2423
Stanica KOUG	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,0854	0,0113	-2,2600	-2,0606	-10,1435
Prvi kvartil	2,1843	0,3685	-0,7854	-0,2227	-5,2734
Medijan	3,6467	0,6715	-0,3210	0,1013	-3,5541
Srednja vrijednost	3,9558	0,7532	-0,3999	0,1319	-3,8331

Treći kvartil	5,4070	1,0530	0,0140	0,4592	-2,0221
Maksimum	10,2809	2,6434	1,0974	2,5713	0,4651
Standardna devijacija	2,1731	0,4763	0,5761	0,5313	2,2100
Stanica BOAV	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,1947	0,0359	-2,0053	-1,7014	-10,6631
Prvi kvartil	1,8531	0,8102	-0,0520	0,0968	-3,8607
Medijan	2,6342	1,1954	0,5622	0,6017	-2,2666
Srednja vrijednost	3,1546	1,1929	0,5066	0,5769	-2,5428
Treći kvartil	4,0692	1,5570	1,0839	1,0838	-0,9736
Maksimum	10,6846	3,0614	2,6288	3,0216	4,6577
Standardna devijacija	1,7631	0,5062	0,7655	0,7059	2,2171

Tablica 15: Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

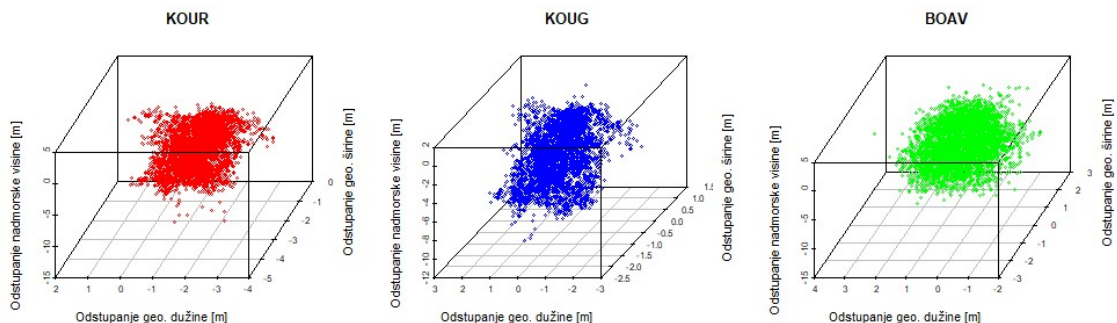
U Tablici 15 prikazani su statistički pokazatelji odstupanja položaja svih triju stanica u promatranom razdoblju. Najveća vrijednost 3D odstupanja zabilježena je za stanicu KOUR i iznosi 13,61 m, dok najmanja vrijednost 3D odstupanja iznosi 0,09 m i zabilježena je za stanicu KOUG. Posljedica najvećeg 3D odstupanja stanice KOUR je najveće odstupanje nadmorske visine iste te stanice, a ono iznosi – 13,16 m. Najveće horizontalno odstupanje također je izmjereno za stanicu KOUR te iznosi 4,06 m, dok je najmanje izmjereno za stanicu KOUG i iznosi 0,01 m. Srednje vrijednosti 3D odstupanja svih triju stanica kreću se između cca. 3 i 4 metara, dok se srednje vrijednosti horizontalnih odstupanja kreću između 0,7 i 2,6 metara. Kod sve tri stanice najtočnije je izmjerena geografska duljina, a zatim geografska širina. Budući da je korišten način određivanja položaja SPP (engl. *Single Point Positioning*) te da je ionosferski model bio isključen, ovo su prihvatljiva odstupanja položaja za razdoblje mirnih uvjeta svemirskog vremena.





Slika 29: Histogrami odstupanja geografske širine (gornji prikaz), dužine (srednji prikaz) i nadmorske visine (donji prikaz) stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

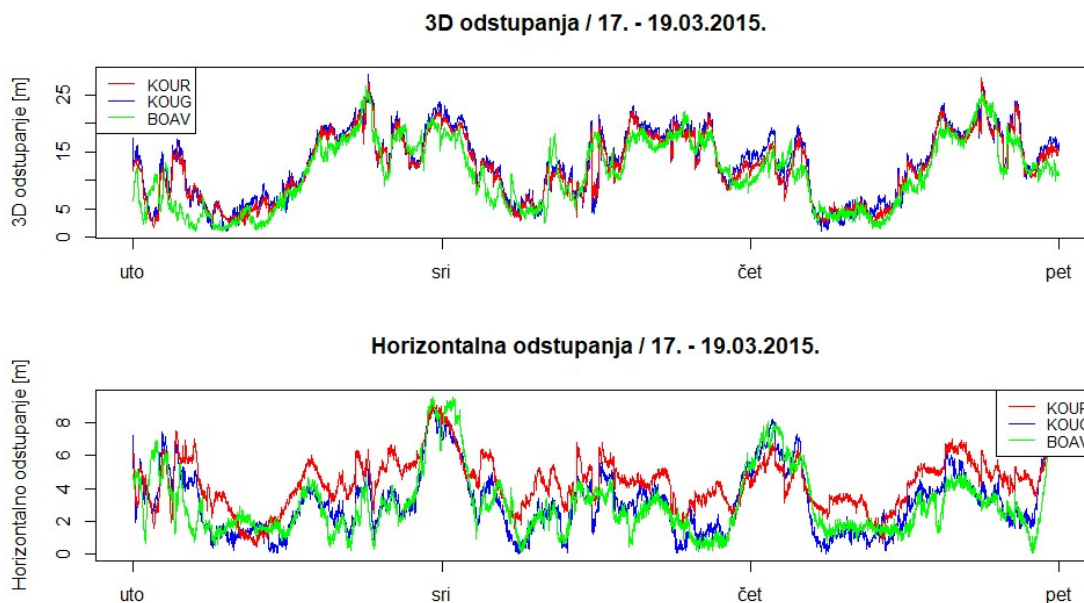
Na Slici 29. prikazani su histogrami odstupanja geografske širine, dužine i nadmorske visine za sve tri stanice u promatranom razdoblju. Histogrami prikazuju raspršenost odstupanja položaja, odnosno učestalost pojedinih vrijednosti odstupanja položaja. Svi histogrami odnose se na razdoblje od tri dana, što znači da ukupni broj izmjerenih položaja iznosi 4320 (svake minute izmjeren je jedan položaj). Promatrajući histograme odstupanja geografske širine, uočavamo da je za stanicu KOUR najveća učestalost za vrijednost odstupanja približno -2 m, za stanicu KOUG približno $-0,25$ m, a za stanicu BOAV oko $0,5$ m. Slična situacija je i za odstupanja geografske dužine, samo što je za stanicu KOUR najviše položaja očitano za vrijednost odstupanja od $-1,5$ m. Na temelju podataka iz Tablice 15 i usporedbe raspršenosti položaja, možemo zaključiti da stanica KOUR ima najmanju točnost horizontalnog odstupanja položaja. Odstupanja nadmorske visine, u usporedbi s odstupanjima geografske širine i dužine, imaju najveću raspršenost, što je lako uočljivo kada se usporede rasponi odstupanja te učestalost. Odstupanja nadmorske visine imaju znatno veći raspon od ostalih odstupanja i kroz dobar dio raspona imaju veliku učestalost što znači da vrijednosti nisu vršne, već je raspršenost ovih odstupanja povećana. Radi bolje vizualizacije raspršenosti odstupanja položaja, na Slici 30 nalazi se trodimenzionalni prikaz raspršenosti položajnih odstupanja za sve tri stanice.

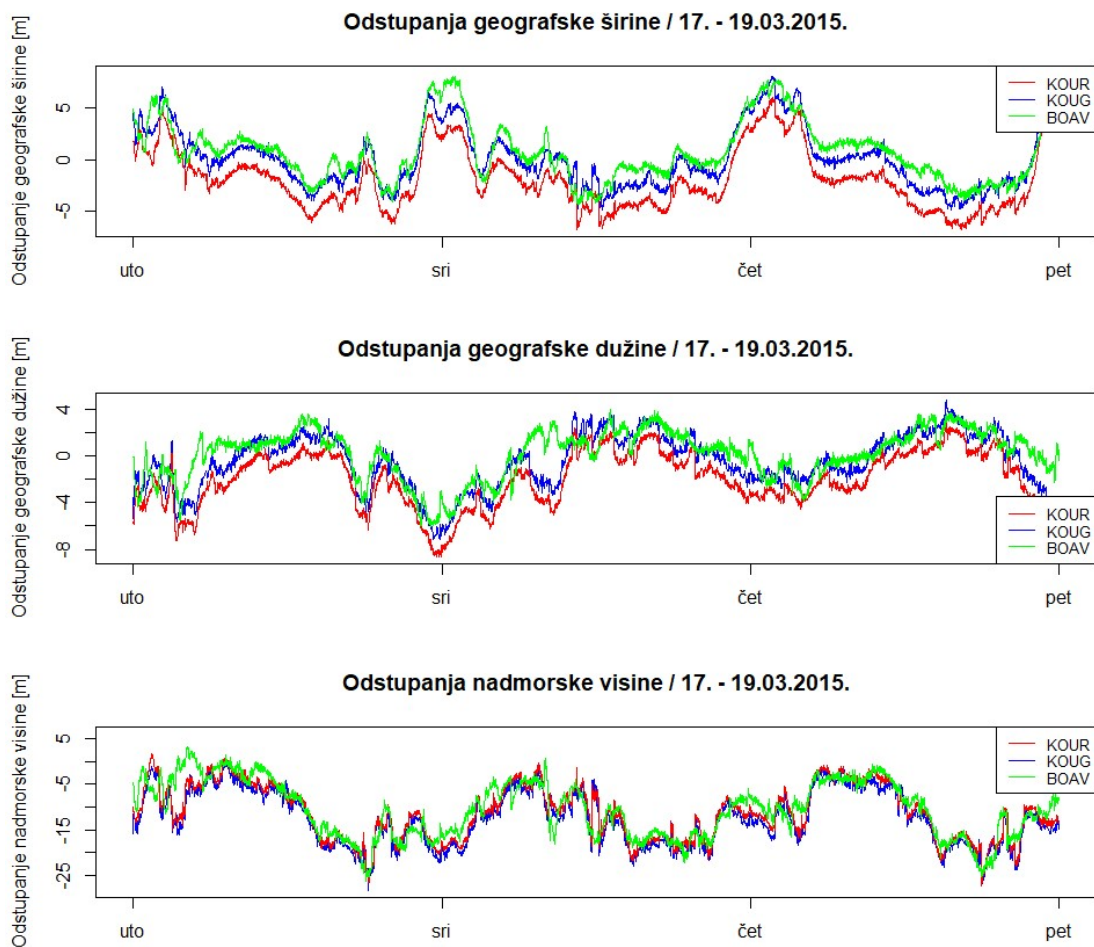


Slika 30: Trodimenzionalni prikaz raspršenosti položajnih odstupanja stanica KOUR (lijevi prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (desni prikaz) u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradió student]

5.4. ANALIZA ODSUPANJA POLOŽAJA U RAZDOBLJU NARUŠENIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA

Analiza odstupanja položaja u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena obrađena je na isti način kao i analiza odstupanja za razdoblje mirnih uvjeta svemirskog vremena, a detaljna usporedba slijedi u idućem poglavlju. Na Slici 31 prikazana su 3D i horizontalna odstupanja te odstupanja geografske širine, dužine i nadmorske visine za stanice KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju od 17. – 19.03.2019.





Slika 31: Sve komponente odstupanja položaja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Uočljivo je da su 3D odstupanja i odstupanja nadmorske visine slična za sve tri stanice, dok se horizontalna odstupanja i odstupanja geografske širine i dužine ipak više razlikuju. Vrijednosti odstupanja ne mijenjaju se na način da su tijekom noćnih sati manja, a tijekom dnevnih veća, već postoje značajni porasti i padovi i tijekom dnevnih i noćnih sati. 3D odstupanja dosežu vrijednosti veće od 25 m, a horizontalna vrijednosti veće od 9 m. Ovako velika odstupanja posljedica su narušenih uvjeta svemirskog vremena opisanog u poglavlju 5.2. Horizontalna odstupanja i odstupanja geografske širine imaju vrlo slične krivulje, a najveće vrijednosti dosežu u noćnim satima s prijelaza 17. na 18.03. te 19.03. nakon ponoći. Krivulje svih odstupanja stanice KOUR i KOUG veoma su slične, no vrijednosti se razlikuju jer su pomaknute jedna od druge. Krivulje odstupanja stanice BOAV vidno se razlikuju od krivulja ostalih dviju stanica. Razlog je u tome što su stanice KOUR i KOUG veoma blizu jedna drugoj,

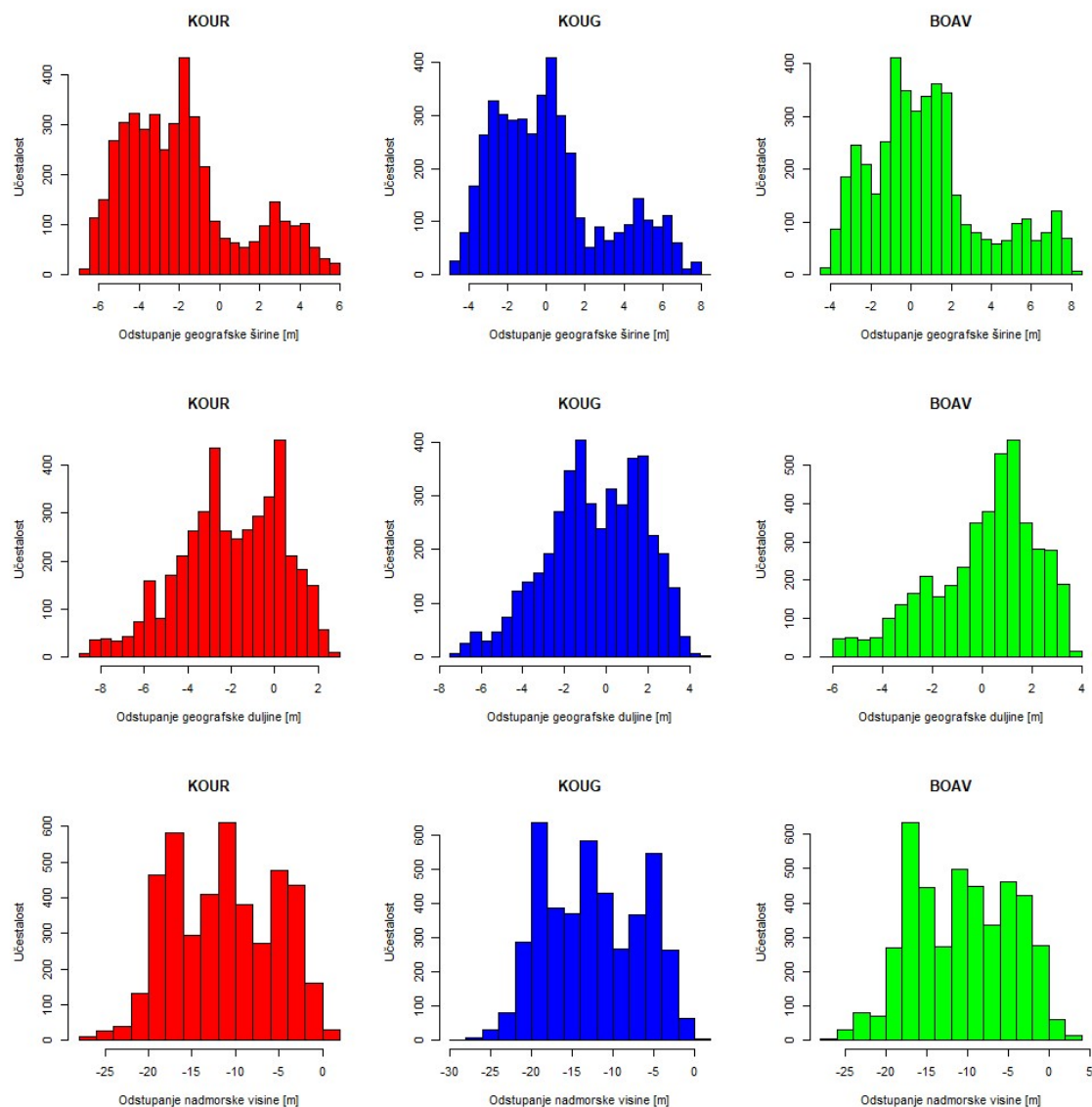
a stanica BOAV je ipak udaljenija. Isti slučaj je bio i sa krivuljama ukupnog sadržaja elektrona u poglavlju 5.2.

Stanica KOUR	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,7144	0,4510	-6,7631	-8,6500	-27,3796
Prvi kvartil	7,1211	3,2815	-4,1529	-3,5572	-16,7797
Medijan	12,4904	4,4021	-2,2472	-1,9063	-11,4065
Srednja vrijednost	12,3137	4,3678	-1,8740	-1,9948	-11,3104
Treći kvartil	17,5677	5,3402	-0,6217	-0,0196	-5,9213
Maksimum	28,0934	9,2121	5,9534	2,9681	1,5994
Standardna devijacija	5,7322	1,5663	2,9056	2,3504	5,9187
Stanica KOUG	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,0266	0,0144	-4,8937	-7,1836	-28,3694
Prvi kvartil	7,4146	1,6056	-2,1721	-2,0471	-17,8821
Medijan	13,2852	3,0369	-0,2634	-0,4720	-12,6622
Srednja vrijednost	13,0022	3,2056	0,1117	-0,5343	-12,4743
Treći kvartil	18,3758	4,2052	1,3507	1,3896	-6,8997
Maksimum	28,7190	9,1625	8,0022	4,7877	0,7348
Standardna devijacija	5,9725	1,9414	2,8889	2,3139	5,9223
Stanica BOAV	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,0495	0,0693	-4,3126	-6,0826	-26,2258
Prvi kvartil	5,7178	1,6588	-1,1142	-1,2009	-16,0214
Medijan	11,5003	2,6022	0,3840	0,5564	-10,5995
Srednja vrijednost	11,3460	3,0736	0,7983	0,0868	-10,6233
Treći kvartil	16,5538	3,9093	1,9460	1,5316	-5,0915
Maksimum	26,5417	9,5854	8,3787	3,9814	3,2613
Standardna devijacija	5,9034	1,9536	2,8635	2,0915	6,1208

Tablica 16: Statistički pokazatelji odstupanja položaja svih stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

U Tablici 16 prikazani su statistički pokazatelji odstupanja položaja za sve tri stanice u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena. 3D odstupanja poprimaju najveće vrijednosti, a uzrok tome su velika odstupanja nadmorske visine. Maksimalno odstupanje nadmorske visine iznosi 28,37 m, što je znatno veća vrijednost od maksimalnog odstupanja geografske širine (8,38 m) i dužine (8,65 m). Srednja vrijednost 3D odstupanja s obzirom na sve tri stanice iznosi između 11 i 13 metara, a srednja vrijednost horizontalnog odstupanja između 3 i 4 metra. Minimalna vrijednost 3D odstupanja iznosi 1,03 m, a minimalna vrijednost horizontalnih odstupanja je 0,01 m. Promatrajući vrijednosti u tablicama, uočeno je da sva odstupanja imaju relativno velik raspon. Raspon odstupanja nadmorske visine iznosi više od 29 m, geografske

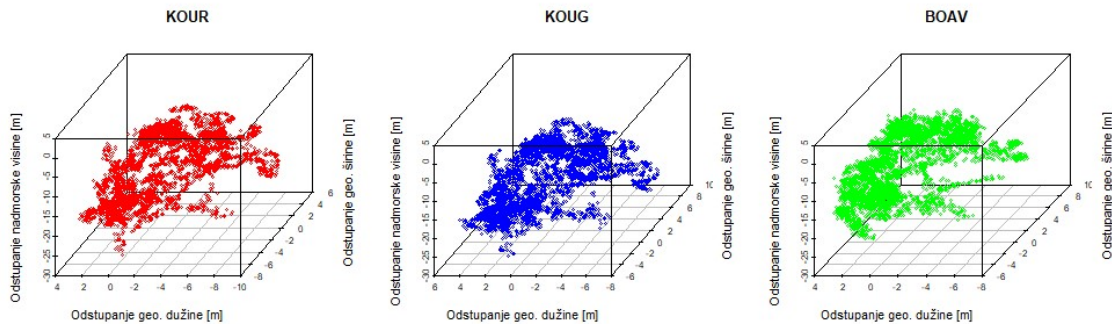
širine više od 12 m, a geografske duljine više od 11 m. Na temelju grafičkih prikaza i statističkih pokazatelja odstupanja položaja, možemo zaključiti da su odstupanja položaja u razdoblju od 17. – 19.03.2015. bila veoma značajna.



Slika 32: Histogrami odstupanja geografske širine (gornji prikaz), duljine (srednji prikaz) i nadmorske visine (donji prikaz) stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Na Slici 32 prikazani su histogrami odstupanja položaja za sve tri stanice u promatranom razdoblju. Uočena je velika raspršenost za sva odstupanja. Raspon svih odstupanja je velik i na histogramima je uočljivo da je učestalost tijekom većine raspona značajna, odnosno nemamo slučaj nekoliko vršnih vrijednosti. Najveća raspršenost uočena je kod odstupanja nadmorske visine, što i ne čudi jer odstupanja nadmorske visine imaju znatno veći raspon od odstupanja

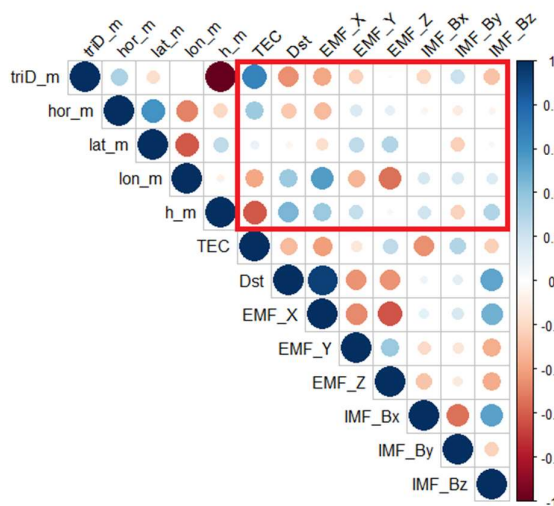
geografske širine i duljine. Na Slici 33 nalaze se trodimenzionalni prikazi raspršenosti položajnih odstupanja za sve tri stanice.



Slika 33: Prostorni prikaz raspršenosti položajnih odstupanja stanica KOUR (lijevi prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (desni prikaz) u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

5.5. USPOREDBA TOČNOSTI ODREĐIVANJA POLOŽAJA TIJEKOM MIRNIH I NARUŠENIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA

Usporedba točnosti određivanja položaja tijekom mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena analizirat će se na temelju statističkih pokazatelja i grafičkih prikaza odstupanja za sve tri promatrane stanice. Prije same usporedbe, analizirat će se utjecaj svemirskog vremena na odstupanja položaja na temelju korelacije između komponenta odstupanja položaja i pokazatelja stanja svemirskog vremena. Na Slici 34 prikazana je spomenuta korelacija za stanicu BOAV u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena. Korelacijski prikazi za ostale stanice izgledaju veoma slično ovome i nalaze se u prilogu rada.

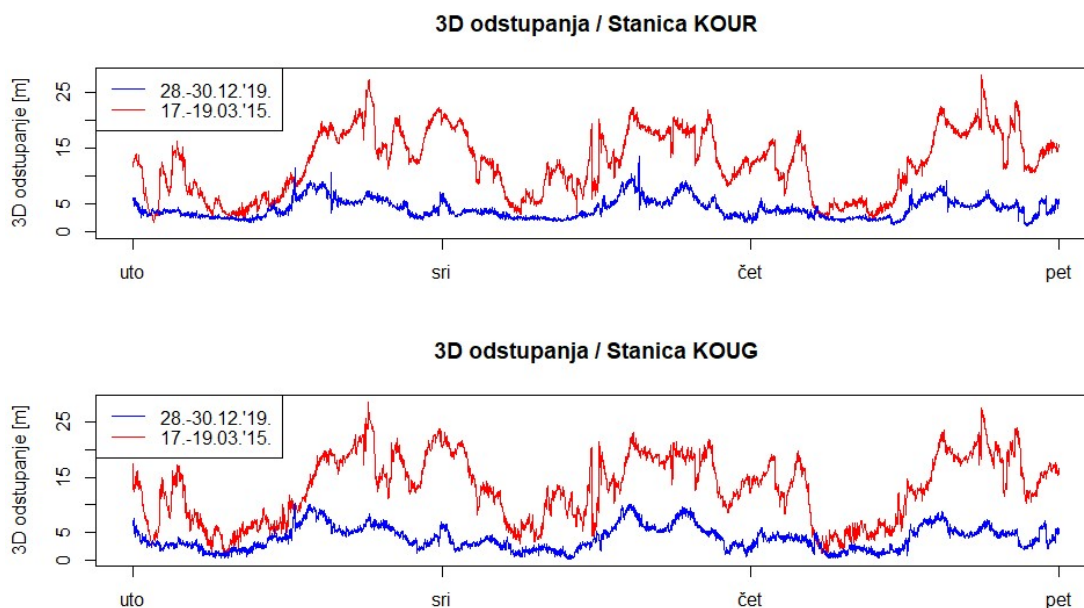


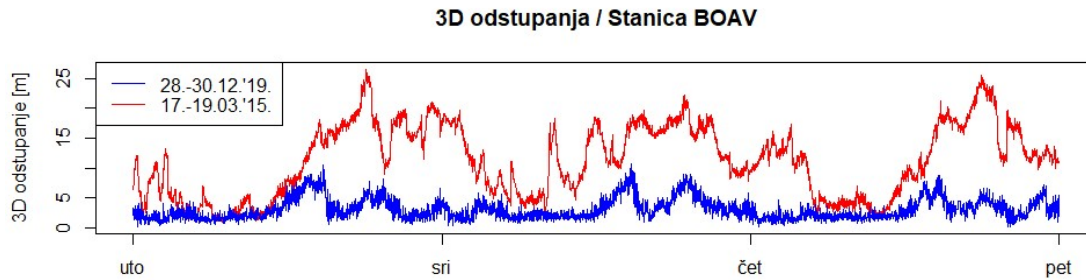
Slika 34: Korelacija između odstupanja položaja i pokazatelja stanja svemirskog vremena u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena za stanicu BOAV [izradio student]

Na slici 34 uočena je značajna korelacija između komponenta odstupanja položaja i pokazatelja stanja svemirskog vremena. 3D komponenta odstupanja (koja ujedno sadrži i sve ostale komponente) korelira sa svim pokazateljima svemirskog vremena, osim sa EMF_Z pokazateljem. Međutim, sa EMF_Z pokazateljem uočena je značajna korelacija odstupanja geografske širine i dužine. Najveća korelacija uočena je između 3D odstupanja i TEC vrijednosti. Također, sve komponente odstupanja, osim odstupanja geografske širine, imaju značajnu korelaciju sa TEC vrijednostima. Postoji i značajna korelacija odstupanja položaja s *Dst* indeksom, dok je korelacija s pokazateljima jakosti međuplanetarnog magnetskog polja nešto manja, no ipak postoji.

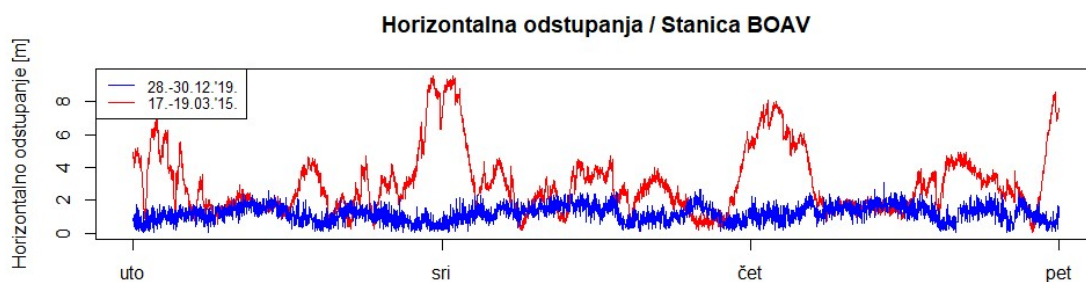
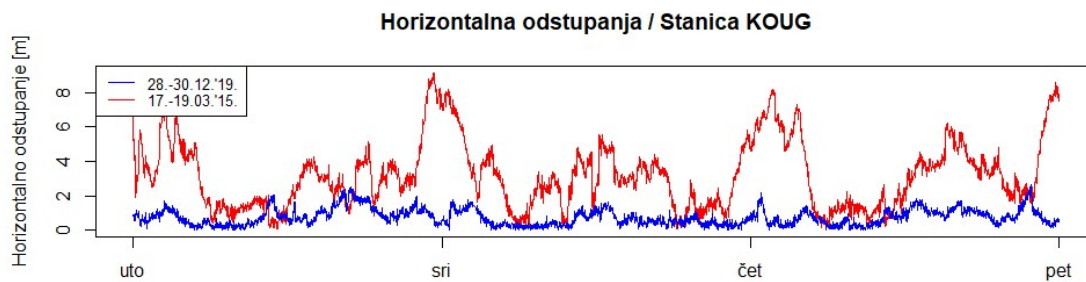
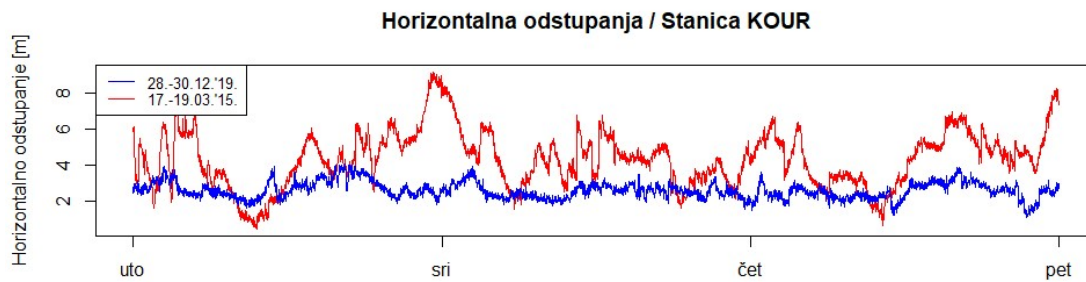
Na temelju analize korelacije odstupanja položaja s pokazateljima stanja svemirskog vremena ustanovljeno je da svemirsko vrijeme itekako ima utjecaj na veličinu odstupanja položaja i samim time potvrđena je prva hipoteza rada: (1) *Svemirsko vrijeme utječe na točnost određivanja položaja GPS sustavom.*

Nakon potvrđene prve hipoteze rada, pristupa se analizi usporedbe položajnih odstupanja u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena, kako bi se potvrdila druga hipoteza rada. Na Slici 35 nalaze se usporedni grafički prikazi 3D odstupanja u mirnom i narušenom razdoblju svemirskog vremena za sve tri stanice, a na Slici 36 nalaze se usporedni grafički prikazi horizontalnih odstupanja.





Slika 35: Usporedba 3D odstupanja stanica KOUR (gornji prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (donji prikaz) u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]



Slika 36: Usporedba horizontalnih odstupanja stanica KOUR (gornji prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (donji prikaz) u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Na grafičkim prikazima uočljivo je da 3D odstupanja za sve tri promatrane stanice imaju značajno veće vrijednosti u razdoblju narušenim uvjeta svemirskog vremena. Također, horizontalna odstupanja isto su značajno veća u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena. Već na temelju grafičkih prikaza mogli bismo zaključiti da su odstupanja položaja u

razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena veća nego u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena, no analizirat će se i statistički pokazatelji rezidualnih vrijednosti odstupanja za dva spomenuta razdoblja (Tablica 17).

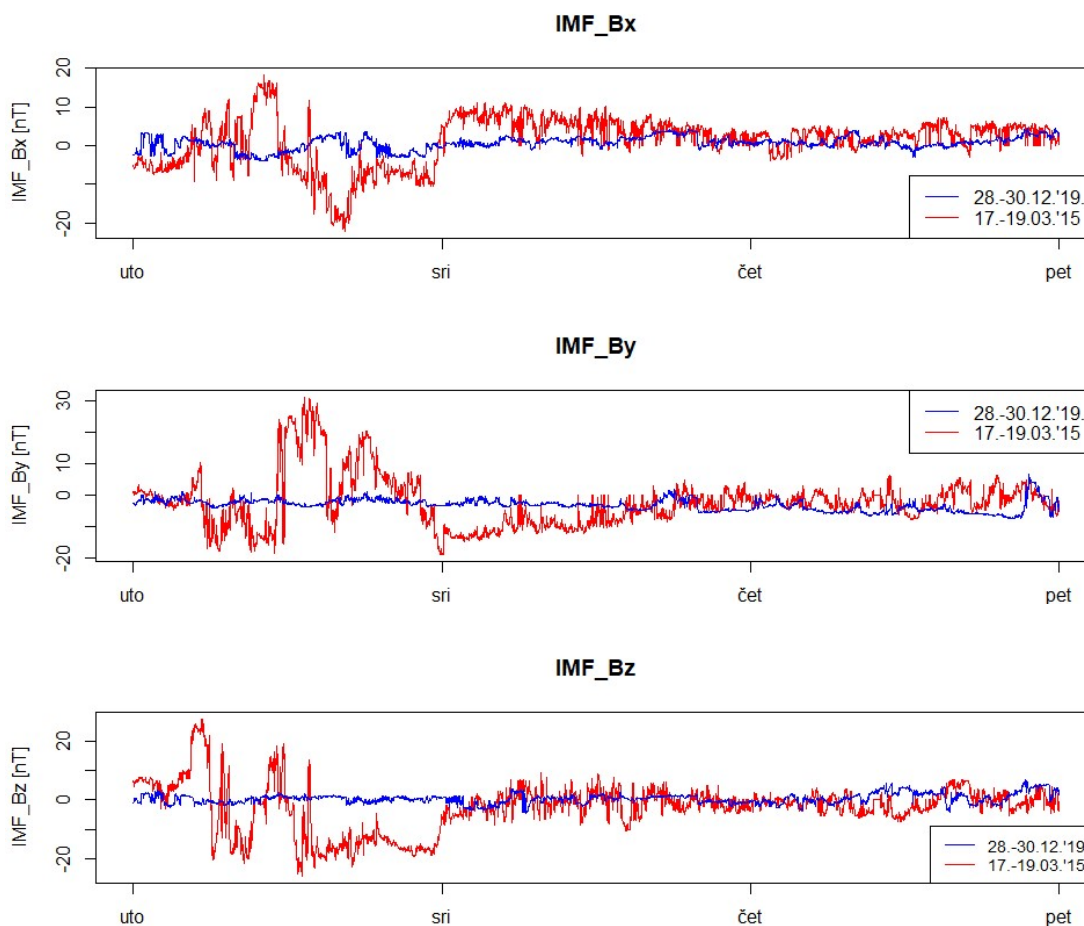
	Statistički pokazatelj	KOUR	KOUG	BOAV
Razlika 3D odstupanja [m]	Minimum	-2,8285	-1,9241	-2,4722
	Prvi kvartil	3,7658	4,6554	3,1907
	Medijan	8,4233	9,2225	7,8430
	Srednja vrijednost	8,1670	9,0463	8,1913
	Treći kvartil	11,9163	12,8296	12,8850
	Maksimum	22,7117	22,5543	21,0653
	Standardna devijacija	4,7992	4,8490	5,4371
Razlika horizontalnih odstupanja [m]	Minimum	-2,1662	-1,8476	-1,9127
	Prvi kvartil	0,7547	0,9894	0,2966
	Medijan	1,7072	2,2114	1,4588
	Srednja vrijednost	1,7564	2,4524	1,8807
	Treći kvartil	2,6934	3,4295	2,7687
	Maksimum	6,8612	8,4420	9,2922
	Standardna devijacija	1,5108	1,9176	2,1515

Tablica 17: Statistički pokazatelji rezidualnih vrijednosti između horizontalnih i 3D odstupanja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena i razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Srednja vrijednost razlike 3D odstupanja položaja u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena iznosi između cca. 8 i 9 metara. U prijevodu, 3D odstupanja su u prosjeku 8 do 9 metara manja u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena. Horizontalna odstupanja su u prosjeku 1,8 do 2,5 metara manja u razdoblju mirnih uvjeta. Budući da 3D odstupanja uključuju komponentu odstupanja nadmorske visine, a horizontalna odstupanja ne, možemo zaključiti da je uzrok značajno veće razlike 3D odstupanja od horizontalnih velika razlika u odstupanju nadmorske visine u mirnim i narušenim uvjetima svemirskog vremena. Maksimalna razlika 3D odstupanja iznosi čak 22,7 m, a maksimalna razlika horizontalnih odstupanja iznosi 9,3 m.

Analizom usporedbe odstupanja položaja u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena ustanovljeno je da su odstupanja položaja značajno veća tijekom razdoblja narušenih uvjeta svemirskog vremena i samim time potvrđena je druga hipoteza rad: (2) *Odstupanja položaja u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena veća su nego u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena.*

Iako je stanje svemirskog vremena u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta opisano u poglavljima 5.1. i 5.2., u nastavku rada usporedit će se pokazatelji stanja svemirskog vremena za oba razdoblja kako bi se obrazložilo zbog čega su odstupanja u mirnom razdoblju manja nego u narušenom.

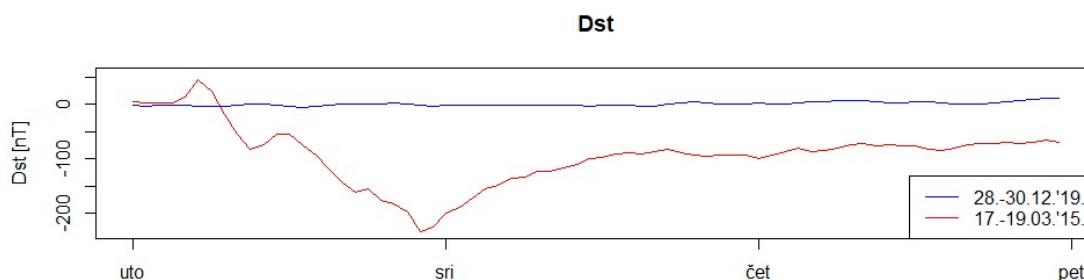


Slika 37: Usporedba Bx (gornji prikaz), By (srednji prikaz) i Bz (donji prikaz) komponenta jakosti IMF polja tijekom mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Na Slici 37 prikazana je usporedba pokazatelja jakosti međuplanetarnog magnetskog polja u mirnim i narušenim uvjetima svemirskog vremena. Uočeno je da su sve komponente jakosti IMF polja znatno veće i uznemirenije u razdoblju narušenih uvjeta. Najveća razlika uočena je na dan 17.03. kada je nastupila geomagnetska oluja jačine G4 koja je poznata pod nazivom *St. Patrick's Day 2015 Geomagnetic Storm* [84].

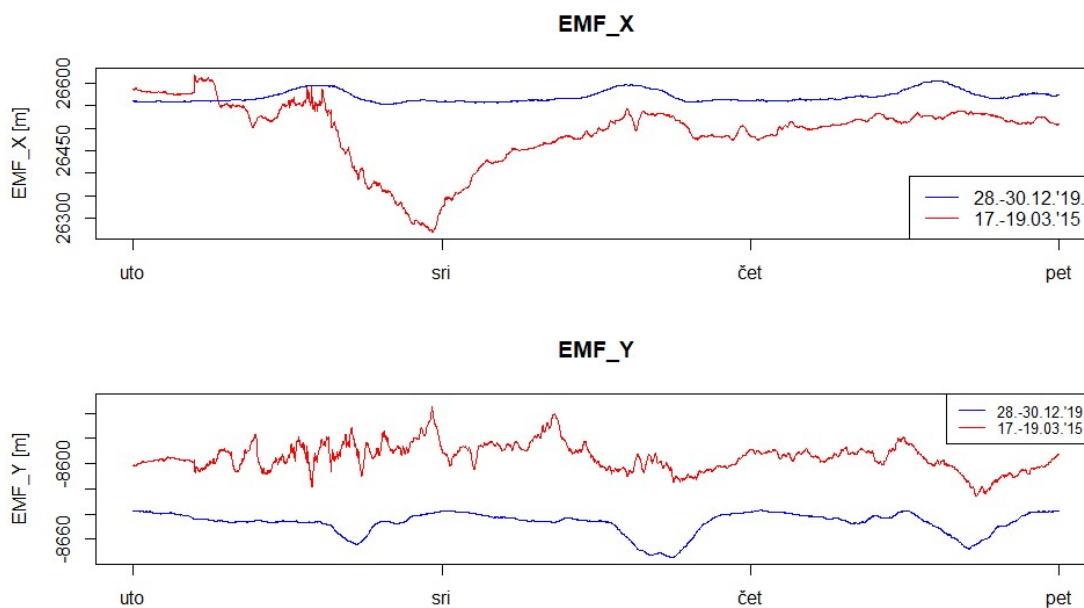
Na Slici 38 prikazana je usporedba vrijednosti *Dst* indeksa za dva promatrana razdoblja. Uočeno je da *Dst* ima značajno manje vrijednosti tijekom razdoblja narušenih uvjeta

svemirskog vremena, dok se vrijednosti u mirnom razdoblju kreću oko nule. Nagli pad vrijednosti uočen je na dan 17.03. i također je posljedica spomenute geomagnetske oluje.



Slika 38: Usporedba vrijednosti *Dst* indeksa tijekom razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Tijekom pojave geomagnetske oluje, horizontalna komponenta Zemljinog magnetskog polja pada. To je uočljivo na Slici 39. Horizontalna komponenta jakosti Zemljinog magnetskog polja bila je vidno slabija u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena. Također, uočena je velika sličnost u kretanju vrijednosti *EMF_X* s kretanjem vrijednosti *Dst* – a.



Slika 39: Usporedba X (gornji prikaz) i Y (donji prikaz) komponentata jakosti Zemljinog magnetskog polja u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Tijekom solarnog ciklusa Sunčeva aktivnost se mijenja. U razdoblju pojačane Sunčeve aktivnosti povećan je broj Sunčevih pjega (SSN). Što je više pjega na Suncu, veća je vjerojatnost nastanka intenzivnih solarnih događaja poput Sunčevih baklji i koronarnih izbačaja mase. Intenzivni solarni događaji imaju za posljedicu nagli porast brzine Sunčevog vjetra i

jakosti međuplanetarnog magnetskog polja koje je nošeno Sunčevim vjetrom. Interakcijom takvog Sunčevog vjetra i međuplanetarnog magnetskog polja s magnetosferom, dolazi do geomagnetskih poremećaja pri kojima veća količina čestica Sunčevog vjetra dospijeva u geoprostor. Ulaskom čestica Sunčevog vjetra (posebno elektrona) u geoprostor, mijenja se sastav ionosfere na način da broj slobodnih elektrona (TEC) u ionosferi raste. Budući da je porast TEC vrijednosti posljedica pojačane Sunčeve aktivnosti i svih gore navedenih događaja, razmotrit će se kao konačni uzrok većeg odstupanja položaja tijekom narušenih uvjeta svemirskog vremena.

Na temelju korelacije na Slici 34 već je ustanovljeno da odstupanja položaja snažno koreliraju s TEC vrijednostima. U Tablici 18 prikazani su statistički pokazatelji rezidualnih vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona između razdoblja mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena kako bi se konkretno mogla sagledati razlika u ionosferi između dva razdoblja.

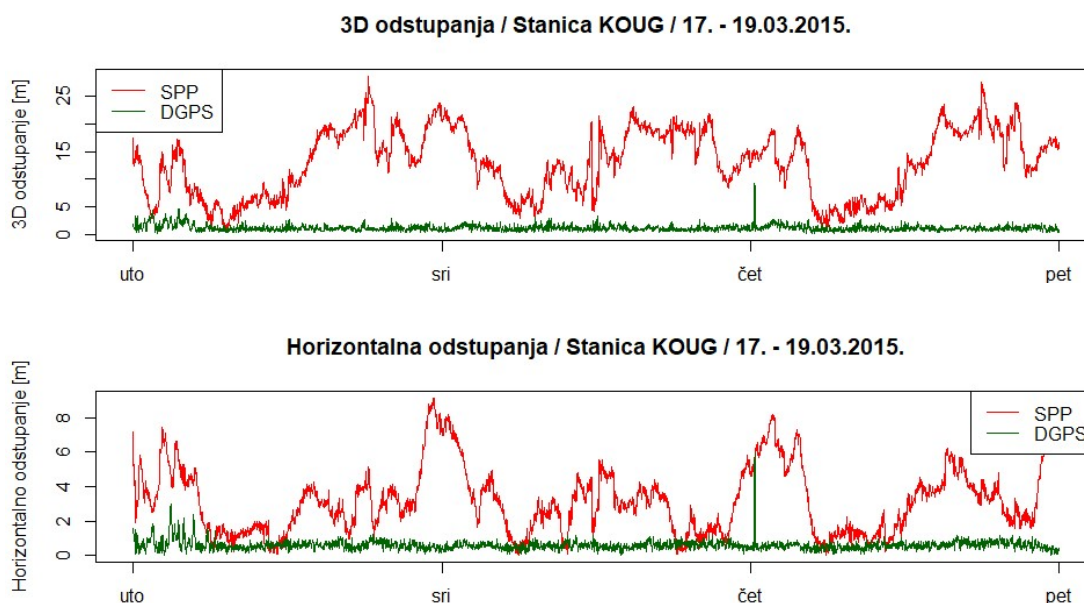
	KOUR	KOUG	BOAV
Minimum	-5,3500	-4,5200	-12,9000
Prvi kvartil	5,9150	6,8950	6,9200
Medijan	22,7250	22,6950	24,9900
Srednja vrijednost	22,0791	22,4768	26,1275
Treći kvartil	35,1100	36,3200	44,2525
Maksimum	62,0200	61,8700	76,4300
Standardna devijacija	17,1615	17,0201	21,6787

Tablica 18: Statistički pokazatelji rezidualnih vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona razdoblja mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Srednja vrijednost razlike ukupnog sadržaja elektrona iznosi cca. 22 TECU za stanice KOUR i KOUG te 26 TECU za stanicu BOAV. To znači da je u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena TEC vrijednost bila u prosjeku veća za 22 (odnosno 26) TECU. O veličini ove razlike govori nam podatak da je maksimalni iznos ukupnog sadržaja elektrona u razdoblju mirnih uvjeta iznosio cca. 24 TECU. Najveća vrijednost razlike ukupnog sadržaja elektrona iznosi čak 76 TECU. Iz ovoga možemo zaključiti da je broj slobodnih elektrona u ionosferi uistinu bio znatno veći u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena te da ima uzročno-posljedičnu vezu s odstupanjima položaja.

5.6. ANALIZA UTJECAJA SVEMIRSKOG VREMENA NA TOČNOST ODREĐIVANJA POLOŽAJA DGPS – OM

Analiza usporedbe utjecaja svemirskog vremena na odstupanja položaja između odstupanja dobivenih SPP – om i DGPS – om napravljena je za stanicu KOUG u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena. Za početak će se razmotriti razlika odstupanja položaja dobivenih SPP – om i DGPS – om. Na Slici 40 prikazana su 3D i horizontalna odstupanja za oba spomenuta načina određivanja položaja.



Slika 40: Usporedba 3D (gornji prikaz) i horizontalnih (donji prikaz) odstupanja položaja stanice KOUG s obzirom na način određivanja položaja SPP i DGPS u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Uočeno je da 3D i horizontalna odstupanja imaju značajno manje vrijednosti za način određivanja položaja DGPS. U Tablici 19 nalaze se statistički pokazatelji rezidualnih vrijednosti odstupanja položaja dobivenih SPP – om i DGPS – om i na temelju njih odredit će se kolika je razlika u točnosti određivanja položaja. Statistički pokazatelji svih komponenata odstupanja položaja dobivenih DGPS – om nalaze se u prilogu rada.

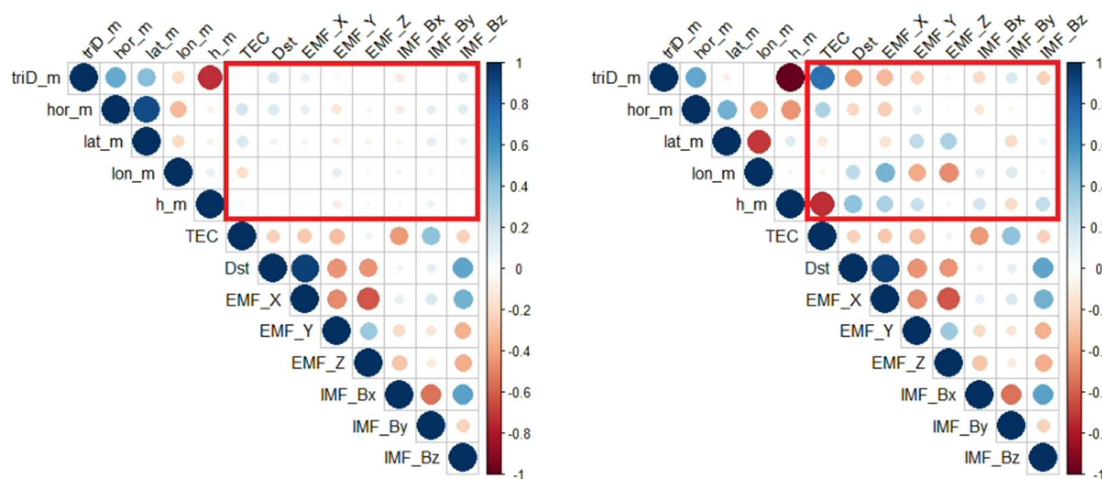
	Razlika 3D odstupanja [m]	Razlika horizontalnih odstupanja [m]
Minimum	-1,0830	-0,9194
Prvi kvartil	6,2547	1,0265
Medijan	12,0282	2,3818
Srednja vrijednost	11,8724	2,5992
Treći kvartil	17,2554	3,5910

Maksimum	27,1988	8,5916
Standardna devijacija	5,9952	1,9547

Tablica 19: Statistički pokazatelji rezidualnih vrijednosti odstupanja položaja SPP - om i DGPS - om u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena za stanicu KOUG [izradio student]

Podaci o srednjoj vrijednosti razlike odstupanja prikazuju da je prosječna razlika 3D odstupanju položaja 11,87 m, a horizontalnih 2,60 m. Na temelju ovih podataka možemo zaključiti da točnost određivanja položaja itekako ovisi o načinu određivanja položaja te da se pomoću DGPS – a dobivaju znatno manja odstupanja u odnosu na SPP.

U poglavlju 5.5. potvrđeno je da točnost određivanja položaja SPP – om uvelike ovisi o stanju svemirskog vremena. Točnost određivanja položaja DGPS – om također ovisi o stanju svemirskog vremena jer se ionosfersko kašnjenje DGPS – om ne uklanja u potpunosti već se značajno smanjuje. Kako bi se potvrdila treća hipoteza rada, usporedit će se korelacije između odstupanja položaja i pokazatelja stanja svemirskog vremena za oba spomenuta načina određivanja položaja. Korelacijski prikazi nalaze se na Slici 41.



Slika 41: Usporedba korelacijskih prikaza za stanicu KOUG u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena: korelacija odstupanja položaja dobivenih DGPS - om s pokazateljima stanja svemirskog vremena (lijevo) i korelacija odstupanja položaja dobivenih SPP - om s pokazateljima stanja svemirskog vremena (desno) [izradio student]

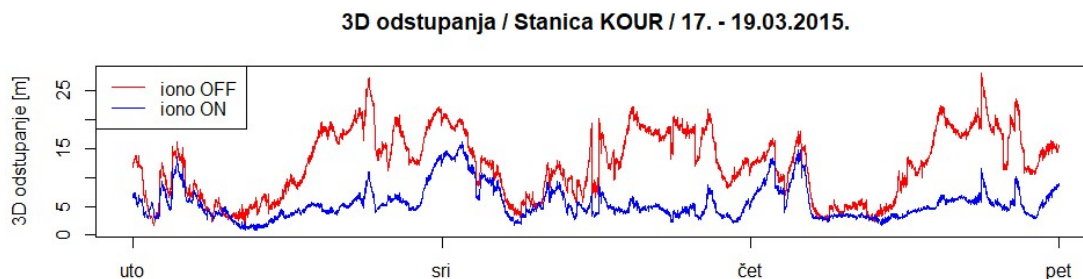
Uočeno je da odstupanja položaja mnogo više ovise o stanju svemirskog vremena kada se položaj određuje SPP – om. Na korelacijskom prikazu za DGPS uočene su relativno male korelacije, dok su na korelacijskom prikazu za SPP uočene itekako značajne korelacije između pokazatelja stanja svemirskog vremena i odstupanja položaja. Na desnom prikazu najsnažnija pozitivna korelacija uočena je između 3D odstupanja i TEC – a. U prijevodu, što je veća vrijednost ukupnog sadržaja elektrona, veća su 3D odstupanja. Najsnažnija negativna korelacija

uočena je između odstupanja nadmorske visine i TEC – a. Valja napomenuti da je korelacija negativna jer su odstupanja nadmorske visine tijekom cijelog razdoblja uglavnom negativnog predznaka (što je i prikazano u prijašnjim poglavljima), a sam iznos odstupanja treba promatrati kao apsolutnu vrijednost. Stoga je ispravno tumačenje snažne negativne korelacije nadmorske visine s TEC – om zapravo jednako kao i tumačenje korelacije 3D odstupanja s TEC – om. Što je veća vrijednost ukupnog sadržaja elektrona, veća su odstupanja nadmorske visine. Na lijevom prikazu nije uočena korelacija 3D odstupanja i odstupanja nadmorske visine s TEC – om, no uočena je slaba korelacija horizontalnih odstupanja s TEC – om. Također, na desnom prikazu uočena je negativna korelacija između 3D odstupanja i Dst indeksa, što znači da su 3D odstupanja bila veća kada je Dst indeks bio manji. Budući da pad vrijednosti Dst indeksa označava geomagnetske poremećaje pri kojima dolazi i do nepovoljnih promjena u ionosferi s obzirom na točnost određivanja položaja, logično je da su tijekom manjih vrijednosti Dst indeksa odstupanja bila veća. Slična korelacija uočena je i između 3D odstupanja i EMF_X te EMF_Y pokazatelja, što u prijevodu znači da su 3D odstupanja bila veća kada je horizontalna komponenta geomagnetskog polja bila slabija. Na lijevom prikazu korelacije između pokazatelja stanja svemirskog vremena i odstupanja položaja su nepostojeane ili znatno male.

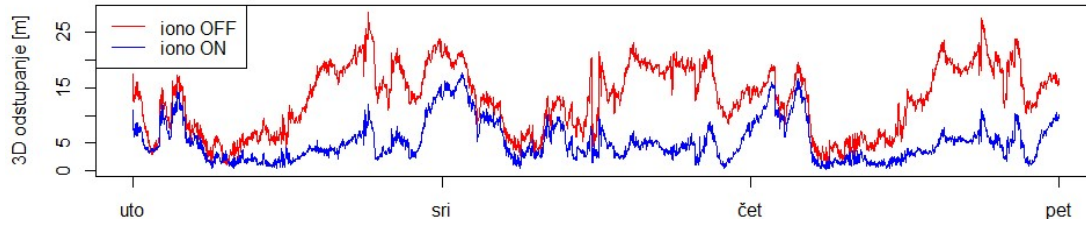
Ovime je potvrđena treća hipoteza rada, koja glasi: (3) *Svemirsko vrijeme ima veći utjecaj na točnost određivanja položaja kada se položaj određuje SPP – om (engl. Single Point Positioning), nego kada se određuje DGPS – om (engl. Differential Global Positioning System).*

5.7. ANALIZA UČINKOVITOSTI KLOBUCHAROVOG MODELA ISPRAVKA IONOSFERSKOG KAŠNJENJA NA TOČNOST ODREĐIVANJA POLOŽAJA GPS SUSTAVOM

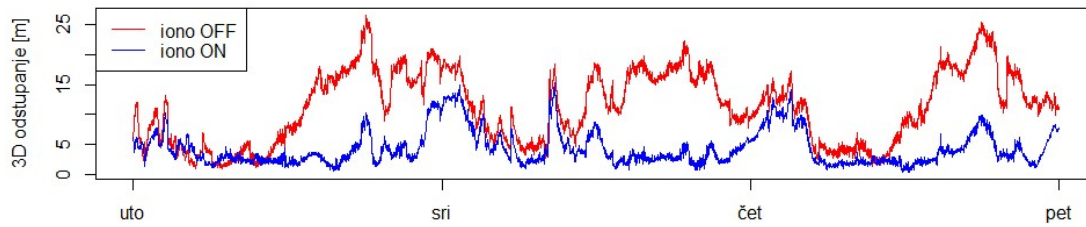
Učinkovitost Klobucharovog modela ispravka ionosferskog kašnjenja na točnost određivanja položaja GPS sustavom analizirana je za razdoblje narušenih uvjeta svemirskog vremena na temelju podataka za sve tri promatrane stanice. Na Slikama 42 i 43 prikazana je usporedba odstupanja položaja dobivenih s isključenim i uključenim ionosferskim modelom.



3D odstupanja / Stanica KOUG / 17. - 19.03.2015.

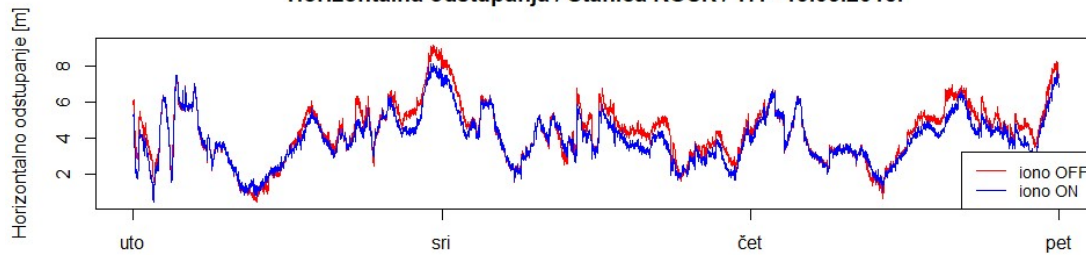


3D odstupanja / Stanica BOAV / 17. - 19.03.2015.

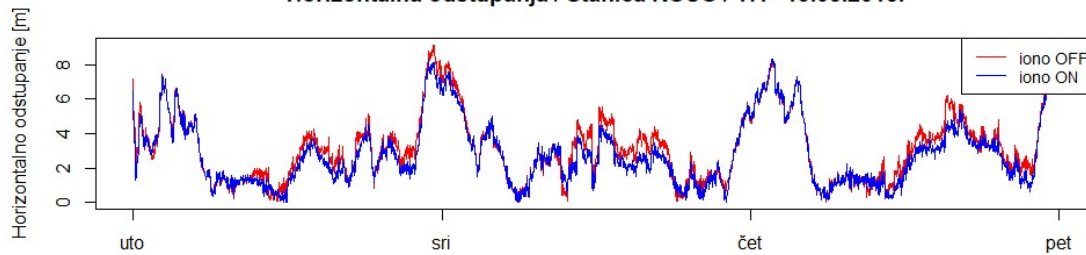


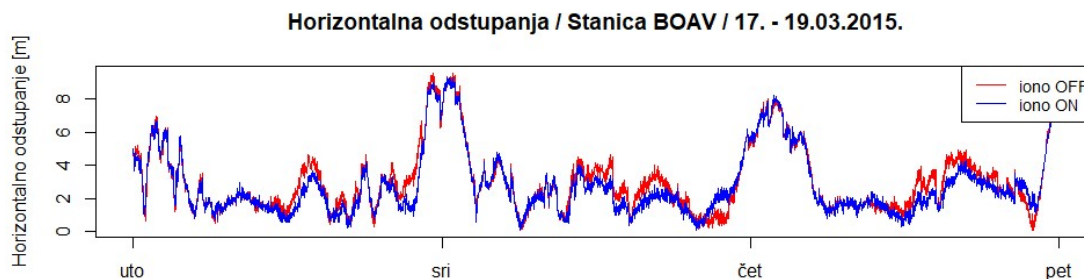
Slika 42: Usporedba između modeliranih i nemodeliranih vrijednosti 3D odstupanja položaja stanica KOUR (gornji prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (donji prikaz) u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Horizontalna odstupanja / Stanica KOUR / 17. - 19.03.2015.



Horizontalna odstupanja / Stanica KOUG / 17. - 19.03.2015.





Slika 43: Usporedba između modeliranih i nemodeliranih vrijednosti horizontalnih odstupanja položaja stanica KOUR (gornji prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (donji prikaz) u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Uočeno je da se 3D odstupanja za modelirane i nemodelirane vrijednosti značajno razlikuju, dok se vrijednosti horizontalni odstupanja razlikuju puno manje. To znači da se pomoću modela najviše ispravlja odstupanje nadmorske visine jer je ono sastavna komponenta 3D odstupanja, dok horizontalnih nije. Već na temelju grafičkih prikaza uočljivo je da su odstupanja dobivena s uključenim ionosferskim modelom manja od onih s isključenim, no valja pogledati statističke pokazatelje razlike odstupanja (Tablica 20).

	Statistički pokazatelj	KOUR	KOUG	BOAV
Razlika 3D odstupanja [m]	Minimum	-2,7548	-1,9986	-2,7855
	Prvi kvartil	2,5720	3,0784	2,5752
	Medijan	5,9374	7,1376	5,3647
	Srednja vrijednost	6,7434	7,7241	6,9412
	Treći kvartil	11,1355	12,7578	12,5524
	Maksimum	16,6237	17,0916	17,3857
	Standardna devijacija	4,7926	4,8588	5,3747
Razlika horizontalnih odstupanja [m]	Minimum	-0,8431	-0,9867	-1,6721
	Prvi kvartil	-0,0010	-0,0166	-0,0432
	Medijan	0,2697	0,2703	0,1350
	Srednja vrijednost	0,3290	0,3228	0,2406
	Treći kvartil	0,6632	0,6419	0,5507
	Maksimum	1,5221	1,6782	2,1095
	Standardna devijacija	0,4160	0,4245	0,5238

Tablica 20: Statistički pokazatelji rezidualnih vrijednosti između modeliranih i nemodeliranih odstupanja položaja za stanice KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]

Klobucharov model u prosjeku je smanjio 3D odstupanja za 6,7 do 7,7 metara. Horizontalna odstupanja u prosjeku su smanjena za 0,24 do 0,33 metra. Maksimalne vrijednosti razlike 3D odstupanja iznose značajnih 16 do 17 metara, a horizontalnih 1,5 do 2,1 metra. Na

temelju grafičkih prikaza i statističkih pokazatelja rezidualnih vrijednosti odstupanja položaja s isključenim i uključenim Klobucharovim modelom, zaključuje se da su vrijednosti odstupanja manje kada je model uključen i samim time potvrđena je četvrta hipoteza rada: *(4) Uporabom Klobucharovog modela ispravka ionosferskog kašnjenja poboljšava se točnost određivanja položaja GPS sustavom.*

Ovu hipotezu moguće je potvrditi i u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena, a potrebni podaci (statistički pokazatelji odstupanja i grafički prikazi) nalaze se u prilogu rada.

6. ZAKLJUČAK

Svemirsko vrijeme veoma je promjenjivo te znatno ovisi o Sunčevoj aktivnosti. Sunčeva aktivnost mijenja se tijekom solarnog ciklusa. Najveća je tijekom solarnog maksimuma, a najmanja tijekom solarnog minimuma. Svemirsko vrijeme ima značajan utjecaj na geoprostor, a samim time i na točnost određivanja položaja GPS sustavom. Za vrijeme pojačane Sunčeve aktivnosti znatno je veća vjerojatnost nastanka intenzivnih solarnih događaja koji uzrokuju povećanu brzinu Sunčevog vjetra i jačanje međuplanetarnog magnetskog polja. Interakcijom takvog Sunčevog vjetra, koji sa sobom nosi pojačano međuplanetarno magnetsko polje, s magnetosferom dolazi do povećanog ulaska čestica Sunčevog vjetra (posebno elektrona) u geoprostor i mijenja se sastav ionosfere. Broj slobodnih elektrona u ionosferi raste, a samim time i ionosferska pogreška određivanja položaja GPS sustavom. Na temelju istraživanja u ovome radu, potvrđeno je kako točnost određivanja položaja GPS sustavom u ekvatorijalnom području ovisi o stanju svemirskog vremena te da vrijednosti odstupanja vrlo dobro koreliraju s vrijednostima ukupnog sadržaja elektrona. Također, ustanovljeno je da su odstupanja položaja veća u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena, nego u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena.

Utjecaj svemirskog vremena na točnost određivanja položaja također ovisi i o načinu određivanja položaja. Svemirsko vrijeme ima značajno veći utjecaj na točnost određivanja položaja kada se položaj određuje SPP – om, nego kada se određuje DGPS – om. Ova tvrdnja je potvrđena na temelju provedenih istraživanja u radu. DGPS načinom određivanja položaja utjecaj ionosferskog kašnjenja se veoma dobro smanjuje, no ne uklanja se u potpunosti.

Utjecaj ionosferskog kašnjenja na točnost određivanja položaja u određenoj je mjeri moguće smanjiti korištenjem modela ispravka ionosferskog kašnjenja. GPS sustav koristi Klobucharov model ispravka ionosferskog kašnjenja i u ovom radu analizirana je njegova učinkovitost. Potvrđeno je da su vrijednosti odstupanja položaja manja kada je korišten Klobucharov model.

LITERATURA

- [1] Kaplan E.D. , Hegarty C. J. (2006.): Understanding GPS: principles and applications. – 2nd ed., Arctech House, London, Boston
- [2] Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics – Other Global Navigation Satellite Systems (GNSS), online: [https://www.gps.gov/systems/gnss/#:~:text=Global%20navigation%20satellite%20system%20\(GNSS,a%20global%20or%20regional%20basis](https://www.gps.gov/systems/gnss/#:~:text=Global%20navigation%20satellite%20system%20(GNSS,a%20global%20or%20regional%20basis) (7.9.2023.)
- [3] Parkinson, B.W. i Spilker Jr., J. J. (ur.) (1996) Global Positioning System: Theory and Applications. Volume I. Washington, DC: AIAA
- [4] Brčić, D. (2015) Model nespecifičnoga dnevnog hoda ionosferskog kašnjenja signala za satelitsko određivanje položaja, Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet Rijeka
- [5] Montillet, J.-P. (2008): „Precise Positioning in Urban Canyons: Applied to the Localisation of Buried Assets“, PhD thesis, University of Nottingham
- [6] Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics – Space Segment, online: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/> (7.9.2023.)
- [7] European Space Agency: Navipedia – Space Segment, online: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Space_Segment (7.9.2023.)
- [8] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, (2021.): „siderički period“, online: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=55805> (7.9.2023.)
- [9] PennState College of Earth and Mineral Sciences Oline Lessons - The Pseudorange Equation, online: The Space Segment, online: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1770> (7.9.2023.)
- [10] Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics – Control Segment, online: <https://www.gps.gov/systems/gps/control/> (7.9.2023.)
- [11] Federal Aviation Administration: Satellite Navigation – GPS – Control Segment, online: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/controlsegments#:~:text=The%20control%20segment%20uses%20measurements,transmission%20back%20to%20the%20users (7.9.2023.)
- [12] European Space Agency: Navipedia – GPS Performances, online: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Performances#:~:text=The%20Precise%20P

[ositioning%20Service%20\(PPS,is%20reserved%20for%20authorized%20users](#)

(7.9.2023.)

- [13] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "speed of light". Encyclopedia Britannica, online: <https://www.britannica.com/science/speed-of-light>. Accessed 25 August 2023 (25.08.2023.)
- [14] Dziadczyk, E., Zabierowski, W., Napieralski, A., (2007.): Satellite navigation system GPS
- [15] PennState College of Earth and Mineral Sciences Oline Lessons - The Pseudorange Equation, online: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1759> (7.9.2023.)
- [16] Kos. S., Zorović D., Vranić D. (2010.): Terestrička i elektronička navigacija, Sveučilište u Rijeci, Pomorski Fakultet, Rijeka
- [17] Popescu. G., (2014.): "Pixel Geolocation Algorithm For Satellite Scanner Data"
- [18] PennState College of Earth and Mineral Sciences Oline Lessons - The Pseudorange Equation, online: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1759> (7.9.2023.)
- [19] Deccia, C.M.A.; Wiese, D.N.; Nerem, R.S., (2022.): Using a Multiobjective Genetic Algorithm to Design Satellite Constellations for Recovering Earth System Mass Change
- [20] Tamazin M., Karaim M. and Noureldin A., (2018.): GNSSs, Signals, and Receivers. Multifunctional Operation and Application of GPS.
- [21] Hofmann-Wellenhof B, Herbert L, James C., (1993.): GPS Theory and Practice. New York: Springer
- [22] Sokolović, S. Vlada., (2011), "Analiza akvizicije signala u softverskogm GPS prijamniku", Vojnotehnicki glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, núm.1, pp.81-95
- [23] Pratap M, Per E., (2006.): Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance. 2nd ed. Massachusetts: Ganga-Jamuna Press
- [24] Jay F., (2008.): Aided Navigation GPS with High Rate Sensors. New York: McGraw-Hill
- [25] Ahmed E., (2002.): Introduction to GPS: The Global Positioning System. Artech House: Norwood
- [26] Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics: „New Civil Signals“, online: <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/> (7.9.2023.)
- [27] J. Sanz Subirana, J.M. Juan Zornoza and M. Hernández-Pajares, (2013.): GNSS Data Processing

- [28] Ublox Application note, (2023.): „GPS L5 configuration“, online: https://content.u-blox.com/sites/default/files/F9-GPS-L5-configuration_AppNote_UBX-21038688.pdf (7.9.2023.)
- [29] Huo, Xiang, Xue Wang, Sen Wang, Xiaofei Chen, Ganghua Zhou, and Xiaochun Lu. (2020.): "Receiving and Assessing L1C Signal for In-Orbit GPS III and QZSS Transmissions Using a Software-Defined Receiver" *Electronics* 9, no. 1: 11, online: <https://doi.org/10.3390/electronics9010011> (7.9.2023.)
- [30] Malatest, B. Morceles, K., (2022.): „SDRs for M-code satellite military communications“
- [31] Baba, M. and Rao, D., 2014. Estimation of Global Positioning System Measurement Errors For GAGAN Applications. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, 9(6), pp.66-79
- [32] United States Bureau of Reclamation, Engineering Geology Field Manual, Second Edition, Vol. 2, 2001.
- [33] Pongračić, B. (2021). Utjecaj troposfere na točnost određivanja položaja. Prošireni tekstualni nastavni materijali iz kolegija Primijenjena satelitska navigacija. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet. Rijeka, Hrvatska
- [34] Radojevic S. M., Curčić J. T., (2009.): Developments of global navigation satellite systems. *Vojnotehnički glasnik* 57. (3). pp. 111-126
- [35] Jeffrey C., (2010.): An Introduction to GNSS. GPS, GLONASS, Galileo and Other Global Navigation Satellite Systems. Calgary: NovAtel Inc.
- [36] Misra P, Enge P., (2010.): *Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance*. Massachusetts: Ganga-Jamuna
- [37] Brčić, D. (2021). Analiza degradacije točnosti uslijed međusobnog položaja satelita i prijarnika. Prošireni tekstualni nastavni materijali iz kolegija Primijenjena satelitska navigacija. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet. Rijeka, Hrvatska
- [38] Parkinson, B.W. i Spilker Jr., J. J. (ur.) (1996) *Global Positioning System: Theory and Applications*. Volume II. Washington, DC: AIAA
- [39] Mohammed, R. R. and Mahdi, A. S. (2018) “Accurate Three Dimensional Coordinates Measurements Using Differential GPS Real Time Kinematic Mode”, *Iraqi Journal of Science*, 59(2C), pp. 1146–1151.
- [40] Y. Yasyukevich, V. Demyanov, in *Space Weather Impact on GNSS Performance* (Springer, 2022), pp. 151–196

- [41] Vaquero, J. M., (2007.): Historical sunspot observations: a review. *Adv Space Res* 40(7):929–941. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.01.087> (7.9.2023.)
- [42] Zirin, H., (2023.): "Solar cycle". *Encyclopedia Britannica*, online: <https://www.britannica.com/science/solar-cycle>. Accessed 7 August 2023 (7.8.2023.)
- [43] Dobrijevic, D., (2022.): „Solar cycle: What is it and why does it matter?“, online: <https://www.space.com/solar-cycle-frequency-prediction-facts> (7.9.2023.)
- [44] National Aeronautics and Space Administration (NASA): What is the Solar Cycle?, online: https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/solar-events-news/what-is-the-solar-cycle (7.9.2023.)
- [45] National Oceanic and Atmospheric Administration: Coronal Mass Ejections, online: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/coronal-mass-ejections> (7.9.2023.)
- [46] National Oceanic and Atmospheric Administration: Geomagnetic Storms, online: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/geomagnetic-storms> (7.9.2023.)
- [47] Space Weather Live: The Kp-index, online: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html> (7.9.2023.)
- [48] National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA Space Weather Scales, online: <https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation> (7.9.2023.)
- [49] Prölss, G.W. (2004). *Interplanetary Medium*. In: *Physics of the Earth's Space Environment*. Springer, Berlin, Heidelberg
- [50] Merriam-Webster.com Dictionary, Merriam-Webster: „Geospace“, online: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/geospace> (7.9.2023.)
- [51] Bandić, M., Verbanac, G. & Živković, S., (2023.): Geoeffective interplanetary magnetic field (IMF) from in situ data: realistic versus idealized spiral IMF. *Sci Rep* 13, 9661, online: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36499-1> (7.9.2023.)
- [52] Space Weather Live: Interplanetary Magnetic Field, online: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-interplanetary-magnetic-field-imf.html> (7.9.2023.)
- [53] Jennifer Y H Chan and others, (2019.): Covariant polarized radiative transfer on cosmological scales for investigating large-scale magnetic field structures, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 484, online: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty3498> (7.9.2023.)
- [54] Wilcox, J. M. and Ness, N. F., (1965.): Quasi-stationary corotating structure in the interplanetary medium, *J. Geophys. Res.*, 70, 5793–5805, online: <https://doi.org/10.1029/JZ070i023p05793> (7.9.2023.)

- [55] Russell, C. T., (1971.): Geophysical Coordinate Transformations, Cosmic Electrodynamics, Vol. 2, pp. 184 - 196
- [56] McPherron, Robert L., Encyclopedia Britannica: "Geomagnetic field", online: <https://www.britannica.com/science/geomagnetic-field>. Accessed 4 August 2023 (4.8.2023.)
- [57] Nagarajan, N., (2020.): Earth's magnetic field and its wandering magnetic poles. Resonance 25, 363-379.
- [58] Campbell W.H., (2003.): Introduction to geomagnetic fields, Cambridge University Press
- [59] Rasson, L. (2014.): The geomagnetic field - an actively changing global phenomenon
- [60] National Oceanic and Atmospheric Administration: Earth's Magnetosphere, online: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/earths-magnetosphere> (7.9.2023.)
- [61] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Ionosphere summary". Encyclopedia Britannica, online: <https://www.britannica.com/summary/ionosphere-and-magnetosphere>. Accessed 22 August 2023 (22.8.2023.)
- [62] Thobeka Katamzi, Z., (2011.), A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy University of Bath: „Statistical Analysis of Ionospheric Total Electron Content“
- [63] Marcel, H., (2002.): „Ionosphere“, online: <https://ftp.unpad.ac.id/orari/library/library-sw-hw/amateur-radio/propagation/Radio%20Wave%20Propagation%20part%204%20-%20Ionosphere.pdf> (7.9.2023.)
- [64] North, G.R.; Pyle, J.A.; Zhang, F., (2014.): Encyclopedia of Atmospheric Sciences
- [65] Sundar, S., (2012.): „On global electric circuit and the possibility of predicting global climatic change through Schumann resonance from the study of the upper tropospheric water-vapour variability and other meteorological parameters“
- [66] Hunsucker, R. D., Hargreaves, J. K., (2002.): The High – Latitude Ionosphere and its Effects on Radio Propagation
- [67] Brčić, D. (2021). Ionosfersko kašnjenje satelitskih signala za određivanje položaja. Prošireni tekstualni nastavni materijali iz kolegija Primijenjena satelitska navigacija. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet. Rijeka, Hrvatska
- [68] Chang-Moon, L., Kwan-Dong, P., (2011.): „Generation of Klobuchar Ionospheric Error Model Coefficients Using Fourier Series and Accuracy Analysis“, Department of Geoinformatic Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea
- [69] National Oceanic and Atmospheric Administration: Sunspot Numbers, online: <https://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/ssndata.html#:~:text=The%20relative%20sunspot%2>

[Onumber%20is%20defined%20as%20R%20%3D%20K%20\(10g,total%20number%20of%20distinct%20spots](#) (7.9.2023.)

- [70] Space Weather Live: Sunspot regions, online: <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/sunspot-regions.html> (7.9.2023.)
- [71] National Oceanic and Atmospheric Administration: F10.7 cm Radio Emissions, online: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions> (7.9.2023.)
- [72] National Oceanic and Atmospheric Administration: The Disturbance Storm Time Index, online: <https://www.ngdc.noaa.gov/stp/geomag/dst.html> (7.9.2023.)
- [73] NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Code 671, USA, (2022.): „The Sun and Space Weather“
- [74] K. S. Lakshatha, D. V. Ratnam and K. S. Krishna, (2021.): "GPS Positioning Performance Analysis under St. Patrick's Day 2015 Geomagnetic Storm Conditions,"
- [75] Australian Space Weather Forecasting Centre: Space Weather Indices, online: <https://www.sws.bom.gov.au/Educational/1/2/4> (7.9.2023.)
- [76] International GNSS Service, Network, online: https://network.igs.org/?_ga=2.94113173.98274645.1694069198-868625345.1662565739&_gl=1*wqr18s*_ga*ODY4NjIIMzQ1LjE2NjIINjU3Mzk.*_ga_Z5RH7R682C*MTY5NDA2OTE5OC4yNS4xLjE2OTQwNjkyNzQuNDUuMC4w (7.9.2023.)
- [77] Space Weather Live: Solar Activity and Solar Cycle, online: <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/solar-cycle.html> (7.9.2023.)
- [78] Brčić, D. (2021). Generiranje položajnih zapisa. Prošireni tekstualni nastavni materijali iz kolegija Primijenjena satelitska navigacija. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet. Rijeka, Hrvatska
- [79] National Aeronautics and Space Administration (NASA): Wind Spacecraft, online: <https://wind.nasa.gov/> (7.9.2023.)
- [80] Tartaglia, A., Lorenzini, E.C., Lucchesi, D., (2018.): How to use the Sun–Earth Lagrange points for fundamental physics and navigation
- [81] Azdy, R. A., & Darnis, F. (2020.): Use of Haversineformula in finding distance between temporary shelter and waste end processing sites. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1500, No. 1, p. 012104)
- [82] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, (2021.): „koeficijent korelacije“, online: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=71291> (7.9.2023.)

[83] Space Weather Live: The aurora and solar activity archive, online:
<https://www.spaceweatherlive.com/en/archive.html> (7.9.2023.)

[84] SpaceWeather.com: What's up in space, online:
<https://spaceweather.com/archive.php?view=1&day=17&month=03&year=2015>
(7.9.2023.)

POPIS SLIKA

<i>Slika 1: Segmenti GPS sustava [5]</i>	5
<i>Slika 2: GPS konstelacija [9]</i>	6
<i>Slika 3: Kontrolni segment GPS sustava [10]</i>	7
<i>Slika 4: ECEF koordinatni sustav [19]</i>	10
<i>Slika 5: Koncept geometrijske razdiobe točnosti [20]</i>	14
<i>Slika 6: HDOP vrijednosti na području ekvatora i u polarnom području [20]</i>	15
<i>Slika 7: VDOP vrijednosti na području ekvatora i u polarnom području [20]</i>	15
<i>Slika 8: Osnovni princip rada DGPS - a [39]</i>	16
<i>Slika 9: Međuplanetarno magnetsko polje [53]</i>	23
<i>Slika 10: GSM koordinatni sustav [52]</i>	24
<i>Slika 11: Dipolna aproksimacija Zemljinog magnetskog polja [57]</i>	24
<i>Slika 12: Elementi Zemljinog magnetskog polja [59]</i>	25
<i>Slika 13: Tipičan profil temperature Zemljine atmosfere i gustoće ionosferske plazme [64]</i> ..	27
<i>Slika 14: Podjela ionosfere na slojeve s obzirom na dnevne i noćne sate [64]</i>	28
<i>Slika 15: Koncept IPP točke [68]</i>	31
<i>Slika 16: Geografski položaj IGS stanica [76]</i>	36
<i>Slika 17: Kretanje vrijednosti SSN - a i broja Sunčevih baklji tijekom godina [77]</i>	37
<i>Slika 18: Broj dana s geomagnetskim olujama po godinama [77]</i>	37
<i>Slika 19: Položaj Lagrangeovih točaka u odnosu na Sunce i Zemlju [80]</i>	39
<i>Slika 20: Vrijednosti Bx (gornji prikaz), By (srednji prikaz) i Bz (donji prikaz) komponenata IMF polja tijekom razdoblja mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	48
<i>Slika 21: Vrijednosti X (gornji prikaz), Y (srednji prikaz) i Z (donji prikaz) komponenata Zemljinog magnetskog polja tijekom razdoblja mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	49
<i>Slika 22: Vrijednosti Dst indeksa tijekom razdoblja mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	49
<i>Slika 23: TEC vrijednosti u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i> ..	49
<i>Slika 24: Vrijednosti Bx (gornji prikaz), By (srednji prikaz) i Bz (donji prikaz) komponenata IMF polja tijekom razdoblja narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	52
<i>Slika 25: Vrijednosti X (gornji prikaz), Y (srednji prikaz) i Z (donji prikaz) komponenata Zemljinog magnetskog polja tijekom razdoblja narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	52

<i>Slika 26: Vrijednosti Dst indeksa tijekom razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>53</i>
<i>Slika 27: TEC vrijednosti u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>53</i>
<i>Slika 28: Sve komponente odstupanja položaja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>56</i>
<i>Slika 29: Histogrami odstupanja geografske širine (gornji prikaz), duljine (srednji prikaz) i nadmorske visine (donji prikaz) stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>58</i>
<i>Slika 30: Trodimenzionalni prikaz raspršenosti položajnih odstupanja stanica KOUR (lijevi prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (desni prikaz) u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>59</i>
<i>Slika 31: Sve komponente odstupanja položaja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>60</i>
<i>Slika 32: Histogrami odstupanja geografske širine (gornji prikaz), duljine (srednji prikaz) i nadmorske visine (donji prikaz) stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>62</i>
<i>Slika 33: Prostorni prikaz raspršenosti položajnih odstupanja stanica KOUR (lijevi prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (desni prikaz) u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>63</i>
<i>Slika 34: Korelacija između odstupanja položaja i pokazatelja stanja svemirskog vremena u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena za stanicu BOAV [izradio student]</i>	<i>63</i>
<i>Slika 35: Usporedba 3D odstupanja stanica KOUR (gornji prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (donji prikaz) u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>65</i>
<i>Slika 36: Usporedba horizontalnih odstupanja stanica KOUR (gornji prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (donji prikaz) u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>65</i>
<i>Slika 37: Usporedba Bx (gornji prikaz), By (srednji prikaz) i Bz (donji prikaz) komponenata jakosti IMF polja tijekom mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student] ..</i>	<i>67</i>
<i>Slika 38: Usporedba vrijednosti Dst indeksa tijekom razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>68</i>

<i>Slika 39: Usporedba X (gornji prikaz) i Y (donji prikaz) komponenata jakosti Zemljinog magnetskog polja u razdoblju mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	68
<i>Slika 40: Usporedba 3D (gornji prikaz) i horizontalnih (donji prikaz) odstupanja položaja stanice KOUG s obzirom na način određivanja položaja SPP i DGPS u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	70
<i>Slika 41: Usporedba korelacijskih prikaza za stanicu KOUG u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena: korelacija odstupanja položaja dobivenih DGPS - om s pokazateljima stanja svemirskog vremena (lijevo) i korelacija odstupanja položaja dobivenih SPP - om s pokazateljima stanja svemirskog vremena (desno) [izradio student]</i>	71
<i>Slika 42: Usporedba između modeliranih i nemodeliranih vrijednosti 3D odstupanja položaja stanica KOUR (gornji prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (donji prikaz) u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	73
<i>Slika 43: Usporedba između modeliranih i nemodeliranih vrijednosti horizontalnih odstupanja položaja stanica KOUR (gornji prikaz), KOUG (srednji prikaz) i BOAV (donji prikaz) u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	74

POPIS TABLICA

<i>Tablica 1: Struktura GPS signala [4]</i>	<i>11</i>
<i>Tablica 2: Orijentalne vrijednosti GPS pogrešaka [34]</i>	<i>13</i>
<i>Tablica 3: Usporedba vrijednosti pogrešaka između standardne i diferencijske usluge GPS – a [34]</i>	<i>19</i>
<i>Tablica 4: Klasifikacija geomagnetskih oluja s obzirom na Kp i Dst indekse [40, 48]</i>	<i>22</i>
<i>Tablica 5: Granične vrijednosti mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio autor]</i>	<i>35</i>
<i>Tablica 6: Geografske koordinate stanica [76]</i>	<i>36</i>
<i>Tablica 7: Postavljeni parametri tijekom generiranja datoteka o položajnim zapisima [izradio student]</i>	<i>41</i>
<i>Tablica 8: Tumačenje vrijednosti Pearsonova i Spearmanova koeficijenta [82]</i>	<i>46</i>
<i>Tablica 9: Vrijednosti SSN - a i F10.7 indeksa tijekom razdoblja mirnih uvjeta svemirskog vremena [83]</i>	<i>47</i>
<i>Tablica 10: Statistički pokazatelji vrijednosti pokazatelja stanja svemirskog vremena u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>50</i>
<i>Tablica 11: Statistički pokazatelji TEC vrijednosti u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>50</i>
<i>Tablica 12: Vrijednosti SSN - a i F10.7 indeksa tijekom razdoblja narušenih uvjeta svemirskog vremena [83]</i>	<i>51</i>
<i>Tablica 13: Statistički pokazatelji vrijednosti pokazatelja stanja svemirskog vremena u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>53</i>
<i>Tablica 14: Statistički pokazatelji TEC vrijednosti u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>53</i>
<i>Tablica 15: Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>57</i>
<i>Tablica 16: Statistički pokazatelji odstupanja položaja svih stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>61</i>
<i>Tablica 17: Statistički pokazatelji rezidualnih vrijednosti između horizontalnih i 3D odstupanja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju mirnih uvjeta svemirskog vremena i razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>66</i>
<i>Tablica 18: Statistički pokazatelji rezidualnih vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona razdoblja mirnih i narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>69</i>

<i>Tablica 19: Statistički pokazatelji rezidualnih vrijednosti odstupanja položaja SPP - om i DGPS - om u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena za stanicu KOUG [izradio student]</i>	<i>71</i>
<i>Tablica 20: Statistički pokazatelji rezidualnih vrijednosti između modeliranih i nemodeliranih odstupanja položaja za stanice KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju narušenih uvjeta svemirskog vremena [izradio student]</i>	<i>74</i>

PRILOG 1: TABLIČNI I KORELACIJSKI PRIKAZI REZULTATA ISTRAŽIVANJA – RAZDOBLJE MIRNIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA

Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanice KOUR u razdoblju 28. – 30.12.2019. (za cijelo promatrano razdoblje i za svaki dan posebno) – ionosferski model isključen

KOUR					
28. – 30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,1311	1,1052	-4,0351	-3,3348	-13,1552
Prvi kvartil	2,6891	2,2824	-2,5838	-1,6388	-4,3393
Medijan	3,7459	2,5684	-2,1129	-1,3172	-2,6005
Srednja vrijednost	4,1467	2,6114	-2,1748	-1,2863	-2,8644
Treći kvartil	5,2351	2,9054	-1,7472	-0,9605	-1,0894
Maksimum	13,6063	4,0575	-0,3994	1,1409	1,8058
Standardna devijacija	1,7552	0,4740	0,5910	0,5346	2,2423
28.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,7339	1,6255	-4,0351	-2,4395	-10,8064
Prvi kvartil	2,8493	2,3787	-2,7840	-1,5388	-4,5459
Medijan	3,7610	2,6833	-2,3352	-1,1791	-2,4683
Srednja vrijednost	4,2967	2,7643	-2,4301	-1,1797	-2,9632
Treći kvartil	5,4861	3,1326	-2,0308	-0,8308	-1,2941
Maksimum	11,4030	4,0575	-1,1569	0,3693	1,1796
Standardna devijacija	1,7637	0,5125	0,5753	0,4979	2,2111
29.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,6433	1,5852	-3,5223	-2,6053	-13,1552
Prvi kvartil	2,6891	2,2720	-2,3474	-1,7006	-4,6675
Medijan	3,6400	2,5294	-1,9560	-1,4606	-2,2984
Srednja vrijednost	4,2469	2,5535	-2,0297	-1,4415	-2,9802
Treći kvartil	5,3677	2,7894	-1,6394	-1,1943	-1,0506
Maksimum	13,6063	3,9416	-0,7662	-0,2028	1,8058
Standardna devijacija	1,9236	0,3749	0,5176	0,4149	2,4890
30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,1311	1,1052	-3,5625	-3,3348	-8,5847
Prvi kvartil	2,5117	2,2047	-2,5662	-1,6215	-3,9506
Medijan	3,8004	2,5169	-1,9892	-1,2534	-2,8463
Srednja vrijednost	3,8967	2,5165	-2,0645	-1,2378	-2,6498
Treći kvartil	4,9234	2,8454	-1,6340	-0,8890	-0,9087
Maksimum	9,2033	3,8937	-0,3994	1,1409	1,2984
Standardna devijacija	1,5298	0,4852	0,5926	0,6323	1,9841

Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanice KOUG u razdoblju 28. – 30.12.2019. (za cijelo promatrano razdoblje te za svaki dan posebno) – ionosferski model isključen

KOUG					
28. – 30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,0854	0,0113	-2,2600	-2,0606	-10,1435
Prvi kvartil	2,1843	0,3685	-0,7854	-0,2227	-5,2734
Medijan	3,6467	0,6715	-0,3210	0,1013	-3,5541

Srednja vrijednost	3,9558	0,7532	-0,3999	0,1319	-3,8331
Treći kvartil	5,4070	1,0530	0,0140	0,4592	-2,0221
Maksimum	10,2809	2,6434	1,0974	2,5713	0,4651
Standardna devijacija	2,1731	0,4763	0,5761	0,5313	2,2100
28.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,2993	0,0113	-2,2600	-1,1266	-10,1435
Prvi kvartil	2,4413	0,4486	-0,9836	-0,0980	-5,4146
Medijan	3,6428	0,7971	-0,5450	0,2417	-3,4941
Srednja vrijednost	4,0825	0,8731	-0,6504	0,2463	-3,9479
Treći kvartil	5,5537	1,1665	-0,2363	0,6067	-2,2832
Maksimum	10,2809	2,5331	0,5648	1,8417	-0,1830
Standardna devijacija	2,1762	0,5249	0,5567	0,4906	2,1861
29.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,0854	0,0123	-1,7550	-1,0582	-10,0931
Prvi kvartil	2,0779	0,2968	-0,5484	-0,2964	-5,6295
Medijan	3,3500	0,4778	-0,1715	-0,0278	-3,2690
Srednja vrijednost	4,0175	0,5809	-0,2626	-0,0118	-3,9310
Treći kvartil	5,6613	0,7786	0,1086	0,2568	-1,9296
Maksimum	10,1096	1,7636	0,8523	1,0431	0,4651
Standardna devijacija	2,4061	0,3817	0,5068	0,3946	2,4482
30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,2250	0,0184	-1,7244	-2,0606	-8,7343
Prvi kvartil	2,1080	0,4330	-0,7621	-0,2226	-4,8969
Medijan	3,9090	0,7612	-0,2167	0,1279	-3,8272
Srednja vrijednost	3,7675	0,8057	-0,2867	0,1611	-3,6203
Treći kvartil	5,0161	1,0993	0,1327	0,4892	-1,8554
Maksimum	8,7898	2,6434	1,0974	2,5713	0,4568
Standardna devijacija	1,8955	0,4615	0,5788	0,6452	1,9541

Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanice BOAV u razdoblju 28. – 30.12.2019. (za cijelo promatrano razdoblje te za svaki dan posebno) – ionosferski model isključen

BOAV					
28. – 30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,1947	0,0359	-2,0053	-1,7014	-10,6631
Prvi kvartil	1,8531	0,8102	-0,0520	0,0968	-3,8607
Medijan	2,6342	1,1954	0,5622	0,6017	-2,2666
Srednja vrijednost	3,1546	1,1929	0,5066	0,5769	-2,5428
Treći kvartil	4,0692	1,5570	1,0839	1,0838	-0,9736
Maksimum	10,6846	3,0614	2,6288	3,0216	4,6577
Standardna devijacija	1,7631	0,5062	0,7655	0,7059	2,2171
28.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,3225	0,0417	-2,0053	-1,6347	-10,4830
Prvi kvartil	1,7414	0,7092	-0,4341	0,1327	-3,8136
Medijan	2,5564	1,0497	0,1910	0,5918	-2,2471
Srednja vrijednost	3,1281	1,0579	0,1507	0,5491	-2,6724
Treći kvartil	3,9928	1,4093	0,7461	0,9820	-1,1844
Maksimum	10,4882	2,5518	2,0389	2,4820	3,7428
Standardna devijacija	1,8633	0,4726	0,7830	0,6333	2,1850
29.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,4451	0,0427	-1,1941	-1,6410	-10,6631
Prvi kvartil	2,0296	0,8578	0,3180	-0,1227	-4,0841
Medijan	2,9010	1,2338	0,7819	0,4188	-2,6024

Srednja vrijednost	3,4095	1,2327	0,7578	0,4452	-2,8384
Treći kvartil	4,2824	1,5963	1,2355	0,9934	-1,2449
Maksimum	10,6846	2,6655	2,6288	2,4317	3,0716
Standardna devijacija	1,8388	0,5079	0,6482	0,7608	2,2745
30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,1947	0,0359	-1,1441	-1,7014	-8,7827
Prvi kvartil	1,7861	0,9339	0,0241	0,3026	-3,5277
Medijan	2,4874	1,3101	0,6396	0,7609	-1,8690
Srednja vrijednost	2,9262	1,2882	0,6112	0,7363	-2,1176
Treći kvartil	3,7724	1,6634	1,1820	1,2344	-0,5955
Maksimum	8,7889	3,0614	2,4000	3,0216	4,6577
Standardna devijacija	1,5360	0,5088	0,7242	0,6870	2,1262

Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju 28. – 30.12.2019. – ionosferski model uključen

KOUR					
28. – 30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,6626	0,8555	-3,7134	-3,4286	-6,7550
Prvi kvartil	2,6390	2,2002	-2,3351	-1,6918	0,3165
Medijan	3,0219	2,4430	-1,9362	-1,3661	1,3283
Srednja vrijednost	3,1165	2,4793	-1,9892	-1,3339	1,1189
Treći kvartil	3,5502	2,7389	-1,6228	-0,9810	2,2353
Maksimum	7,6455	3,9395	-0,3789	1,1529	4,7643
Standardna devijacija	0,6281	0,4340	0,5270	0,5469	1,5874
KOUG					
28. – 30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,0607	0,0039	-1,8290	-2,1369	-6,1243
Prvi kvartil	0,8784	0,3352	-0,5474	-0,2832	-0,6397
Medijan	1,3369	0,5932	-0,1577	0,0496	0,3733
Srednja vrijednost	1,5176	0,6687	-0,2118	0,0778	0,1503
Treći kvartil	1,9543	0,9265	0,1453	0,4111	1,2710
Maksimum	6,3015	2,7315	1,2639	2,5969	3,6740
Standardna devijacija	0,9003	0,4218	0,5172	0,5518	1,5705
BOAV					
28. – 30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,0623	0,0245	-1,5116	-1,8299	-5,0404
Prvi kvartil	1,6998	0,8804	0,2335	0,1085	0,5336
Medijan	2,3519	1,2308	0,7391	0,6089	1,7221
Srednja vrijednost	2,5085	1,2310	0,7014	0,5612	1,5346
Treći kvartil	3,1444	1,5749	1,2015	1,0470	2,7097
Maksimum	8,3484	3,0095	2,8612	2,9765	8,1290
Standardna devijacija	1,1213	0,4890	0,6818	0,6904	1,8550

Statistički pokazatelji reziduala modeliranih i nemodeliranih vrijednosti odstupanja položaja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju 28. – 30.12.2019.

KOUR					
28. – 30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	-6,2326	-0,6793	-0,2965	-0,6120	1,7187
Prvi kvartil	-2,3452	-0,2559	0,0111	-0,1647	2,9782

Medijan	-0,8758	-0,0816	0,1017	-0,0296	3,3280
Srednja vrijednost	-1,0303	-0,1321	0,1855	-0,0475	3,9833
Treći kvartil	0,4488	0,0018	0,3706	0,0591	5,0067
Maksimum	3,2865	0,3182	0,7652	0,5588	7,3868
Standardna devijacija	1,8624	0,1837	0,2118	0,1826	1,2866
KOUG					
28. – 30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	-6,9992	-0,7602	-0,2684	-0,5706	1,6700
Prvi kvartil	-3,9597	-0,1846	0,0121	-0,1768	2,9762
Medijan	-2,5997	-0,0322	0,1023	-0,0304	3,3291
Srednja vrijednost	-2,4382	-0,0846	0,1881	-0,0541	3,9834
Treći kvartil	-0,8799	0,0383	0,3761	0,0527	4,8956
Maksimum	2,9947	0,6091	0,7712	0,5024	7,3539
Standardna devijacija	2,1350	0,2240	0,2144	0,1720	1,2981
BOAV					
28. – 30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	-7,0127	-0,8116	-0,3131	-0,6918	1,5744
Prvi kvartil	-2,3292	-0,0853	0,0017	-0,1433	3,0026
Medijan	-0,3836	0,0055	0,1348	-0,0267	3,5186
Srednja vrijednost	-0,6461	0,0380	0,1948	-0,0157	4,0774
Treći kvartil	1,1312	0,1746	0,3809	0,0828	5,5160
Maksimum	5,6971	0,9145	0,9864	0,7111	7,2146
Standardna devijacija	2,3090	0,2822	0,2244	0,2706	1,3219

Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanice KOUG dobivenih DGPS – om u razdoblju 28. – 30.12.2019.

KOUG					
28. – 30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,0397	0,0074	-0,4584	-0,7424	-2,7438
Prvi kvartil	0,5743	0,2954	0,2508	-0,1967	-0,9111
Medijan	0,7822	0,3868	0,3420	-0,0815	-0,6500
Srednja vrijednost	0,8141	0,3909	0,3424	-0,0833	-0,6451
Treći kvartil	1,0144	0,4826	0,4335	0,0316	-0,3843
Maksimum	2,7540	0,9374	0,8334	0,5428	2,0091
Standardna devijacija	0,3283	0,1388	0,1398	0,1667	0,4271

Statistički pokazatelji reziduala vrijednosti odstupanja položaja stanice KOUG dobivenih SPP – om i DGPS – om u razdoblju 28. – 30.12.2019.

KOUG					
28. – 30.12.2019.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	-1,2866	-0,6898	-2,6898	-1,9706	-9,9039
Prvi kvartil	1,4338	-0,0111	-1,1534	-0,1423	-4,6248
Medijan	2,8614	0,2816	-0,6703	0,1807	-2,9598
Srednja vrijednost	3,1417	0,3623	-0,7423	0,2151	-3,1880
Treći kvartil	4,5843	0,6628	-0,3099	0,5478	-1,4499
Maksimum	9,8073	2,3638	0,9816	2,5285	1,0833
Standardna devijacija	2,1542	0,4937	0,5920	0,5287	2,1971

**Statistički pokazatelji vrijednosti pokazatelja stanja svemirskog vremena u razdoblju
28. – 30.12.2019.**

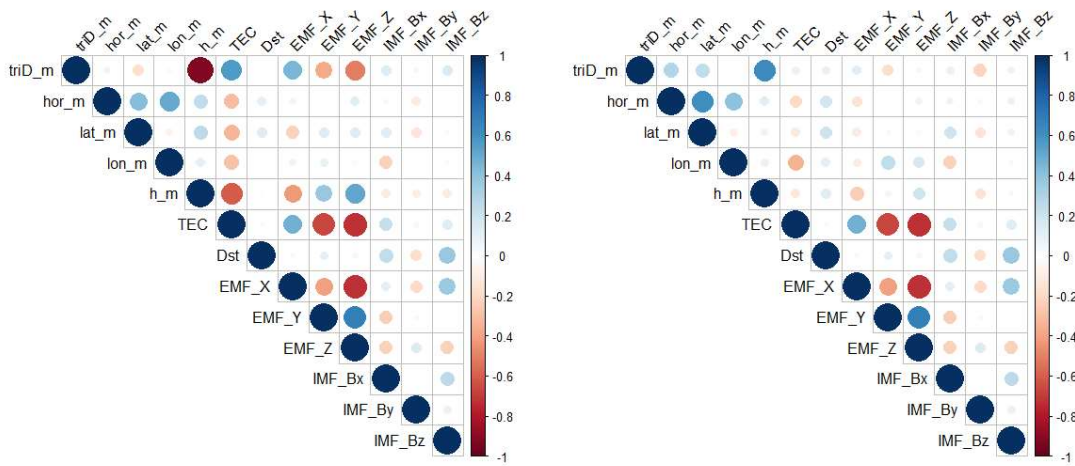
28. – 30.12.2019.	Dst	EMF_X	EMF_Y	EMF_Z	IMF_Bx	IMF_By	EMF_B
Minimum	-5,00	26552,90	-8674,60	6547,10	-3,91	-7,36	-4,40
Prvi kvartil	-2,00	26560,50	-8647,60	6568,90	-0,17	-4,54	-0,68
Medijan	0,00	26564,30	-8645,30	6574,10	0,78	-3,03	0,50
Srednja vrijednost	0,81	26570,02	-8646,88	6570,95	0,65	-3,10	0,47
Treći kvartil	3,00	26576,40	-8640,60	6576,20	1,72	-1,88	1,34
Maksimum	12,00	26605,80	-8636,60	6579,10	4,44	6,60	6,95
Standardna devijacija	3,68	12,85	8,79	7,89	1,70	1,86	1,70

* vrijednosti su u nanoteslama [nT]

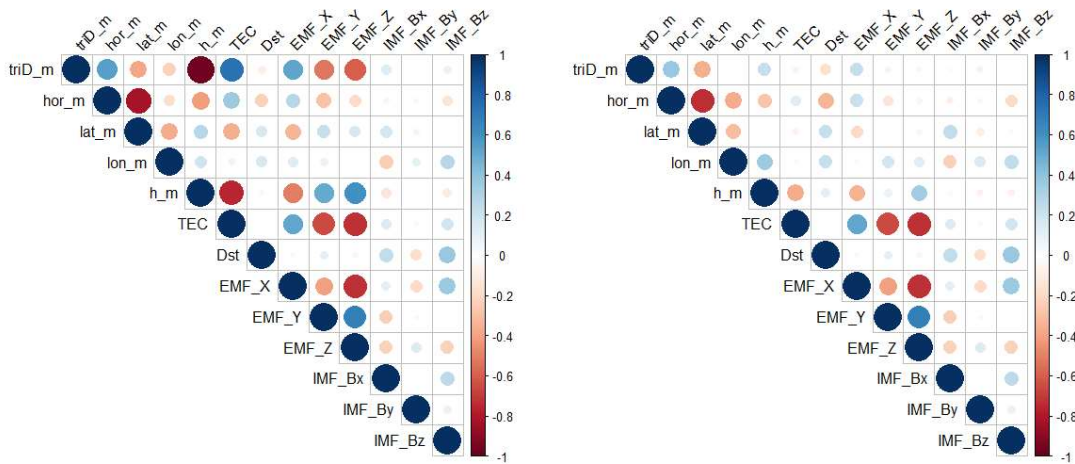
**Statistički pokazatelji vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona s obzirom na geografsko
područje stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju 28. – 30.12.2019. (za cijelo
promatrano razdoblje i za svaki dan posebno)**

TEC [TECU]		28. – 30.12.'19.	28.12.2019.	29.12.2019	30.12.2019.
KOUR	Minimum	2,0200	2,1400	2,1100	2,0200
	Prvi kvartil	4,0600	4,2675	3,5200	4,2475
	Medijan	9,7600	9,9500	10,4850	9,0850
	Srednja vrijednost	10,3919	10,4443	11,0862	9,6452
	Treći kvartil	16,7000	16,5300	18,4225	15,7475
	Maksimum	21,8400	18,1700	21,8400	19,5000
	Standardna devijacija	6,3087	5,8929	6,9747	5,9193
KOUG	Minimum	2,0300	2,0300	2,1700	2,0900
	Prvi kvartil	3,6100	4,1100	3,2800	3,6400
	Medijan	9,4200	9,4750	10,0750	8,4550
	Srednja vrijednost	10,1940	10,3262	10,9429	9,3128
	Treći kvartil	16,6700	16,5725	18,4300	15,8125
	Maksimum	21,7300	18,2200	21,7300	18,8400
	Standardna devijacija	6,3868	6,0726	7,0355	5,8908
BOAV	Minimum	2,0100	2,0100	2,1400	2,0800
	Prvi kvartil	3,9600	3,7100	3,7675	5,3600
	Medijan	9,5600	9,6850	9,2250	9,4250
	Srednja vrijednost	10,2340	9,6280	11,1845	9,8896
	Treći kvartil	15,6800	15,0900	18,9125	14,5650
	Maksimum	23,7400	18,3200	23,7400	19,4300
	Standardna devijacija	6,3502	5,6779	7,6640	5,3542

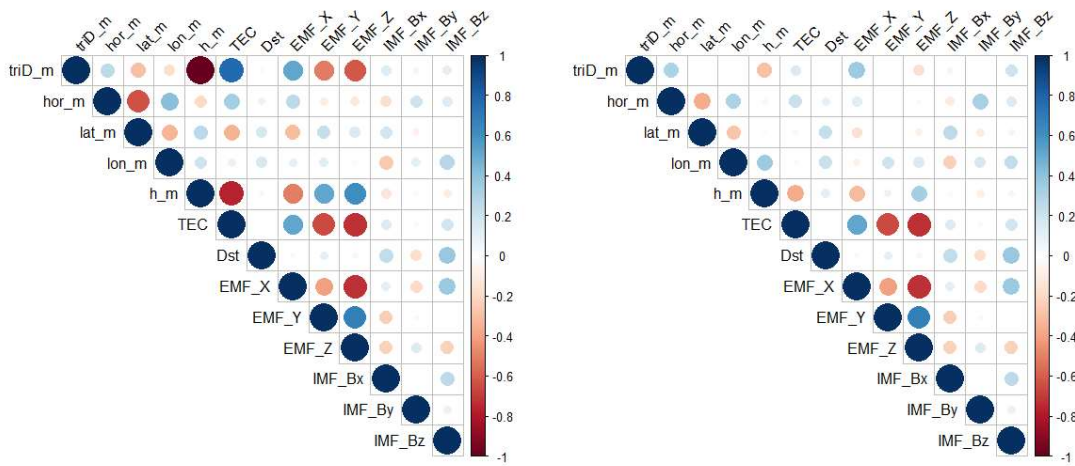
**Korelacijski prikazi nemodeliranih (lijevi prikaz) i modeliranih (desni prikaz)
vrijednosti odstupanja položaja s pokazateljima stanja svemirskog vremena u razdoblju
17. – 19.03.2015. – stanica BOAV**



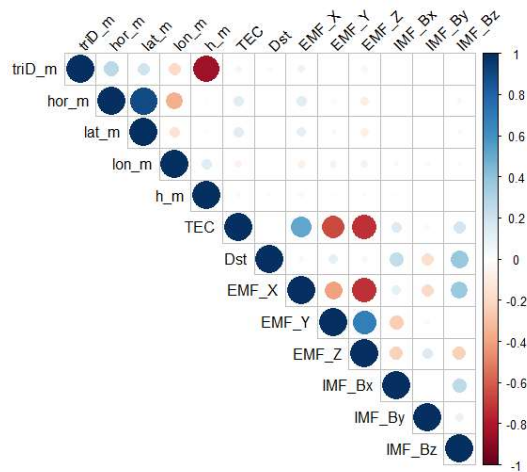
**Korelacijski prikazi nemodeliranih (lijevi prikaz) i modeliranih (desni prikaz)
vrijednosti odstupanja položaja s pokazateljima stanja svemirskog vremena u razdoblju
17. – 19.03.2015. – stanica KOUR**



**Korelacijski prikazi nemodeliranih (lijevi prikaz) i modeliranih (desni prikaz)
vrijednosti odstupanja položaja s pokazateljima stanja svemirskog vremena u razdoblju
17. – 19.03.2015. – stanica KOUG**



**Korelacijski prikaz odstupanja položaja dobivenih DGPS – om s pokazateljima stanja
svemirskog vremena u razdoblju 17. – 19.03.2015. – stanica KOUG**



PRILOG 2: TABLIČNI I KORELACIJSKI PRIKAZI REZULTATA ISTRAŽIVANJA – RAZDOBLJE NARUŠENIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA

Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanice KOUR u razdoblju 17. – 19.03.2015. (za cijelo promatrano razdoblje i za svaki dan posebno) – ionosferski model isključen

KOUR					
17. – 19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,7144	0,4510	-6,7631	-8,6500	-27,3796
Prvi kvartil	7,1211	3,2815	-4,1529	-3,5572	-16,7797
Medijan	12,4904	4,4021	-2,2472	-1,9063	-11,4065
Srednja vrijednost	12,3137	4,3678	-1,8740	-1,9948	-11,3104
Treći kvartil	17,5677	5,3402	-0,6217	-0,0196	-5,9213
Maksimum	28,0934	9,2121	5,9534	2,9681	1,5994
Standardna devijacija	5,7322	1,5663	2,9056	2,3504	5,9187
17.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,7144	0,4510	-6,2135	-8,6500	-26,6372
Prvi kvartil	5,7911	3,0960	-3,6348	-4,2943	-16,4006
Medijan	11,7886	4,2875	-1,7201	-2,4077	-10,5107
Srednja vrijednost	11,5868	4,3072	-1,6623	-2,6617	-10,4677
Treći kvartil	17,0924	5,5663	-0,4660	-0,6018	-4,8780
Maksimum	27,1549	9,2121	4,7477	1,2322	1,5994
Standardna devijacija	6,1658	1,8607	2,5491	2,3657	6,3786
18.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	3,0534	1,5764	-6,7631	-8,2416	-21,7433
Prvi kvartil	9,3508	3,3119	-4,0905	-3,7416	-17,3454
Medijan	12,8063	4,2882	-2,7805	-1,5368	-11,7596
Srednja vrijednost	13,1660	4,3105	-2,2968	-1,8339	-12,2707
Treći kvartil	18,0072	4,9444	-1,1443	0,0742	-8,4872
Maksimum	22,2542	8,6047	3,5037	2,3234	-0,4116
Standardna devijacija	4,9191	1,3352	2,3871	2,4415	5,1587
19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	2,3232	0,6645	-6,7391	-6,4337	-27,3796
Prvi kvartil	5,5839	3,3296	-4,7585	-3,1142	-16,2408
Medijan	12,5341	4,6525	-2,1015	-1,7421	-11,6034
Srednja vrijednost	12,1883	4,4858	-1,6628	-1,4887	-11,1927
Treći kvartil	17,2315	5,3750	1,1113	0,3060	-4,7244
Maksimum	28,0934	8,2990	5,9534	2,9681	-0,8892
Standardna devijacija	5,9273	1,4482	3,5881	2,0727	6,0162

Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanice KOUG u razdoblju 17. – 19.03.2015. (za cijelo promatrano razdoblje te za svaki dan posebno) – ionosferski model isključen

KOUG					
17. – 19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,0266	0,0144	-4,8937	-7,1836	-28,3694
Prvi kvartil	7,4146	1,6056	-2,1721	-2,0471	-17,8821
Medijan	13,2852	3,0369	-0,2634	-0,4720	-12,6622

Srednja vrijednost	13,0022	3,2056	0,1117	-0,5343	-12,4743
Treći kvartil	18,3758	4,2052	1,3507	1,3	-6,8997
Maksimum	28,7190	9,1625	8,0022	4,7877	0,7348
Standardna devijacija	5,9725	1,9414	2,8889	2,3139	5,9223
17.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,0266	0,0734	-4,1043	-7,1836	-28,3694
Prvi kvartil	6,3004	1,6264	-1,6784	-2,8909	-17,5419
Medijan	12,5367	2,9057	0,2278	-0,9454	-11,7021
Srednja vrijednost	12,1996	3,1352	0,3322	-1,2118	-11,6275
Treći kvartil	17,8070	4,0161	1,5530	0,7604	-5,9034
Maksimum	28,7190	9,1625	7,0052	3,2132	0,7348
Standardna devijacija	6,3675	1,9138	2,5339	2,3346	6,3787
18.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	2,8334	0,0144	-4,8937	-6,7101	-22,9088
Prvi kvartil	9,8204	1,5598	-2,1998	-2,1797	-18,4602
Medijan	13,5995	2,9263	-0,7496	-0,0030	-13,0617
Srednja vrijednost	13,8438	2,9604	-0,3325	-0,3634	-13,4181
Treći kvartil	18,8563	3,8986	0,7580	1,4912	-9,5872
Maksimum	23,1433	8,1610	5,4412	3,7885	-2,0461
Standardna devijacija	5,1908	1,7253	2,3907	2,3973	5,1780
19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,1141	0,0510	-4,7973	-5,0797	-27,3783
Prvi kvartil	6,3555	1,6382	-2,6898	-1,6169	-17,3895
Medijan	13,6991	3,3872	-0,1600	-0,2660	-12,9015
Srednja vrijednost	12,9631	3,5214	0,3355	-0,0276	-12,3774
Treći kvartil	18,1402	5,1143	3,0764	1,7413	-6,1562
Maksimum	27,6672	8,5703	8,0022	4,7877	-1,1004
Standardna devijacija	6,1820	2,1233	3,5520	2,0315	6,0127

Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanice BOAV u razdoblju 17. – 19.03.2015. (za cijelo promatrano razdoblje te za svaki dan posebno) – ionosferski model isključen

BOAV					
17. – 19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,0495	0,0693	-4,3126	-6,0826	-26,2258
Prvi kvartil	5,7178	1,6588	-1,1142	-1,2009	-16,0214
Medijan	11,5003	2,6022	0,3840	0,5564	-10,5995
Srednja vrijednost	11,3460	3,0736	0,7983	0,0868	-10,6233
Treći kvartil	16,5538	3,9093	1,9460	1,5316	-5,0915
Maksimum	26,5417	9,5854	8,3787	3,9814	3,2613
Standardna devijacija	5,9034	1,9536	2,8635	2,0915	6,1208
17.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,0495	0,2686	-4,0139	-6,0826	-26,2258
Prvi kvartil	3,8214	1,6356	-0,6901	-2,1409	-15,9818
Medijan	8,8903	2,3592	0,7632	0,2413	-8,0740
Srednja vrijednost	10,2418	2,9679	0,8778	-0,5163	-9,3146
Treći kvartil	16,3969	3,8230	1,8843	1,1313	-2,6784
Maksimum	26,5417	9,5315	7,5086	3,6074	3,2613
Standardna devijacija	6,6767	1,8820	2,4724	2,2721	7,0969
18.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	2,5657	0,1640	-4,3126	-5,5282	-22,1200
Prvi kvartil	8,5052	1,6257	-1,0321	-0,4293	-16,2041
Medijan	12,2894	2,6466	-0,1293	0,8161	-12,0481

Srednja vrijednost	12,4370	2,9010	0,4405	0,3352	-11,9032
Treći kvartil	16,9086	3,5278	1,3318	1,8602	-7,8360
Maksimum	22,1682	9,5854	8,0424	3,9814	0,6097
Standardna devijacija	4,7928	1,9567	2,7246	2,1159	4,8705
19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	1,5002	0,0693	-3,9713	-3,8282	-25,2585
Prvi kvartil	5,3150	1,6891	-1,8378	-0,6793	-15,5713
Medijan	11,5879	2,8027	0,9659	0,3400	-10,3573
Srednja vrijednost	11,3591	3,3519	1,0767	0,4416	-10,6521
Treći kvartil	15,9771	4,5385	2,8516	1,7054	-4,9669
Maksimum	25,4037	8,5868	8,3787	3,7091	-0,5571
Standardna devijacija	5,8855	1,9915	3,2957	1,7142	5,9163

Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju 17. – 19.03.2015. – ionosferski model uključen

KOUR					
17. – 19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,8702	0,4631	-6,5812	-7,5325	-15,3038
Prvi kvartil	3,5705	3,1202	-3,7032	-3,2679	-4,5164
Medijan	4,8642	4,0104	-2,0949	-1,8112	-2,1506
Srednja vrijednost	5,5703	4,0388	-1,6085	-2,0052	-2,6946
Treći kvartil	6,5552	4,8594	-0,5640	-0,4906	-0,0041
Maksimum	16,0833	8,1452	6,2363	1,7975	5,5267
Standardna devijacija	2,8358	1,3865	2,7567	1,9912	3,6846
KOUG					
17. – 19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,1806	0,0139	-4,6758	-5,9938	-16,7204
Prvi kvartil	2,5731	1,3996	-1,7139	-1,8051	-5,7321
Medijan	4,2994	2,5364	-0,1156	-0,3973	-3,2700
Srednja vrijednost	5,2781	2,8829	0,3747	-0,5533	-3,8550
Treći kvartil	6,9891	3,7669	1,4118	0,9552	-1,1246
Maksimum	17,6646	8,3277	8,2899	3,5058	4,7018
Standardna devijacija	3,6281	1,8778	2,7424	1,9570	3,7848
BOAV					
17. – 19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,4122	0,0774	-3,9400	-5,7737	-14,8776
Prvi kvartil	2,3320	1,5334	-0,7139	-0,8871	-3,9335
Medijan	3,4025	2,2320	0,5551	0,5385	-1,5395
Srednja vrijednost	4,4047	2,8330	1,0194	0,0651	-1,9969
Treći kvartil	5,5079	3,3287	1,9769	1,3797	0,5359
Maksimum	15,2417	9,3070	8,2615	3,1177	6,3542
Standardna devijacija	2,8887	1,9341	2,7461	1,7725	3,4632

Statistički pokazatelji reziduala modeliranih i nemodeliranih vrijednosti odstupanja položaja stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju 17. – 19.03.2015.

KOUR					
17. – 19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	-2,7548	-0,8431	-1,3873	-1,3614	-17,1413
Prvi kvartil	2,5720	-0,0010	-0,4439	-0,4467	-13,6717

Medijan	5,9374	0,2697	-0,2036	0,0463	-8,6184
Srednja vrijednost	6,7434	0,3290	-0,2654	0,0105	-8,6158
Treći kvartil	11,1355	0,6632	-0,0436	0,5061	-3,5738
Maksimum	16,6237	1,5221	0,4625	1,5692	-2,2810
Standardna devijacija	4,7926	0,4160	0,3011	0,6208	4,7990
KOUG					
17. – 19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	-1,9986	-0,9867	-1,4537	-1,3919	-17,2047
Prvi kvartil	3,0784	-0,0166	-0,4358	-0,4413	-13,6490
Medijan	7,1376	0,2703	-0,2081	0,0478	-8,6197
Srednja vrijednost	7,7241	0,3228	-0,2630	0,0190	-8,6193
Treći kvartil	12,7578	0,6419	-0,0458	0,4972	-3,5747
Maksimum	17,0916	1,6782	0,4830	1,6567	-2,2272
Standardna devijacija	4,8588	0,4245	0,3024	0,6208	4,7892
BOAV					
17. – 19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	-2,7855	-1,6721	-1,3734	-2,2205	-17,9018
Prvi kvartil	2,5752	-0,0432	-0,3703	-0,3399	-13,8285
Medijan	5,3647	0,1350	-0,1528	0,0366	-8,8343
Srednja vrijednost	6,9412	0,2406	-0,2211	0,0217	-8,6264
Treći kvartil	12,5524	0,5507	-0,0075	0,5120	-3,3116
Maksimum	17,3857	2,1095	0,7431	1,4686	-2,0588
Standardna devijacija	5,3747	0,5238	0,2931	0,6471	4,9588

Statistički pokazatelji odstupanja položaja stanice KOUG dobivenih DGPS – om u razdoblju 17. – 19.03.2015.

KOUG					
17. – 19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	0,1048	0,0305	-0,7631	-1,9452	-7,3930
Prvi kvartil	0,7734	0,4479	0,3825	-0,3061	-1,1518
Medijan	1,0221	0,5762	0,5170	-0,1485	-0,7828
Srednja vrijednost	1,1298	0,6064	0,5264	-0,1507	-0,7979
Treći kvartil	1,3444	0,7174	0,6522	0,0046	-0,4075
Maksimum	9,2632	5,9454	5,8465	1,8087	2,7787
Standardna devijacija	0,5551	0,2851	0,2743	0,2690	0,7064

Statistički pokazatelji reziduala vrijednosti odstupanja položaja stanice KOUG dobivenih SPP – om i DGPS – om u razdoblju 17. – 19.03.2015.

KOUG					
17. – 19.03.2015.	$\Delta 3D$ [m]	Δhor [m]	$\Delta \varphi$ [m]	$\Delta \lambda$ [m]	Δh [m]
Minimum	-1,0830	-0,9194	-5,4635	-7,0939	-27,2457
Prvi kvartil	6,2547	1,0265	-2,7469	-1,9188	-17,1274
Medijan	12,0282	2,3818	-0,7397	-0,2542	-11,6958
Srednja vrijednost	11,8724	2,5992	-0,4147	-0,3835	-11,6764
Treći kvartil	17,2554	3,5910	0,8356	1,5427	-6,2998
Maksimum	27,1988	8,5916	7,4167	4,7404	2,1412
Standardna devijacija	5,9952	1,9547	2,9172	2,3431	5,9561

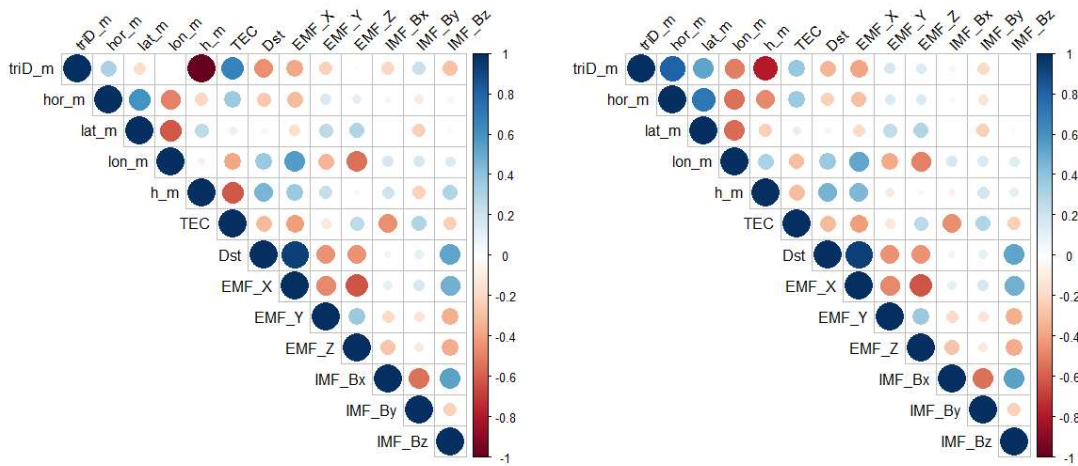
**Statistički pokazatelji vrijednosti pokazatelja stanja svemirskog vremena u razdoblju
17. – 19.03.2015.**

17. – 19.03.2015.	Dst	EMF_X	EMF_Y	EMF_Z	IMF_Bx	IMF_By	EMF_B
Minimum	-234,00	26268,90	-8625,70	7510,90	-22,26	-18,88	-25,98
Prvi kvartil	-117,25	26476,50	-8602,00	7564,20	-2,15	-7,51	-5,32
Medijan	-86,00	26511,00	-8595,20	7574,10	2,78	-2,81	-1,34
Srednja vrijednost	-92,67	26491,53	-8595,01	7574,84	1,32	-2,17	-2,53
Treći kvartil	-71,75	26531,10	-8588,90	7582,60	5,35	0,64	1,72
Maksimum	45,00	26618,60	-8554,90	7629,90	18,42	31,33	27,62
Standardna devijacija	54,55	70,51	10,69	18,13	6,28	8,30	8,18
* vrijednosti su u nanoteslama [nT]							

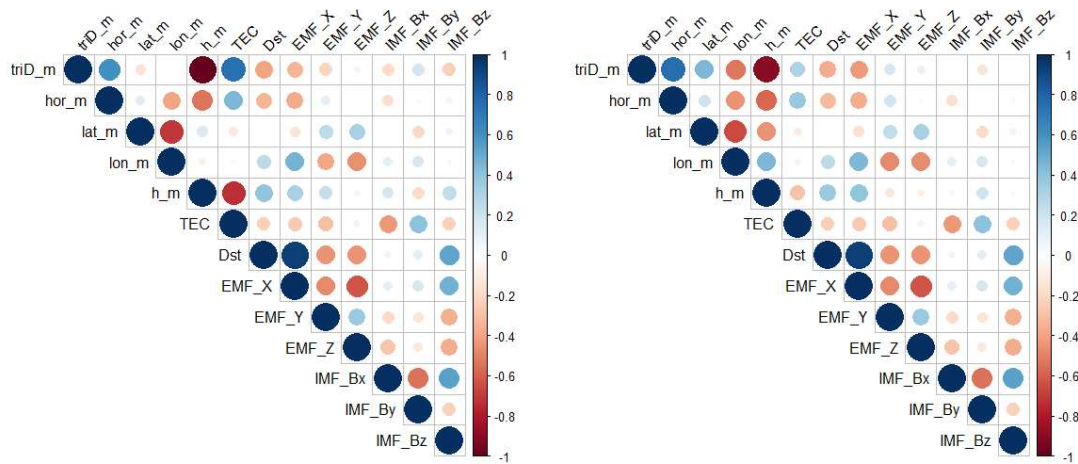
**Statistički pokazatelji vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona s obzirom na geografsko
područje stanica KOUR, KOUG i BOAV u razdoblju 17. – 19.03.2015. (za cijelo
promatrano razdoblje i za svaki dan posebno)**

TEC [TECU]		17. – 19.03.'15.	17.03.2015.	18.03.2015.	19.03.2015.
KOUR	Minimum	2,1200	2,1200	2,5600	2,3400
	Prvi kvartil	12,9600	21,3825	8,2800	11,7600
	Medijan	31,6600	34,5350	22,3950	36,2500
	Srednja vrijednost	32,4710	37,8581	24,3053	35,2497
	Treći kvartil	51,6425	56,6900	35,0100	53,7625
	Maksimum	78,0900	78,0900	52,7500	68,2900
	Standardna devijacija	20,7425	21,2207	16,2417	21,7659
KOUG	Minimum	2,1000	2,1000	2,8100	2,3700
	Prvi kvartil	13,2275	21,5225	9,1200	12,1475
	Medijan	30,9550	34,6750	22,9400	36,5700
	Srednja vrijednost	32,6708	37,6275	24,6045	35,7803
	Treći kvartil	51,4925	56,0075	33,4650	54,1700
	Maksimum	78,0400	78,0400	53,3600	69,8500
	Standardna devijacija	20,6230	21,1591	15,8987	21,8326
BOAV	Minimum	2,0900	2,0900	2,2200	2,3400
	Prvi kvartil	12,2175	22,5750	7,9475	15,1075
	Medijan	38,4200	44,3000	25,3650	40,6100
	Srednja vrijednost	36,3615	44,9406	26,0318	38,1123
	Treći kvartil	53,6600	68,7000	42,8250	58,8325
	Maksimum	88,6400	88,6400	54,1400	69,2800
	Standardna devijacija	23,9447	26,7437	17,6805	22,5727

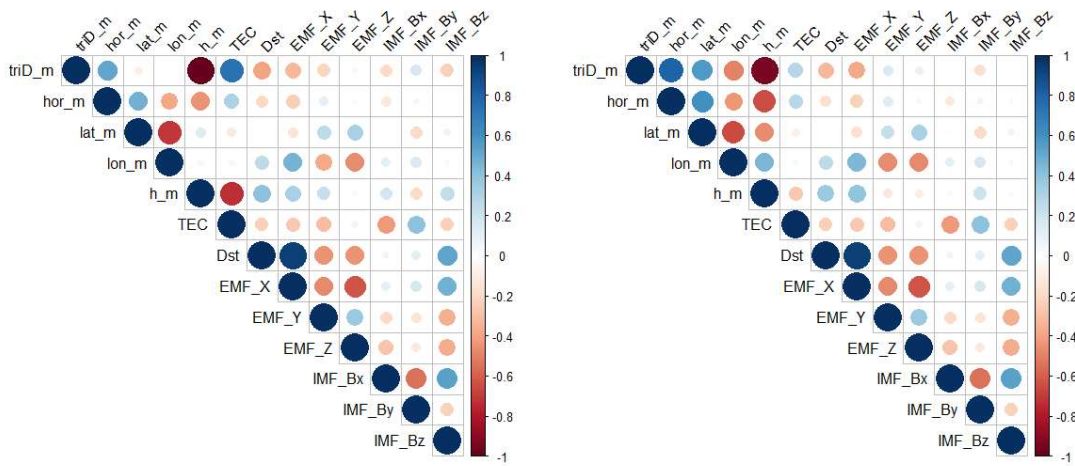
**Korelacijski prikazi nemodeliranih (lijevi prikaz) i modeliranih (desni prikaz)
vrijednosti odstupanja položaja s pokazateljima stanja svemirskog vremena u razdoblju
17. – 19.03.2015. – stanica BOAV**



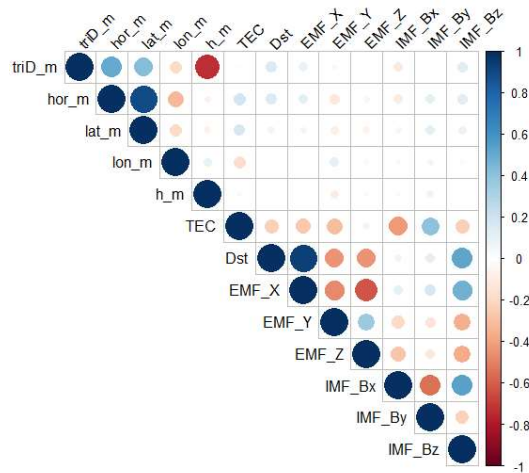
**Korelacijski prikazi nemodeliranih (lijevi prikaz) i modeliranih (desni prikaz)
vrijednosti odstupanja položaja s pokazateljima stanja svemirskog vremena u razdoblju
17. – 19.03.2015. – stanica KOUR**



Korelacijski prikazi nemodeliranih (lijevi prikaz) i modeliranih (desni prikaz) vrijednosti odstupanja položaja s pokazateljima stanja svemirskog vremena u razdoblju 17. – 19.03.2015. – stanica KOUG



Korelacijski prikaz odstupanja položaja dobivenih DGPS – om s pokazateljima stanja svemirskog vremena u razdoblju 17. – 19.03.2015. – stanica KOUG



PRILOG 3: PROGRAMSKI KOD PROVEDENIH ISTRAŽIVANJA ZA STANICU KOUG I RAZDOBLJE NARUŠENIH UVJETA SVEMIRSKOG VREMENA

```
files_on<-Sys.glob('*ON*.pos')
pos_on<-lapply(files_on, function(x) read.csv(x, skip=12, sep = ', '))
pos_on<-lapply(pos_on, function(x) x[1:4])
POS_ON<-do.call(rbind.data.frame,pos_on)
c_names <- c("GPST", "lat", "lon", "height")
colnames(POS_ON)<- c_names
POS_ON$GPST<-as.POSIXct(POS_ON$GPST)
tec076 <- read.csv(file='koug076-2015-03-17.Std',header =FALSE, sep=', ')
tec077 <- read.csv(file='koug077-2015-03-18.Std',header =FALSE, sep=', ')
tec078 <- read.csv(file='koug078-2015-03-19.Std',header =FALSE, sep=', ')
tec_all<-rbind(tec076, tec077, tec078)
c_names <- c("time", "TEC", "std", "lat")
colnames(tec_all)<- c_names
tec_all<-tec_all[,1:2]
geom_076<-read.csv(file='kou20150317dmin.min', skip = 24, header =TRUE,
sep=', ')
geom_077<-read.csv(file='kou20150318dmin.min', skip = 24, header =TRUE,
sep=', ')
geom_078<-read.csv(file='kou20150319dmin.min', skip = 24, header =TRUE,
sep=', ')
geom_all<-rbind(geom_076, geom_077, geom_078)
c_names <- c("Date", "Time", "DOY", "X", "Y", "Z")
colnames(geom_all)<- c_names
geom_all<-geom_all[,1:6]
fctr.col<-c("Date", "Time")
geom_all[, fctr.col] <- sapply(geom_all[, fctr.col], as.character)
geom_all$GPST <- paste(geom_all$Date,geom_all$Time)
geom_all$GPST<-as.POSIXct(geom_all$GPST)
geom_all <- geom_all[,4:7]
dst076 <- read.csv(file='DST_2015-03-17.pos',header =FALSE, sep=', ')
dst077 <- read.csv(file='DST_2015-03-18.pos',header =FALSE, sep=', ')
dst078 <- read.csv(file='DST_2015-03-19.pos',header =FALSE, sep=', ')
dst_all<-rbind(dst076, dst077, dst078)
c_names <- c("time", "DST")
colnames(dst_all)<- c_names
dst_all$GPST<-seq(as.POSIXct("2015-03-17 00:00:00"), length.out=4320, by='1
min')
dst_all<-dst_all[,2:3]
IMF076 <- read.csv(file='IMF_2015-03-17.txt',header =FALSE, sep=', ')
IMF077 <- read.csv(file='IMF_2015-03-18.txt',header =FALSE, sep=', ')
IMF078 <- read.csv(file='IMF_2015-03-19.txt',header =FALSE, sep=', ')
IMF_all<-rbind(IMF076, IMF077, IMF078)
c_names <- c("IMF_Bx", "IMF_By", 'IMF_Bz')
colnames(IMF_all)<- c_names
IMF_all$GPST<-seq(as.POSIXct("2015-03-17 00:00:00"), length.out=4320, by='1
min')
lat<-5.0984722
lon<--52.6397500
height<- 106.614
d_lat<-(lat-POS_ON$lat)
d_lon<-(lon-POS_ON$lon)
h_m<-(height-POS_ON$height)
cos_lat<-(cos(lat*pi/180))
lat_m<-(d_lat*60*1852)
```

```

lon_m<-(d_lon*60*1852*cos_lat)
r<-6378*1000-21*sin(lat*pi/180)
A<-(d_lat/2)*pi/180
B<-(d_lon/2)*pi/180
C<-POS_ON$lat*pi/180
hor_m<-2*r*asin(sqrt((sin(A))**2+cos_lat*cos(C)*(sin(B))**2))
triD_m<-sqrt(hor_m**2+h_m**2)
triD_m_pitagora<-(sqrt(lat_m^2+lon_m^2+h_m^2))
odstupanja_on<-as.data.frame(cbind(lat_m, lon_m, h_m, hor_m, triD_m))
odstupanja_on$GPST<-POS_ON$GPST
tec_all$GPST<-seq(as.POSIXct("2015-03-17 00:00:00"), length.out=4320, by='1
min')
tec_all<-tec_all[,2:3]
total_on <- merge(tec_all,odstupanja_on,by="GPST", all.x=TRUE)
total_on <- merge(total_on,geom_all,by="GPST", all.x=TRUE)
total_on <- merge(total_on,dst_all,by="GPST", all.x=TRUE)
total_on <- merge(total_on,IMF_all,by="GPST", all.x=TRUE)
summary(total_on)
summary(total_on$lat_m)
rows<-names(summary(total_on$lat_m))
summary_lat_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_on$lat_m)))
summary_lat_m_on<-rbind(summary_lat_m_on,sd(total_on$lat_m))
summary(total_on$lon_m)
rows<-names(summary(total_on$lon_m))
summary_lon_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_on$lon_m)))
summary_lon_m_on<-rbind(summary_lon_m_on,sd(total_on$lon_m))
summary(total_on$h_m)
rows<-names(summary(total_on$h_m))
summary_h_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_on$h_m)))
summary_h_m_on<-rbind(summary_h_m_on,sd(total_on$h_m))
summary(total_on$hor_m)
rows<-names(summary(total_on$hor_m))
summary_hor_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_on$hor_m)))
summary_hor_m_on<-rbind(summary_hor_m_on,sd(total_on$hor_m))
summary(total_on$triD_m)
rows<-names(summary(total_on$triD_m))
summary_triD_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_on$triD_m)))
summary_triD_m_on<-rbind(summary_triD_m_on,sd(total_on$triD_m))
summary(total_on$TEC)
rows<-names(summary(total_on$TEC))
summary_TEC<-as.data.frame(matrix(summary(total_on$TEC)))
summary_TEC<-rbind(summary_TEC,sd(total_on$TEC))
summary(total_on$X)
rows<-names(summary(total_on$X))
summary_X<-as.data.frame(matrix(summary(total_on$X)))
summary_X<-rbind(summary_X,sd(total_on$X))
summary(total_on$Y)
rows<-names(summary(total_on$Y))
summary_Y<-as.data.frame(matrix(summary(total_on$Y)))
summary_Y<-rbind(summary_Y,sd(total_on$Y))
summary(total_on$Z)
rows<-names(summary(total_on$Z))
summary_Z<-as.data.frame(matrix(summary(total_on$Z)))
summary_Z<-rbind(summary_Z,sd(total_on$Z))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m','triD_m', 'TEC', 'X', 'Y', 'Z')
stats_all_on<-cbind.data.frame(summary_lat_m_on, summary_lon_m_on,
summary_h_m_on,
summary_hor_m_on, summary_triD_m_on, summary_TEC, summary_X, summary_Y,
summary_Z)
rownames(stats_all_on)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_all_on)<-cols

```

```

print(stats_all_on)
total_076_on<-total_on[1:1440, ]
total_077_on<-total_on[1441:2880, ]
total_078_on<-total_on[2881:4320, ]
summary(total_076_on$lat_m)
rows<-names(summary(total_076_on$lat_m))
summary_076_lat_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_on$lat_m)))
summary_076_lat_m_on<-rbind(summary_076_lat_m_on,sd(total_076_on$lat_m))
summary(total_076_on$lon_m)
rows<-names(summary(total_076_on$lon_m))
summary_076_lon_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_on$lon_m)))
summary_076_lon_m_on<-rbind(summary_076_lon_m_on,sd(total_076_on$lon_m))
summary(total_076_on$h_m)
rows<-names(summary(total_076_on$h_m))
summary_076_h_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_on$h_m)))
summary_076_h_m_on<-rbind(summary_076_h_m_on,sd(total_076_on$h_m))
summary(total_076_on$hor_m)
rows<-names(summary(total_076_on$hor_m))
summary_076_hor_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_on$hor_m)))
summary_076_hor_m_on<-rbind(summary_076_hor_m_on,sd(total_076_on$hor_m))
summary(total_076_on$triD_m)
rows<-names(summary(total_076_on$triD_m))
summary_076_triD_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_on$triD_m)))
summary_076_triD_m_on<-rbind(summary_076_triD_m_on,sd(total_076_on$triD_m))
summary(total_076_on$TEC)
rows<-names(summary(total_076_on$TEC))
summary_076_TEC<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_on$TEC)))
summary_076_TEC<-rbind(summary_076_TEC,sd(total_076_on$TEC))
summary(total_076_on$X)
rows<-names(summary(total_076_on$X))
summary_076_X<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_on$X)))
summary_076_X<-rbind(summary_076_X,sd(total_076_on$X))
summary(total_076_on$Y)
rows<-names(summary(total_076_on$Y))
summary_076_Y<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_on$Y)))
summary_076_Y<-rbind(summary_076_Y,sd(total_076_on$Y))
summary(total_076_on$Z)
rows<-names(summary(total_076_on$Z))
summary_076_Z<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_on$Z)))
summary_076_Z<-rbind(summary_076_Z,sd(total_076_on$Z))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m', 'triD_m', 'TEC', 'X', 'Y', 'Z')
stats_076_on<-cbind.data.frame(summary_076_lat_m_on, summary_076_lon_m_on,
summary_076_h_m_on, summary_076_hor_m_on, summary_076_triD_m_on,
summary_076_TEC, summary_076_X, summary_076_Y, summary_076_Z)
rownames(stats_076_on)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_076_on)<-cols
print(stats_076_on)
summary(total_077_on$lat_m)
rows<-names(summary(total_077_on$lat_m))
summary_077_lat_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_on$lat_m)))
summary_077_lat_m_on<-rbind(summary_077_lat_m_on,sd(total_077_on$lat_m))
summary(total_077_on$lon_m)
rows<-names(summary(total_077_on$lon_m))
summary_077_lon_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_on$lon_m)))
summary_077_lon_m_on<-rbind(summary_077_lon_m_on,sd(total_077_on$lon_m))
summary(total_077_on$h_m)
rows<-names(summary(total_077_on$h_m))
summary_077_h_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_on$h_m)))
summary_077_h_m_on<-rbind(summary_077_h_m_on,sd(total_077_on$h_m))
summary(total_077_on$hor_m)
rows<-names(summary(total_077_on$hor_m))

```

```

summary_077_hor_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_on$hor_m)))
summary_077_hor_m_on<-rbind(summary_077_hor_m_on,sd(total_077_on$hor_m))
summary(total_077_on$triD_m)
rows<-names(summary(total_077_on$triD_m))
summary_077_triD_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_on$triD_m)))
summary_077_triD_m_on<-rbind(summary_077_triD_m_on,sd(total_077_on$triD_m))
summary(total_077_on$TEC)
rows<-names(summary(total_077_on$TEC))
summary_077_TEC<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_on$TEC)))
summary_077_TEC<-rbind(summary_077_TEC,sd(total_077_on$TEC))
summary(total_077_on$X)
rows<-names(summary(total_077_on$X))
summary_077_X<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_on$X)))
summary_077_X<-rbind(summary_077_X,sd(total_077_on$X))
summary(total_077_on$Y)
rows<-names(summary(total_077_on$Y))
summary_077_Y<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_on$Y)))
summary_077_Y<-rbind(summary_077_Y,sd(total_077_on$Y))
summary(total_077_on$Z)
rows<-names(summary(total_077_on$Z))
summary_077_Z<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_on$Z)))
summary_077_Z<-rbind(summary_077_Z,sd(total_077_on$Z))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m', 'triD_m', 'TEC', 'X', 'Y', 'Z')
stats_077_on<-cbind.data.frame(summary_077_lat_m_on, summary_077_lon_m_on,
summary_077_h_m_on, summary_077_hor_m_on, summary_077_triD_m_on,
summary_077_TEC, summary_077_X, summary_077_Y, summary_077_Z)
rownames(stats_077_on)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_077_on)<-cols
print(stats_077_on)
summary(total_078_on$lat_m)
rows<-names(summary(total_078_on$lat_m))
summary_078_lat_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_on$lat_m)))
summary_078_lat_m_on<-rbind(summary_078_lat_m_on,sd(total_078_on$lat_m))
summary(total_078_on$lon_m)
rows<-names(summary(total_078_on$lon_m))
summary_078_lon_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_on$lon_m)))
summary_078_lon_m_on<-rbind(summary_078_lon_m_on,sd(total_078_on$lon_m))
summary(total_078_on$h_m)
rows<-names(summary(total_078_on$h_m))
summary_078_h_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_on$h_m)))
summary_078_h_m_on<-rbind(summary_078_h_m_on,sd(total_078_on$h_m))
summary(total_078_on$hor_m)
rows<-names(summary(total_078_on$hor_m))
summary_078_hor_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_on$hor_m)))
summary_078_hor_m_on<-rbind(summary_078_hor_m_on,sd(total_078_on$hor_m))
summary(total_078_on$triD_m)
rows<-names(summary(total_078_on$triD_m))
summary_078_triD_m_on<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_on$triD_m)))
summary_078_triD_m_on<-rbind(summary_078_triD_m_on,sd(total_078_on$triD_m))
summary(total_078_on$TEC)
rows<-names(summary(total_078_on$TEC))
summary_078_TEC<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_on$TEC)))
summary_078_TEC<-rbind(summary_078_TEC,sd(total_078_on$TEC))
summary(total_078_on$X)
rows<-names(summary(total_078_on$X))
summary_078_X<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_on$X)))
summary_078_X<-rbind(summary_078_X,sd(total_078_on$X))
summary(total_078_on$Y)
rows<-names(summary(total_078_on$Y))
summary_078_Y<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_on$Y)))
summary_078_Y<-rbind(summary_078_Y,sd(total_078_on$Y))

```

```

summary(total_078_on$Z)
rows<-names(summary(total_078_on$Z))
summary_078_Z<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_on$Z)))
summary_078_Z<-rbind(summary_078_Z,sd(total_078_on$Z))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m', 'triD_m', 'TEC', 'X', 'Y', 'Z')
stats_078_on<-cbind.data.frame(summary_078_lat_m_on, summary_078_lon_m_on,
summary_078_h_m_on,
summary_078_hor_m_on, summary_078_triD_m_on, summary_078_TEC,
summary_078_X, summary_078_Y, summary_078_Z)
rownames(stats_078_on)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_078_on)<-cols
print(stats_078_on)
library(titanic)
library(dplyr)
kor_total_on<-total_on
kor_total_on<-relocate(kor_total_on, triD_m, .before = TEC)
kor_total_on<-relocate(kor_total_on, TEC, .before = X)
kor_total_on<-relocate(kor_total_on, DST, .before = X)
kor_total_on<-relocate(kor_total_on, hor_m, .before = lat_m)
cols<-c('GPST', 'triD_m', 'hor_m', 'lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'TEC', 'Dst',
'EMF_X', 'EMF_Y', 'EMF_Z', 'IMF_Bx', 'IMF_By', 'IMF_Bz')
colnames(kor_total_on)<-cols
library('corrplot')
priprema_za_korelacija_all_on<-kor_total_on[,2:14]
matrica_all_on<-data.matrix(priprema_za_korelacija_all_on)
korelacija_all_on<-cor(matrica_all_on)
print(korelacija_all_on)
corrplot(korelacija_all_on, type = "upper",tl.col = "black", tl.srt = 45)
files_off<-Sys.glob('*OFF*.pos')
pos_off<-lapply(files_off, function(x) read.csv(x, skip=12, sep = ','))
pos_off<-lapply(pos_off, function(x) x[1:4])
POS_OFF<-do.call(rbind.data.frame,pos_off)
c_names <- c("GPST", "lat", "lon", "height")
colnames(POS_OFF)<- c_names
POS_OFF$GPST<-as.POSIXct(POS_OFF$GPST)
d_lat<-(lat-POS_OFF$lat)
d_lon<-(lon-POS_OFF$lon)
h_m<-(height-POS_OFF$height)
cos_lat<-(cos(lat*pi/180))
lat_m<-(d_lat*60*1852)
lon_m<-(d_lon*60*1852*cos_lat)
r<-6378*1000-21*sin(lat*pi/180)
A<-(d_lat/2)*pi/180
B<-(d_lon/2)*pi/180
C<-POS_OFF$lat*pi/180
hor_m<-2*r*asin(sqrt((sin(A))**2+cos_lat*cos(C)*(sin(B))**2))
triD_m<-sqrt(hor_m**2+h_m**2)
triD_m_pitagora<-(sqrt(lat_m^2+lon_m^2+h_m^2))
odstupanja_off<-as.data.frame(cbind(lat_m, lon_m, h_m, hor_m, triD_m))
odstupanja_off$GPST<-POS_OFF$GPST
total_off <- merge(tec_all,odstupanja_off,by="GPST", all.x=TRUE)
total_off <- merge(total_off,geom_all,by="GPST", all.x=TRUE)
total_off <- merge(total_off,dst_all,by="GPST", all.x=TRUE)
total_off <- merge(total_off,IMF_all,by="GPST", all.x=TRUE)
summary(total_off)
summary(total_off$lat_m)
rows<-names(summary(total_off$lat_m))
summary_lat_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_off$lat_m)))
summary_lat_m_off<-rbind(summary_lat_m_off,sd(total_off$lat_m))
summary(total_off$lon_m)
rows<-names(summary(total_off$lon_m))

```

```

summary_lon_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_off$lon_m)))
summary_lon_m_off<-rbind(summary_lon_m_off,sd(total_off$lon_m))
summary(total_off$h_m)
rows<-names(summary(total_off$h_m))
summary_h_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_off$h_m)))
summary_h_m_off<-rbind(summary_h_m_off,sd(total_off$h_m))
summary(total_off$hor_m)
rows<-names(summary(total_off$hor_m))
summary_hor_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_off$hor_m)))
summary_hor_m_off<-rbind(summary_hor_m_off,sd(total_off$hor_m))
summary(total_off$triD_m)
rows<-names(summary(total_off$triD_m))
summary_triD_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_off$triD_m)))
summary_triD_m_off<-rbind(summary_triD_m_off,sd(total_off$triD_m))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m', 'triD_m', 'TEC', 'X', 'Y', 'Z')
stats_all_off<-cbind.data.frame(summary_lat_m_off, summary_lon_m_off,
summary_h_m_off,
summary_hor_m_off, summary_triD_m_off, summary_TEC, summary_X, summary_Y,
summary_Z)
rownames(stats_all_off)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_all_off)<-cols
print(stats_all_off)
total_076_off<-total_off[1:1440, ]
total_077_off<-total_off[1441:2880, ]
total_078_off<-total_off[2881:4320, ]
summary(total_076_off$lat_m)
rows<-names(summary(total_076_off$lat_m))
summary_076_lat_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_off$lat_m)))
summary_076_lat_m_off<-rbind(summary_076_lat_m_off,sd(total_076_off$lat_m))
summary(total_076_off$lon_m)
rows<-names(summary(total_076_off$lon_m))
summary_076_lon_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_off$lon_m)))
summary_076_lon_m_off<-rbind(summary_076_lon_m_off,sd(total_076_off$lon_m))
summary(total_076_off$h_m)
rows<-names(summary(total_076_off$h_m))
summary_076_h_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_off$h_m)))
summary_076_h_m_off<-rbind(summary_076_h_m_off,sd(total_076_off$h_m))
summary(total_076_off$hor_m)
rows<-names(summary(total_076_off$hor_m))
summary_076_hor_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_076_off$hor_m)))
summary_076_hor_m_off<-rbind(summary_076_hor_m_off,sd(total_076_off$hor_m))
summary(total_076_off$triD_m)
rows<-names(summary(total_076_off$triD_m))
summary_076_triD_m_off<-
as.data.frame(matrix(summary(total_076_off$triD_m)))
summary_076_triD_m_off<-
rbind(summary_076_triD_m_off,sd(total_076_off$triD_m))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m', 'triD_m', 'TEC', 'X', 'Y', 'Z')
stats_076_off<-cbind.data.frame(summary_076_lat_m_off,
summary_076_lon_m_off, summary_076_h_m_off,
summary_076_hor_m_off, summary_076_triD_m_off, summary_076_TEC,
summary_076_X, summary_076_Y, summary_076_Z)
rownames(stats_076_off)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_076_off)<-cols
print(stats_076_off)
summary(total_077_off$lat_m)
rows<-names(summary(total_077_off$lat_m))
summary_077_lat_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_off$lat_m)))
summary_077_lat_m_off<-rbind(summary_077_lat_m_off,sd(total_077_off$lat_m))
summary(total_077_off$lon_m)
rows<-names(summary(total_077_off$lon_m))

```

```

summary_077_lon_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_off$lon_m)))
summary_077_lon_m_off<-rbind(summary_077_lon_m_off,sd(total_077_off$lon_m))
summary(total_077_off$h_m)
rows<-names(summary(total_077_off$h_m))
summary_077_h_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_off$h_m)))
summary_077_h_m_off<-rbind(summary_077_h_m_off,sd(total_077_off$h_m))
summary(total_077_off$hor_m)
rows<-names(summary(total_077_off$hor_m))
summary_077_hor_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_077_off$hor_m)))
summary_077_hor_m_off<-rbind(summary_077_hor_m_off,sd(total_077_off$hor_m))
summary(total_077_off$triD_m)
rows<-names(summary(total_077_off$triD_m))
summary_077_triD_m_off<-
as.data.frame(matrix(summary(total_077_off$triD_m)))
summary_077_triD_m_off<-
rbind(summary_077_triD_m_off,sd(total_077_off$triD_m))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m', 'triD_m', 'TEC', 'X', 'Y', 'Z')
stats_077_off<-cbind.data.frame(summary_077_lat_m_off,
summary_077_lon_m_off, summary_077_h_m_off,
summary_077_hor_m_off, summary_077_triD_m_off, summary_077_TEC,
summary_077_X, summary_077_Y, summary_077_Z)
rownames(stats_077_off)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_077_off)<-cols
print(stats_077_off)
summary(total_078_off$lat_m)
rows<-names(summary(total_078_off$lat_m))
summary_078_lat_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_off$lat_m)))
summary_078_lat_m_off<-rbind(summary_078_lat_m_off,sd(total_078_off$lat_m))
summary(total_078_off$lon_m)
rows<-names(summary(total_078_off$lon_m))
summary_078_lon_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_off$lon_m)))
summary_078_lon_m_off<-rbind(summary_078_lon_m_off,sd(total_078_off$lon_m))
summary(total_078_off$h_m)
rows<-names(summary(total_078_off$h_m))
summary_078_h_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_off$h_m)))
summary_078_h_m_off<-rbind(summary_078_h_m_off,sd(total_078_off$h_m))
summary(total_078_off$hor_m)
rows<-names(summary(total_078_off$hor_m))
summary_078_hor_m_off<-as.data.frame(matrix(summary(total_078_off$hor_m)))
summary_078_hor_m_off<-rbind(summary_078_hor_m_off,sd(total_078_off$hor_m))
summary(total_078_off$triD_m)
rows<-names(summary(total_078_off$triD_m))
summary_078_triD_m_off<-
as.data.frame(matrix(summary(total_078_off$triD_m)))
summary_078_triD_m_off<-
rbind(summary_078_triD_m_off,sd(total_078_off$triD_m))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m', 'triD_m', 'TEC', 'X', 'Y', 'Z')
stats_078_off<-cbind.data.frame(summary_078_lat_m_off,
summary_078_lon_m_off, summary_078_h_m_off,
summary_078_hor_m_off, summary_078_triD_m_off, summary_078_TEC,
summary_078_X, summary_078_Y, summary_078_Z)
rownames(stats_078_off)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_078_off)<-cols
print(stats_078_off)
library(titanic)
library(dplyr)
kor_total_off<-total_off
kor_total_off<-relocate(kor_total_off, triD_m, .before = TEC)
kor_total_off<-relocate(kor_total_off, TEC, .before = X)
kor_total_off<-relocate(kor_total_off, DST, .before = X)
kor_total_off<-relocate(kor_total_off, hor_m, .before = lat_m)

```

```

cols<-c('GPST', 'triD_m', 'hor_m', 'lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'TEC', 'Dst',
'EMF_X', 'EMF_Y', 'EMF_Z', 'IMF_Bx', 'IMF_By', 'IMF_Bz')
colnames(kor_total_off)<-cols
library('corrplot')
priprema_za_korelacija_all_off<-kor_total_off[,2:14]
matrica_all_off<-data.matrix(priprema_za_korelacija_all_off)
korelacija_all_off<-cor(matrica_all_off)
print(korelacija_all_off)
corrplot(korelacija_all_off, type = "upper", tl.col = "black", tl.srt = 45)
rez_lat_m<-(total_off$lat_m-total_on$lat_m)
rez_lon_m<-(total_off$lon_m-total_on$lon_m)
rez_h_m<-(total_off$h_m-total_on$h_m)
rez_hor_m<-(total_off$hor_m-total_on$hor_m)
rez_triD_m<-(total_off$triD_m-total_on$triD_m)
rezidualne_all<-as.data.frame(cbind(rez_lat_m, rez_lon_m, rez_h_m,
rez_hor_m, rez_triD_m))
rezidualne_all$GPST<-POS_ON$GPST
summary(rezidualne_all$rez_lat_m)
rows<-names(summary(rezidualne_all$rez_lat_m))
summary_rez_lat_m<-as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_all$rez_lat_m)))
summary_rez_lat_m<-rbind(summary_rez_lat_m, sd(rezidualne_all$rez_lat_m))
summary(rezidualne_all$rez_lon_m)
rows<-names(summary(rezidualne_all$rez_lon_m))
summary_rez_lon_m<-as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_all$rez_lon_m)))
summary_rez_lon_m<-rbind(summary_rez_lon_m, sd(rezidualne_all$rez_lon_m))
summary(rezidualne_all$rez_h_m)
rows<-names(summary(rezidualne_all$rez_h_m))
summary_rez_h_m<-as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_all$rez_h_m)))
summary_rez_h_m<-rbind(summary_rez_h_m, sd(rezidualne_all$rez_h_m))
summary(rezidualne_all$rez_hor_m)
rows<-names(summary(rezidualne_all$rez_hor_m))
summary_rez_hor_m<-as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_all$rez_hor_m)))
summary_rez_hor_m<-rbind(summary_rez_hor_m, sd(rezidualne_all$rez_hor_m))
summary(rezidualne_all$rez_triD_m)
rows<-names(summary(rezidualne_all$rez_triD_m))
summary_rez_triD_m<-
as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_all$rez_triD_m)))
summary_rez_triD_m<-rbind(summary_rez_triD_m, sd(rezidualne_all$rez_triD_m))
cols<-c('rez_lat_m', 'rez_lon_m', 'rez_h_m', 'rez_hor_m', 'rez_triD_m')
stats_rez_all<-cbind.data.frame(summary_rez_lat_m, summary_rez_lon_m,
summary_rez_h_m, summary_rez_hor_m, summary_rez_triD_m)
rownames(stats_rez_all)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_rez_all)<-cols
print(stats_rez_all)
files_DGPS<-Sys.glob('*DGPS*.pos')
pos_DGPS<-lapply(files_DGPS, function(x) read.csv(x, skip=20, sep = ','))
pos_DGPS<-lapply(pos_DGPS, function(x) x[1:4])
POS_DGPS<-do.call(rbind.data.frame, pos_DGPS)
c_names <- c("GPST", "lat", "lon", "height")
colnames(POS_DGPS)<- c_names
POS_DGPS$GPST<-as.POSIXct(POS_DGPS$GPST)
lat<-5.0984722
lon<-52.6397500
height<- 106.614
d_lat<-(lat-POS_DGPS$lat)
d_lon<-(lon-POS_DGPS$lon)
h_m<-(height-POS_DGPS$height)
cos_lat<-(cos(lat*pi/180))
lat_m<-(d_lat*60*1852)
lon_m<-(d_lon*60*1852*cos_lat)
r<-6378*1000-21*sin(lat*pi/180)

```



```

A<-(d_lat/2)*pi/180
B<-(d_lon/2)*pi/180
C<-POS_DGPS$lat*pi/180
hor_m<-2*r*asin(sqrt((sin(A))**2+cos_lat*cos(C)*(sin(B))**2))
triD_m<-sqrt(hor_m**2+h_m**2)
triD_m_pitagora<-(sqrt(lat_m^2+lon_m^2+h_m^2))
odstupanja_DGPS<-as.data.frame(cbind(lat_m, lon_m, h_m, hor_m, triD_m))
odstupanja_DGPS$GPST<-POS_DGPS$GPST
odstupanja_DGPS <- merge(tec_all,odstupanja_DGPS,by="GPST", all.x=TRUE)
odstupanja_DGPS <- merge(odstupanja_DGPS,geom_all,by="GPST", all.x=TRUE)
odstupanja_DGPS <- merge(odstupanja_DGPS,dst_all,by="GPST", all.x=TRUE)
odstupanja_DGPS <- merge(odstupanja_DGPS,IMF_all,by="GPST", all.x=TRUE)
summary(odstupanja_DGPS)
summary(odstupanja_DGPS$lat_m)
rows<-names(summary(odstupanja_DGPS$lat_m))
summary_lat_m_DGPS<-as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_DGPS$lat_m)))
summary_lat_m_DGPS<-rbind(summary_lat_m_DGPS,sd(odstupanja_DGPS$lat_m))
summary(odstupanja_DGPS$lon_m)
rows<-names(summary(odstupanja_DGPS$lon_m))
summary_lon_m_DGPS<-as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_DGPS$lon_m)))
summary_lon_m_DGPS<-rbind(summary_lon_m_DGPS,sd(odstupanja_DGPS$lon_m))
summary(odstupanja_DGPS$h_m)
rows<-names(summary(odstupanja_DGPS$h_m))
summary_h_m_DGPS<-as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_DGPS$h_m)))
summary_h_m_DGPS<-rbind(summary_h_m_DGPS,sd(odstupanja_DGPS$h_m))
summary(odstupanja_DGPS$hor_m)
rows<-names(summary(odstupanja_DGPS$hor_m))
summary_hor_m_DGPS<-as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_DGPS$hor_m)))
summary_hor_m_DGPS<-rbind(summary_hor_m_DGPS,sd(odstupanja_DGPS$hor_m))
summary(odstupanja_DGPS$triD_m)
rows<-names(summary(odstupanja_DGPS$triD_m))
summary_triD_m_DGPS<-as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_DGPS$triD_m)))
summary_triD_m_DGPS<-rbind(summary_triD_m_DGPS,sd(odstupanja_DGPS$triD_m))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m','triD_m')
stats_all_DGPS<-cbind.data.frame(summary_lat_m_DGPS, summary_lon_m_DGPS,
summary_h_m_DGPS,summary_hor_m_DGPS, summary_triD_m_DGPS)
rownames(stats_all_DGPS)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_all_DGPS)<-cols
print(stats_all_DGPS)
odstupanja_076_DGPS<-odstupanja_DGPS[1:1440, ]
odstupanja_077_DGPS<-odstupanja_DGPS[1441:2880, ]
odstupanja_078_DGPS<-odstupanja_DGPS[2881:4320, ]
summary(odstupanja_076_DGPS$lat_m)
rows<-names(summary(odstupanja_076_DGPS$lat_m))
summary_076_lat_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_076_DGPS$lat_m)))
summary_076_lat_m_DGPS<-
rbind(summary_076_lat_m_DGPS,sd(odstupanja_076_DGPS$lat_m))
summary(odstupanja_076_DGPS$lon_m)
rows<-names(summary(odstupanja_076_DGPS$lon_m))
summary_076_lon_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_076_DGPS$lon_m)))
summary_076_lon_m_DGPS<-
rbind(summary_076_lon_m_DGPS,sd(odstupanja_076_DGPS$lon_m))
summary(odstupanja_076_DGPS$h_m)
rows<-names(summary(odstupanja_076_DGPS$h_m))
summary_076_h_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_076_DGPS$h_m)))
summary_076_h_m_DGPS<-
rbind(summary_076_h_m_DGPS,sd(odstupanja_076_DGPS$h_m))
summary(odstupanja_076_DGPS$hor_m)

```

```

rows<-names(summary(odstupanja_076_DGPS$hor_m))
summary_076_hor_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_076_DGPS$hor_m)))
summary_076_hor_m_DGPS<-
rbind(summary_076_hor_m_DGPS,sd(odstupanja_076_DGPS$hor_m))
summary(odstupanja_076_DGPS$triD_m)
rows<-names(summary(odstupanja_076_DGPS$triD_m))
summary_076_triD_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_076_DGPS$triD_m)))
summary_076_triD_m_DGPS<-
rbind(summary_076_triD_m_DGPS,sd(odstupanja_076_DGPS$triD_m))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m', 'triD_m')
stats_076_DGPS<-cbind.data.frame(summary_076_lat_m_DGPS,
summary_076_lon_m_DGPS, summary_076_h_m_DGPS, summary_076_hor_m_DGPS,
summary_076_triD_m_DGPS)
rownames(stats_076_DGPS)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_076_DGPS)<-cols
print(stats_076_DGPS)
summary(odstupanja_077_DGPS$lat_m)
rows<-names(summary(odstupanja_077_DGPS$lat_m))
summary_077_lat_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_077_DGPS$lat_m)))
summary_077_lat_m_DGPS<-
rbind(summary_077_lat_m_DGPS,sd(odstupanja_077_DGPS$lat_m))
summary(odstupanja_077_DGPS$lon_m)
rows<-names(summary(odstupanja_077_DGPS$lon_m))
summary_077_lon_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_077_DGPS$lon_m)))
summary_077_lon_m_DGPS<-
rbind(summary_077_lon_m_DGPS,sd(odstupanja_077_DGPS$lon_m))
summary(odstupanja_077_DGPS$h_m)
rows<-names(summary(odstupanja_077_DGPS$h_m))
summary_077_h_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_077_DGPS$h_m)))
summary_077_h_m_DGPS<-
rbind(summary_077_h_m_DGPS,sd(odstupanja_077_DGPS$h_m))
summary(odstupanja_077_DGPS$hor_m)
rows<-names(summary(odstupanja_077_DGPS$hor_m))
summary_077_hor_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_077_DGPS$hor_m)))
summary_077_hor_m_DGPS<-
rbind(summary_077_hor_m_DGPS,sd(odstupanja_077_DGPS$hor_m))
summary(odstupanja_077_DGPS$triD_m)
rows<-names(summary(odstupanja_077_DGPS$triD_m))
summary_077_triD_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_077_DGPS$triD_m)))
summary_077_triD_m_DGPS<-
rbind(summary_077_triD_m_DGPS,sd(odstupanja_077_DGPS$triD_m))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m', 'triD_m')
stats_077_DGPS<-cbind.data.frame(summary_077_lat_m_DGPS,
summary_077_lon_m_DGPS, summary_077_h_m_DGPS,
summary_077_hor_m_DGPS, summary_077_triD_m_DGPS)
rownames(stats_077_DGPS)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_077_DGPS)<-cols
print(stats_077_DGPS)
summary(odstupanja_078_DGPS$lat_m)
rows<-names(summary(odstupanja_078_DGPS$lat_m))
summary_078_lat_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_078_DGPS$lat_m)))
summary_078_lat_m_DGPS<-
rbind(summary_078_lat_m_DGPS,sd(odstupanja_078_DGPS$lat_m))

```

```

summary(odstupanja_078_DGPS$lon_m)
rows<-names(summary(odstupanja_078_DGPS$lon_m))
summary_078_lon_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_078_DGPS$lon_m)))
summary_078_lon_m_DGPS<-
rbind(summary_078_lon_m_DGPS,sd(odstupanja_078_DGPS$lon_m))
summary(odstupanja_078_DGPS$h_m)
rows<-names(summary(odstupanja_078_DGPS$h_m))
summary_078_h_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_078_DGPS$h_m)))
summary_078_h_m_DGPS<-
rbind(summary_078_h_m_DGPS,sd(odstupanja_078_DGPS$h_m))
summary(odstupanja_078_DGPS$hor_m)
rows<-names(summary(odstupanja_078_DGPS$hor_m))
summary_078_hor_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_078_DGPS$hor_m)))
summary_078_hor_m_DGPS<-
rbind(summary_078_hor_m_DGPS,sd(odstupanja_078_DGPS$hor_m))
summary(odstupanja_078_DGPS$triD_m)
rows<-names(summary(odstupanja_078_DGPS$triD_m))
summary_078_triD_m_DGPS<-
as.data.frame(matrix(summary(odstupanja_078_DGPS$triD_m)))
summary_078_triD_m_DGPS<-
rbind(summary_078_triD_m_DGPS,sd(odstupanja_078_DGPS$triD_m))
cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'hor_m', 'triD_m')
stats_078_DGPS<-cbind.data.frame(summary_078_lat_m_DGPS,
summary_078_lon_m_DGPS, summary_078_h_m_DGPS,summary_078_hor_m_DGPS,
summary_078_triD_m_DGPS)
rownames(stats_078_DGPS)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_078_DGPS)<-cols
print(stats_078_DGPS)
library(titanic)
library(dplyr)
kor_odstupanja_DGPS<-odstupanja_DGPS
kor_odstupanja_DGPS<-relocate(kor_odstupanja_DGPS, triD_m, .before = TEC)
kor_odstupanja_DGPS<-relocate(kor_odstupanja_DGPS, TEC, .before = X)
kor_odstupanja_DGPS<-relocate(kor_odstupanja_DGPS, DST, .before = X)
kor_odstupanja_DGPS<-relocate(kor_odstupanja_DGPS, hor_m, .before = lat_m)
cols<-c('GPST', 'triD_m', 'hor_m', 'lat_m', 'lon_m', 'h_m', 'TEC', 'Dst',
'EMF_X', 'EMF_Y', 'EMF_Z', 'IMF_Bx', 'IMF_By', 'IMF_Bz')
colnames(kor_odstupanja_DGPS)<-cols
library('corrplot')
priprema_za_korelacija_all_DGPS<-kor_odstupanja_DGPS[2:14]
matrica_all_DGPS<-data.matrix(priprema_za_korelacija_all_DGPS)
korelacija_all_DGPS<-cor(matrica_all_DGPS)
print(korelacija_all_DGPS)
corrplot(korelacija_all_DGPS, type = "upper",tl.col = "black", tl.srt = 45)
rez_DGPS_ON_lat_m<-(total_on$lat_m-odstupanja_DGPS$lat_m)
rez_DGPS_ON_lon_m<-(total_on$lon_m-odstupanja_DGPS$lon_m)
rez_DGPS_ON_h_m<-(total_on$h_m-odstupanja_DGPS$h_m)
rez_DGPS_ON_hor_m<-(total_on$hor_m-odstupanja_DGPS$hor_m)
rez_DGPS_ON_triD_m<-(total_on$triD_m-odstupanja_DGPS$triD_m)
rezidualne_DGPS_ON_all<-as.data.frame(cbind(rez_DGPS_ON_lat_m,
rez_DGPS_ON_lon_m, rez_DGPS_ON_h_m,
rez_DGPS_ON_hor_m, rez_DGPS_ON_triD_m))
rezidualne_DGPS_ON_all$GPST<-POS_ON$GPST
summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_lat_m)
rows<-names(summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_lat_m))
summary_rez_DGPS_ON_lat_m<-
as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_lat_m)))

```

```

summary_rez_DGPS_ON_lat_m<-
rbind(summary_rez_DGPS_ON_lat_m,sd(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_lat_m
))
summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_lon_m)
rows<-names(summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_lon_m))
summary_rez_DGPS_ON_lon_m<-
as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_lon_m)))
summary_rez_DGPS_ON_lon_m<-
rbind(summary_rez_DGPS_ON_lon_m,sd(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_lon_m
))
summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_h_m)
rows<-names(summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_h_m))
summary_rez_DGPS_ON_h_m<-
as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_h_m)))
summary_rez_DGPS_ON_h_m<-
rbind(summary_rez_DGPS_ON_h_m,sd(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_h_m))
summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_hor_m)
rows<-names(summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_hor_m))
summary_rez_DGPS_ON_hor_m<-
as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_hor_m)))
summary_rez_DGPS_ON_hor_m<-
rbind(summary_rez_DGPS_ON_hor_m,sd(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_hor_m
))
summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_triD_m)
rows<-names(summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_triD_m))
summary_rez_DGPS_ON_triD_m<-
as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_triD_m)))
summary_rez_DGPS_ON_triD_m<-
rbind(summary_rez_DGPS_ON_triD_m,sd(rezidualne_DGPS_ON_all$rez_DGPS_ON_triD
_m))
cols<-c('rez_lat_m', 'rez_lon_m', 'rez_h_m', 'rez_hor_m', 'rez_triD_m')
stats_rez_DGPS_ON_all<-cbind.data.frame(summary_rez_DGPS_ON_lat_m,
summary_rez_DGPS_ON_lon_m, summary_rez_DGPS_ON_h_m,
summary_rez_DGPS_ON_hor_m, summary_rez_DGPS_ON_triD_m)
rownames(stats_rez_DGPS_ON_all)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_rez_DGPS_ON_all)<-cols
print(stats_rez_DGPS_ON_all)
rez_DGPS_OFF_lat_m<-(total_off$lat_m-odstupanja_DGPS$lat_m)
rez_DGPS_OFF_lon_m<-(total_off$lon_m-odstupanja_DGPS$lon_m)
rez_DGPS_OFF_h_m<-(total_off$h_m-odstupanja_DGPS$h_m)
rez_DGPS_OFF_hor_m<-(total_off$hor_m-odstupanja_DGPS$hor_m)
rez_DGPS_OFF_triD_m<-(total_off$triD_m-odstupanja_DGPS$triD_m)
rezidualne_DGPS_OFF_all<-as.data.frame(cbind(rez_DGPS_OFF_lat_m,
rez_DGPS_OFF_lon_m,
rez_DGPS_OFF_h_m, rez_DGPS_OFF_hor_m, rez_DGPS_OFF_triD_m))
rezidualne_DGPS_OFF_all$GPST<-POS_ON$GPST
summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_lat_m)
rows<-names(summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_lat_m))
summary_rez_DGPS_OFF_lat_m<-
as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_lat_m)))
summary_rez_DGPS_OFF_lat_m<-
rbind(summary_rez_DGPS_OFF_lat_m,sd(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_la
t_m))
summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_lon_m)
rows<-names(summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_lon_m))
summary_rez_DGPS_OFF_lon_m<-
as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_lon_m)))
summary_rez_DGPS_OFF_lon_m<-
rbind(summary_rez_DGPS_OFF_lon_m,sd(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_lo
n_m))
summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_h_m)

```

```

rows<-names(summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_h_m))
summary_rez_DGPS_OFF_h_m<-
as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_h_m)))
summary_rez_DGPS_OFF_h_m<-
rbind(summary_rez_DGPS_OFF_h_m,sd(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_h_m)
)
summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_hor_m)
rows<-names(summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_hor_m))
summary_rez_DGPS_OFF_hor_m<-
as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_hor_m)))
summary_rez_DGPS_OFF_hor_m<-
rbind(summary_rez_DGPS_OFF_hor_m,sd(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_ho
r_m))
summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_triD_m)
rows<-names(summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_triD_m))
summary_rez_DGPS_OFF_triD_m<-
as.data.frame(matrix(summary(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_triD_m)))
summary_rez_DGPS_OFF_triD_m<-
rbind(summary_rez_DGPS_OFF_triD_m,sd(rezidualne_DGPS_OFF_all$rez_DGPS_OFF_t
riD_m))
cols<-c('rez_lat_m', 'rez_lon_m', 'rez_h_m', 'rez_hor_m', 'rez_triD_m')
stats_rez_DGPS_OFF_all<-cbind.data.frame(summary_rez_DGPS_OFF_lat_m,
summary_rez_DGPS_OFF_lon_m, summary_rez_DGPS_OFF_h_m,
summary_rez_DGPS_OFF_hor_m, summary_rez_DGPS_OFF_triD_m)
rownames(stats_rez_DGPS_OFF_all)<-c(rows, 'sd')
colnames(stats_rez_DGPS_OFF_all)<-cols
print(stats_rez_DGPS_OFF_all)

```