

Utjecaj geomagnetske oluje na satelitsko određivanje položaja u ekvatorijalnim područjima

Breškić, Vanessa

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:115430>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-13**



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](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

VANESSA BREŠKIĆ

**UTJECAJ GEOMAGNETSKE OLUJE NA SATELITSKO
ODREĐIVANJE POLOŽAJA U EKVATORIJALNIM
PODRUČJIMA**

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**UTJECAJ GEOMAGNETSKE OLUJE NA SATELITSKO
ODREĐIVANJE POLOŽAJA U EKVATORIJALNIM
PODRUČJIMA**

**INFLUENCE OF GEOMAGNETIC STORM ON SATELLITE
POSITIONING IN EQUATORIAL AREAS**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Primijenjena satelitska navigacija

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

Komentor: prof. emer. Serđo Kos

Studentica: Vanessa Breškić

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 01120716555

Rijeka, srpanj 2023.

Studentica: Vanessa Breškić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 01120716555

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom *Utjecaj geomagnetske oluje na satelitsko određivanje položaja u ekvatorijalnim područjima* izradila samostalno pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Davida Brčića te komentorstvom prof. emer. Serđa Kosa.

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

Studentica



Vanessa Breškić

Studentica: Vanessa Breškić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 01120716555

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/>

Studentica



Vanessa Breškić

SAŽETAK

Svemirsko vrijeme pod direktnim je utjecajem Sunčeve aktivnosti, što bi u prijevodu značilo što je Sunčeva aktivnost veća to je svemirsko vrijeme nestabilnije. Svemirsko vrijeme opisuje se solarnim, geomagnetskim i ionosferskim pokazateljima. Jedan od najvećih učinaka svemirsko vrijeme ima na sloj Zemljine atmosfere koji se naziva ionosfera. Unutar ionosfere dolazi do različitih fenomena ovisno o geografskoj širini koja se promatra. Osim što poremećaj svemirskog vremena ima utjecaj na ionosferu, on doprinosi i stvaranju geomagnetskih oluja od kojih se jedna od najvećih dogodila se u ožujku 2015. godine.

Ovaj diplomski rad bavi se navedenom olujom, točnije njezinim utjecajem na određivanje položaja korisnika u ekvatorijalnom pojasu. Promatran je dvotjedni period od 10. ožujka do 24. ožujka u kojem su se izmijenila tri razdoblja: mirno svemirsko vrijeme, geomagnetska oluja, smirivanje svemirskog vremena. Određene su tri referentne stanice te su podacima dobivenim s javnih i besplatnih baza podataka provedena istraživanja utjecaja geomagnetske oluje na određivanje položaja na svakoj referentnoj stanici. Nakon obrade dobivenih rezultata izvršena je usporedba istih sa rezultatima dobivenim za umjerene i polarni pojas.

Ključne riječi: svemirsko vrijeme, ionosfersko kašnjenje, GPS, ekvatorijalni pojas, analiza odstupanja položaja

SUMMARY

Space weather is directly influenced by solar activity, meaning that the higher the solar activity, the more unstable the space weather. Space weather is described using solar, geomagnetic, and ionospheric indicators. One of the significant impacts of space weather is on the layer of Earth's atmosphere called the ionosphere. Within the ionosphere, various phenomena occur depending on the observed geographic latitude. In addition to its influence on the ionosphere, space weather contributes to the formation of geomagnetic storms, one of which occurred in March 2015.

This thesis focuses on that specific storm, specifically its impact on user positioning in the equatorial belt. A two-week period from March 10th to March 24th was observed, during which three periods alternated: quiet space weather, geomagnetic storm, and the calming of space weather. Three reference stations were selected, and research was conducted on the impact of the geomagnetic storm on positioning at each reference station using data obtained from public and free databases. After analyzing the results, a comparison was made with the results obtained for medium and polar latitudes.

Keywords: space weather, ionospheric delay, GPS, equatorial belt, position deviations analysis

SADRŽAJ

SAŽETAK	II
SUMMARY	III
SADRŽAJ	IV
1. UVOD	1
1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA.....	2
1.2. RADNA HIPOTEZA	2
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA	2
1.4. ZNANSTVENE METODE	3
1.5. STRUKTURA RADA.....	4
2. GPS	5
2.1. ARHITEKURA.....	5
2.2.1. Prostorni segment.....	6
2.2.2. Kontrolni segment.....	7
2.2.3. Korisnički segment.....	8
2.2. KARAKTERISTIKE GPS SIGNALA.....	8
2.3. PREDUVJETI SATELITSKOG ODREĐIVANJA POLOŽAJA	10
2.3.1. Zajednički koordinatni sustav	11
2.3.2. Konstantna brzina širenja signala.....	12
2.3.3. Zajednički sustav vremena	14
2.4. PRINCIP ODREĐIVANJA POLOŽAJA	14
2.5. POGREŠKE ODREĐIVANJA POLOŽAJA	18
2.5.1. Korisnička razdioba pogrešaka.....	19
2.5.1.1. Pogreška prostornog segmenta	19
2.5.1.2. Pogreška prijenosnog medija.....	19
2.5.1.3. Pogreška korisničkog segmenta.....	20
2.5.2. Geometrijska razdioba točnosti.....	20
3. SVEMIRSKO VRIJEME	22
3.1. SUNCE	22
3.1.1. Aktivnost sunca.....	25
3.1.1.1. Solarni ciklus	25

3.1.1.2. Sunčev vjetar	26
3.1.1.3. Značajni poremećaji aktivnosti Sunca	28
3.2. GEOPROSTOR	31
3.2.1. Struktura Zemljine atmosfere	32
3.2.2. Ionosfera	34
3.2.2.1. Proces stvaranja	34
3.2.2.2. Slojevi	35
3.2.2.3. Kašnjenje signala	38
3.3. POKAZATELJI SVEMIRSKOG VREMENA	40
3.4.1. Solarni pokazatelji	41
3.4.2. Geomagnetski pokazatelji	41
3.4.3. Ionosferski pokazatelji	42
3.5. UČINCI SVEMIRSKOG VREMENA NA GEOPROSTOR – GEOMAGNETSKE OLUJE.....	43
4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	45
4.1. GEOGRAFSKO PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	45
4.2. VREMENSKI PERIOD ISTRAŽIVANJA	47
4.3. IZVORI, PRIKUPLJANJE I PRIPREMA PODATAKA	47
4.3.1. Izvori podataka o pokazateljima svemirskog vremena	47
4.3.2. Izvori podataka položajnim zapisima	48
5. REZULTATI	54
5.1. POKAZATELJI SVEMIRSKOG VREMENA	55
5.2. Odstupanja položaja za stanicu SAO LUIS, BRAZIL (SALU)	61
5.3. Odstupanja položaja za stanicu LIBREVILLE, GABON (NKLG).....	66
5.4. Odstupanja položaja za stanicu MBARARA, UGANDA (MBAR).....	72
6. USPOREDBA REZULTATA S REZULTATIMA STANICA U POLARNOM POJASU I UMJERENOM POJASU	78
7. ZAKLJUČAK.....	85
LITERATURA	86
POPIS SLIKA	89
POPIS TABLICA.....	91
PRILOG 1 PROGRAMSKI KOD.....	92

PRILOG 2. TABLIČNI PRIKAZI DOBIVENIH REZULTATA ZA POJEDINU STANICU.....	133
--	------------

1. UVOD

GPS (engl. *Global Positioning System*) ili globalni sustav pozicioniranja, američki je navigacijski sustav unutar GNSS (engl. *Global Navigation Satellite System*) sustava. U današnje vrijeme satelitska tehnologija ukorijenila se u gotove sve aspekte ljudskog života i djelovanja te je život bez nje nemoguće i zamisliti. Određivanje položaja pomoću satelitskih sustava, u ovom slučaju GPS sustava, koristi se u svakodnevnom životu, od određivanja položaja korisnika, geodetskih izmjera, praćenja onečišćenja okoliša, navigacije u cestovnom prometu, zrakoplovnom prometu te pomorskom prometu, itd. Zbog prirode medija kojim satelitski signal prolazi od satelita do prijarnika javljaju se pogreške prilikom određivanja položaja. Civilnom građanstvu pogreška pri određivanju položaja ne stvari toliko problem jer se obično radi o njima zanemarivima vrijednostima, no upravo u ovom radu naglasak će biti stavljen na te pogreške.

Jedan od glavnih razloga javljanja pogrešaka je takozvano ionosfersko kašnjenje koje se javlja prilikom prolaska satelitskog signala kroz atmosferski sloj Zemlje zvan ionosfera. Ionosfera je podložna promjenama zbog različitog stanja svemirskog vremena te je upravo zbog te činjenice promatrana kao segment svemirskog vremena. Svemirsko vrijeme uključuje uzročno posljedična događanja na relaciji Sunce – Zemlja kao što su na primjer Sunčev vjetar i Sunčeve baklje, a koji imaju velik utjecaj na određene aspekte života na Zemlji (telekomunikacije, navigacija, sigurnost u avionima, itd.). Ponekad unutar solarnog ciklusa dolazi do značajnije Sunčeve aktivnosti koja rezultira geomagnetskim olujama. Geomagnetske oluje prema svojoj jačini dijele se u pet kategorija s obzirom na vrijednosti određenih pokazatelja tijekom njihova trajanja te njihove učestalosti unutar jednog solarnog ciklusa. Utjecaj geomagnetskih oluja na određivanje položaja varira ovisno o položaju prijarnika na Zemlji što rezultira činjenicom da pogreške pri određivanju položaja za vrijeme geomagnetske oluje nisu jednake u polarnom pojasu, umjerenom pojasu i ekvatorijalnom pojasu.

Ovaj rad bavi se pogreškom pri određivanju položaja unutar ekvatorijalnog pojasa koji se prostire od 23°26'22" sjeverne geografske širine do 23°26'22" južne geografske širine. Promatran je i analiziran period od 14 dana, točnije od 10. ožujka do 24. ožujka 2015. g., unutar kojeg je došlo do različitih stanja svemirskog vremena, od mirnog svemirskog vremena, preko geomagnetske oluje do smirivanja svemirskog vremena. Unutar nekoliko poglavlja proračunati su i analizirani konkretni podaci dobiveni za stanice koje se nalaze unutar navedenog pojasa. Također je izvršena usporedba dobivenih podataka sa podacima za umjereni pojas i polarni

pojas te je izveden zaključak povećavaju li se odstupanja određivanja položaja za vrijeme geomagnetske oluje te gdje su na Zemlji najveća odstupanja za vrijeme trajanja oluje.

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

Problem diplomskog rada je utjecaj različitog stanja svemirskog vremena te utjecaj ionosferskog kašnjenja na određivanje GPS položaja na području ekvatorijalnog pojasa.

Shodno problemu istraživanja, predmet istraživanja je statistička analiza odstupanja GPS položaja te međusobna korelacija različitog stanja svemirskog vremena i ionosferskog kašnjenja s odstupanjem položaja dobivenim GPS satelitskim sustavom.

Objekti istraživanja su položajni zapisi stanica ekvatorijalnog pojasa te odstupanja položaja, svemirsko vrijeme te ionosfersko kašnjenje.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Sukladno navedenom problemu istraživanja, predmetu te objektima istraživanja postavljena je radna hipoteza:

Za vrijeme geomagnetske oluje 2015. godine, poznatije pod nazivom Oluja Svetog Patrika, došlo je to znatnog povećanja odstupanja položaja dobivenih GPS satelitskim sustavima na području ekvatorijalnog pojasa.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Svrha provedenog istraživanja je dokazivanje odstupanja GPS položaja za vrijeme geomagnetske oluje na području ekvatorijalnog pojasa.

Niz pitanja postavlja se vezano uz ovu tematiku, a koja su odgovorena u ovome radu. Neka od njih su:

- Da li je stanje svemirskog vremena isto tijekom istraživanih 14 dana?
- Kako se promatrane vrijednosti i odstupanja ponašaju prije, za vrijeme i nakon geomagnetske oluje?

- Koliko iznose odstupanja za pojedinu stanicu u promatranom periodu?
- Da li su odstupanja za stanice u istom području jednaka?
- Da li su odstupanja za vrijeme geomagnetske oluje ista na svim područjima Zemlje?

1.4. ZNANSTVENE METODE

Kako bi se provelo ovo istraživanje, korištene su razne znanstvene metode.

Istraživanje je započelo prikupljanjem podataka, zatim je slijedio teorijski dio kako bi se upoznalo sa činjenicama potrebnima za razumijevanje teme te je nakon toga provedena analiza i dobiveni su rezultati. S obzirom na dobivene rezultate, donesen je zaključak.

Metode koje su najzastupljenije u ovom radu su statistička metoda, metoda deskripcije te analiza. Statistička metoda omogućila je dolazak do rezultata koji su kasnije analizirani i opisani. Metoda analize korištena je prilikom traženja uzroka odstupanja GPS položaja te njegovih posljedica. Metoda deskripcije prisutna je u cijelom diplomskom radu, od opisivanja teorijskih osnova do opisivanja rezultata koji su dobiveni provedenim istraživanjem.

Također, jedna od korištenih metoda je i metoda konkretizacije kojom se od općenitog odstupanja GPS položaja došlo do vrijednosti odstupanja GPS položaja za vrijeme geomagnetske oluje na području ekvatora.

Metodom klasifikacije, zbog bolje preglednosti klasificirani su pokazatelji svemirskog kao i rezultati dobiveni za svaku pojedinačnu stanicu koja je predmet istraživanja.

U posljednjem poglavlju, susreće se metoda komparacije gdje se iznosi usporedba rezultata dobivenih u ovom diplomskom radu s rezultatima iz prijašnjih istraživanja za druga područja na Zemlji.

1.5. STRUKTURA RADA

Diplomski rad sastavljen je sedam poglavlja.

U prvom, uvodnom dijelu predstavljeni su problem, predmet i objekti istraživanja te je postavljena radna hipoteza. Nadalje, definirana je svrha i ciljevi istraživanja, nabrojane su korištene znanstvene metode te je navedena struktura samog diplomskog rada.

Drugo poglavlje naziva *GPS* donosi općenite činjenici o GPS sustavu te pobliže opisuje arhitekturu samog sustava. Opisane su karakteristike GPS signala kao i preduvjeti koji moraju biti zadovoljeni kako bi određivanje položaja bilo moguće. Kraj ovog poglavlja bavi se principom određivanja položaja te pogreškama koje se prilikom određivanja položaja javljaju.

Treće poglavlje bavi se svemirskim vremenom, tj. pojavama koje se javljaju na relaciji Sunce – Zemlja. Osim pojava koje se javljaju, u ovom poglavlju opisana je struktura Sunca te su nabrojane i opisane aktivnosti Sunca. Osim Sunca, obrađen je i geoprostor kroz strukturu Zemljine atmosfere te je detaljnije obrađena ionosfera kao najznačajniji sloj. Daljnja potpoglavlja opisuju pokazatelje svemirskog vremena te opisuju utjecaj svemirskog vremena na geoprostor točnije utjecaj geomagnetskih oluja.

U poglavlju naziva *METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA* opisano je geografsko područje istraživanja zajedno sa vremenskim periodom koji je proučavan u radu. Nadalje su prikazani izvori podataka kao i njihovo prikupljanje i priprema za obradu.

Unutar petog poglavlja ovog rada izneseni su dobiveni rezultati koji su podijeljeni u četiri naslova. Prvi naslov prikazuje pokazatelje svemirskog vremena u promatranom vremenskom periodu, dok ostala tri prikazuju dobivene rezultate za pojedinu stanicu koja je promatrana.

Šesto poglavlje donosi usporedbu rezultata jedne referentne stanice ekvatorijalnog područja s rezultatima stanica u umjerenom i polarnom području.

Zadnje poglavlje predstavlja sažetak istraživanja te donosi zaključak s obzirom na dobivene rezultate.

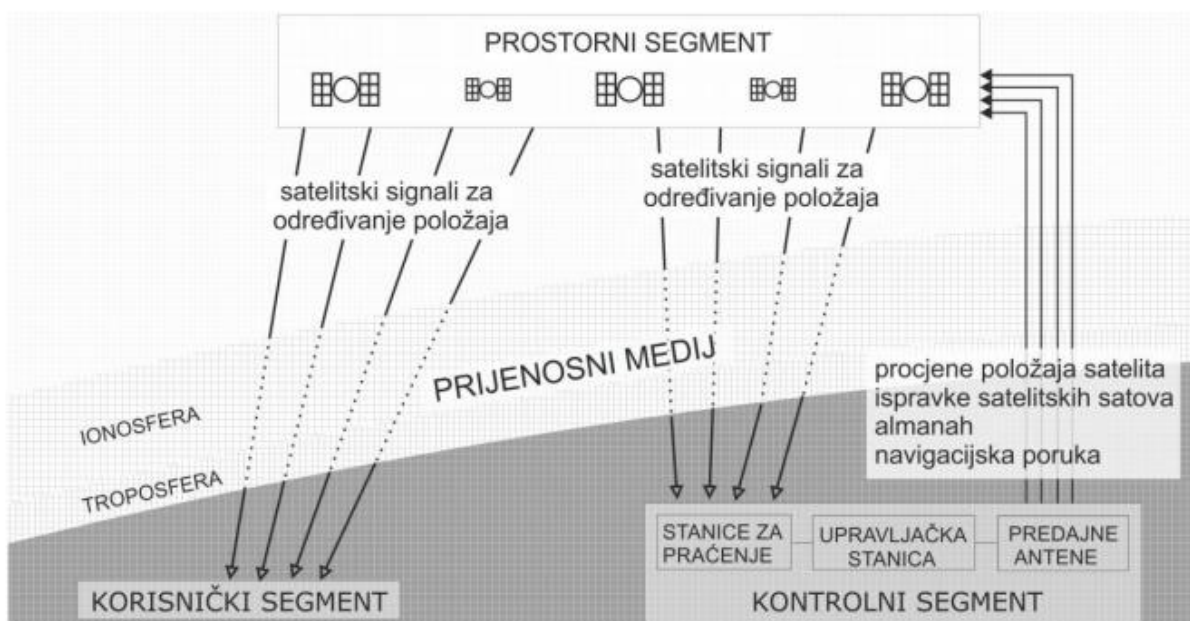
2. GPS

GNSS sustav sastoji se uz GPS sustav, od još tri sustava: GLONASS-a, Galilea i BeiDou-a. GPS program započeo je u drugoj polovici 20. stoljeća, točnije 1970. godine, a potpunu operativnost stekao je 1995. godine.

2.1. ARHITEKTURA

Svaki GNSS sustav, pa tako i GPS sustav ima svoje temeljne segmente. Četiri su temeljna segmenta svakog sustava:

- prostorni segment,
- kontrolni segment,
- korisnička komponenta,
- prijenosni medij.



Slika 1. Segmenti GPS sustava

Izvor: Brčić, D.: Model nespecifičnog dnevnog hoda ionosferskog kašnjenja signala za satelitsko određivanje položaja, Doktorski rad, Rijeka, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2015., str. 10.

Prostorni segment predstavlja konstelaciju satelita čija je svrha i cilj pokrivanje prostora na Zemljinoj površini.

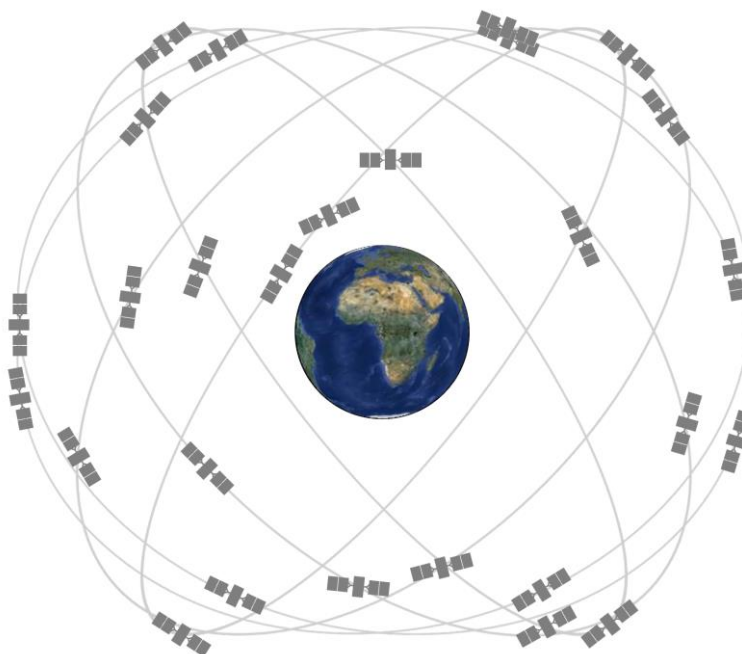
Kontrolni segment sastoji se od upravljačkih elemenata sustava koji se pak sastoje od nekolicine algoritama koji su zaduženi za osiguravanje određivanja položaja te određivanje brzine.

Što se korisničkog segmenta tiče, on uključuje korisničku opremu: prijamnik, antenu te ostale pomoćne komponente.

Prijenosni medij čini prostor kroz koji se satelitski signali šire.

2.2.1. Prostorni segment

GPS sustav sastoji se od 31 satelita no za njegovu potpunu operabilnost potrebno je njih 24. Sateliti se nalaze u srednjim Zemljinim orbitama (MEO – engl. *Medium Altitude Earth Orbit*) te oko Zemlje kruže na visini od 20 180 kilometara. Sateliti se nalaze raspoređeni u šest orbitalnih ravnina čija je inklinacija približno 55° . Na svakoj orbitalnoj ravnini nalaze se minimalno četiri satelita. Svakome od satelita potrebno je 11 sati 56 minuta i 2 sekunde kako bi opisao orbitalnu ravninu, što znači da u jednome danu, satelit dva puta pređe iznad iste točke.



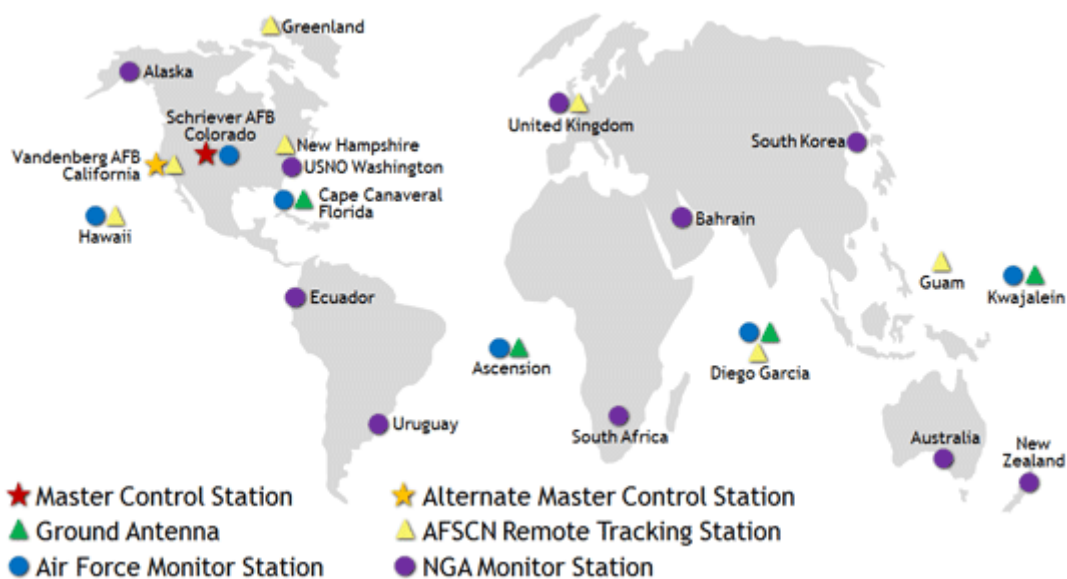
Slika 2. GPS satelitska konstelacija

Izvor: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

GPS sateliti rade na više različitih frekvencija od kojih su neke za civilne svrhe a neke za vojne svrhe. Što se civilnog dijela tiče, koristi se L1 frekvencija od 1575,42 MHz.

2.2.2. Kontrolni segment

Kontrolni segment GPS sustava sastoji se od glavne kontrolne stanice (MSC – engl. *Master Control Station*) koja se nalazi unutar vojne zrakoplovne baze u Colorado Springsu, zamjenske glavne kontrolne stanice (AMCS – engl. *Alternate Master Control Station*) koja se nalazi unutar vojne zrakoplovne baze u Vandenbergu, globalne mreže stanica, točnije njih 16, koje su zadužene za praćenje satelita (MCs – engl. *Monitoring Stations*) te 12 predajnih antena (engl. *Ground Antennas*).



Slika 3. Kontrolni segment GPS sustava

Izvor: <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>

Zadaća kontrolnog segmenta je upravljanje cijelim GPS sustavom te kontrola i održavanje cjelokupne konstelacije satelita. Stanice za praćenje prikupljaju podatke sa satelita kao što su: navigacijski signali, izmjerene udaljenosti i atmosferski podaci te ih odašilju glavnoj kontrolnoj stanici. Glavna kontrolna stanica temeljem dobivenih podataka procjenjuje položaj satelita, brzinu kretanja satelita, pogreške satelitskih satova te procjenjuje buduće kretanje satelita. Uz prethodno navedeno, glavna kontrolna stanica zadužena je za generiranje podataka navigacijske poruke koja će biti odatakana korisniku. Primarna zadaća predajnih antena je odašiljanje naredbi, odašiljanje navigacijskih poruka te odašiljanje programskih uputa prema satelitima.

2.2.3. Korisnički segment

Kao što je već spomenuto, korisnički segment GPS sustava sastoji se od prijamnika, antene, izvora napajanja te drugih pomoćnih komponenti kao što su na primjer kabeli.

Prijamnik se sastoji od šest glavnih dijelova: prijamničke antene, radio-frekvencijskog segmenta (FE - engl. *Front End*), segmenta obrade signala (engl. *Baseband Signal Processing*), upravljačkog dijela, grafičkog sučelja te izvora električne energije.¹

Zadaća prijamnika je prijam i obrada satelitskih signala. Pod obradu se ubraja i dekodiranje navigacijskih poruka koje u sebi sadrže podatke pomoću kojih se izračunava položaj satelita, parametre satelitskog sata, ispravke satelitskog sata, stanje satelita, parametre ionosferskog modela, itd.

2.2. KARAKTERISTIKE GPS SIGNALA

Satelitski signali GNSS sustava smješteni su u L pojasu frekvencijskog spektra. Karakteristika signala u ovom frekvencijskom spektru je da se kroz Zemljinu atmosferu šire pravocrtno. Signali na nižim frekvencijama osjetljivi su na ionosfersko kašnjenje dok su oni na višim pod utjecajem gradijenata neutralne atmosfere.

GPS satelitski signali odašilju se na tri radio frekvencije u UHF (engl. *Ultra High Frequency*) pojasu. Ove tri radio frekvencije nazivaju se L1, L2 i L5. L1 odašilje na frekvenciji od 1575,42 MHz, L2 na frekvenciji 1227,60 MHz, a L5 na frekvenciji od 1176,45 MHz².

Satelitski GPS signali sastoje se od tri dijela: vala nosioca, kodiranog signala te navigacijske poruke.

Val nosioc predstavlja sinusoidalni val određene frekvencije moduliran kodiranim signalima. GPS sustav konkretno koristi tehniku CDMA (engl. *Code-Division Multiple Access*) koja omogućuje većem broju odašiljača da istovremeno šalju podatke preko jednog komunikacijskog kanala. Pomoću kodiranih signala vrši se mjerenje udaljenost između

¹ Sanz Subirana, J., Juan Zornoza, J.M., Hernández-Pajares, M.: *GNSS Data Processing, Vol. 1: Fundamentals and Algorithms* (ESA TM-23/1, May 2013), ESA Communications, Netherlands, 2013., str. 18

² Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E.: *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more*, Springer, New York, 2008., str. 56

prijamnika i pojedinog satelita.³ Prijamom kodiranog signala unutar prijamnika, postupkom križne autokorelacije identificira se signal svakog pojedinog satelita s replikom istog tog signala generiranog u prijamniku.⁴ Dovođenjem signala u fazu određuje se vrijeme propagacije signala od satelita do prijamnika.⁵

Val nosioc GPS L1 signala moduliran je pomoću dva CDMA kodirana signala koji se nazivaju PRN (engl. *Pseudo-Random Noise*) kodovi. Prvi PRN kod je kod za civilne svrhe i to je C/A (engl. *Coarse/Acquisition*) kod koji se odašilje samo na L1 frekvenciji te ima valnu duljinu od otprilike 300 metara. Signal je veličine 1023 bita i perioda od jedne milisekunde. Drugi PRN kod je P(Y) (engl. *Precise*), kod namijenjen autoriziranom korištenju, tj. za vojnu upotrebu.⁶

Tablica 1. Struktura GPS satelitskog signala

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	29,31 m
	Period (interval) ponavljanja	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	293,1 m
	Period (interval) ponavljanja	1 ms
Navigacijska poruka	Frekvencija	$f_0 / 204\,600 = 50 \text{ Hz (bit/s)}$
	Ukupna duljina trajanja	12,5 min

Izvor: Sanz Subirana, J., Juan Zornoza, J.M., Hernández-Pajares, M.: GNSS Data Processing, Vol. 1: Fundamentals and Algorithms (ESA TM-23/1, May 2013), ESA Communications, Netherlands, 2013., str.

14

Navigacijska poruka odašilje se brzinom od 50 bps (bita po sekundi), a svaka poruka sadrži 25 okvira.⁷ Poznavajući činjenicu da je za odašiljanje pojedinog okvira potrebno 30 sekundi, da se zaključiti kako ukupno vrijeme odašiljanja jedne navigacijske poruke iznosi 12,5 minuta. Svaki od 25 spomenutih okvira, podijeljen je u 5 podokvira koji se odašilju svakih 6 sekundi i sadrže 300 bita. Podokvir se sastoji od 10 riječi od kojih je prva telemetrijska potrebna za

³ Kaplan, E. D. & Hegarty, C.J.: *Understanding GPS: Principles and Application*. Second edition. Boston: Artech House, 2006.

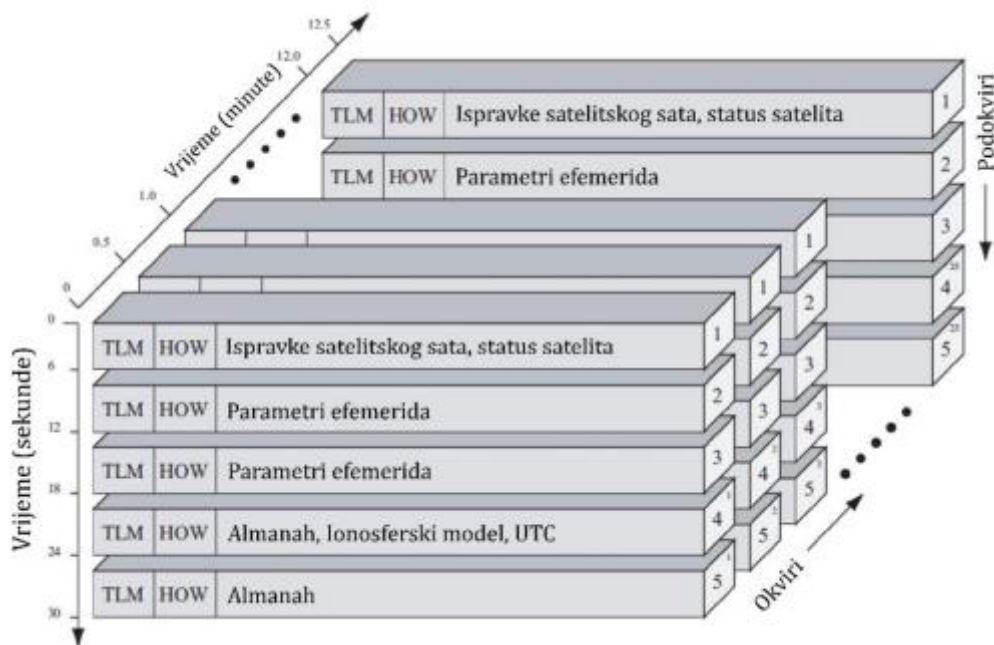
⁴ Brčić, D.: *Model nespecifičnog dnevnog hoda ionosferskog kašnjenja signala za satelitsko određivanje položaja*, Doktorski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski Fakultet, Rijeka 2015., str. 14

⁵ Ibidem

⁶ Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E.: *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more*, Springer, New York, 2008., str. 316

⁷ Sanz Subirana, J., Juan Zornoza, J.M., Hernández-Pajares, M.: *GNSS Data Processing, Vol. 1: Fundamentals and Algorithms* (ESA TM-23/1, May 2013), ESA Communications, Netherland, 2013., str. 18

sinkronizaciju, a druga je ona koja pruža informaciju o sekundama GPS tjedna. Unutar navigacijske poruke odašilju se sljedeći podaci: broj GPS tjedna, ispravke satelitskog sata, status satelita, parametri satelitskih efemerida, podaci almanaha, podaci ionosferskog korekcijskog modela, razlika između svjetskog koordiniranog vremena i GPS vremena, itd.⁸



Slika 4. Struktura navigacijske poruke GPS satelitskog signala

Izvor: Žic, A.: Strukturalna analiza odstupanja položaja određenih satelitskim navigacijskim sustavom GPS uslijed učinaka, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, 2018., str. 13

2.3. PREDUVJETI SATELITSKOG ODREĐIVANJA POLOŽAJA

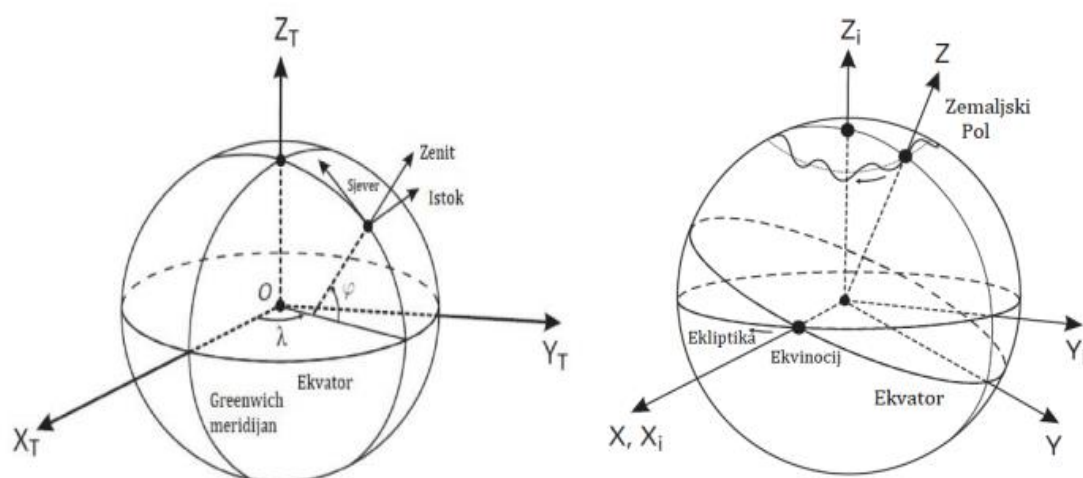
Satelitsko određivanje položaja temeljeno je na mjerenju vremena propagacije satelitskog signala od satelitske antene do korisničke antene. Sateliti satelitske signale odašilju u pravilnim vremenskim periodima. Da bi se odredio položaj dobiven satelitskim sustavima, potrebno je ispuniti određena tri preduvjeta:

1. zajednički referentni koordinatni sustav,
2. konstantna brzina širenja satelitskog signala,
3. zajednički sustav vremena.

⁸ Parkinson, B.W., Spilker Jr., J.J: Global Positioning System: Theory and Applications. Volume I., American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington DC, 1996., str. 129

2.3.1. Zajednički koordinatni sustav

Za potrebe satelitske navigacije, koriste se dva koordinatna sustava: rotacijski zemaljski referentni sustav (ECEF - engl. *Earth-Centered Earth-Fixed*) te inercijalni zemaljski referentni sustav (ECI – engl. *Earth-Centered Inertial*).⁹ Oba koordinatna sustava su Kartezijeva koordinatna sustava s ishodištem u središtu Zemlje. Upravo ovako smješteno ishodište omogućava pretvorbu koordinata jednog koordinatnog sustava u drugi koordinatni sustav. Razlika između rotacijskog zemaljskog referentnog sustava i inercijalnog zemaljskog referentnog sustava je u koordinatnim osima. Kod rotacijskog zemaljskog referentnog sustava x os se nalazi u sjecištu ekvatora i nultog meridijana, y os je od x osi otklonjena za 90° prema istoku, dok se z os poklapa sa osi rotacije Zemlje. Kod inercijalnog zemaljskog referentnog sustava, sve koordinate fiksirane su s obzirom na zvijezde, pa tako na primjer x os prolazi proljetnom točkom.



Slika 5. ECEF koordinatni sustav i ECI koordinatni sustav

Izvor: Petrovski, I., Tsujii, T.: *Digital Satellite Navigation and Geophysics: A practice guide with GNSS Signal Simulator and Receiver Laboratory*, New York: Cambridge University Press, 2012.

⁹ Kaplan, E. D. & Hegarty, C.J.: *Understanding GPS: Principles and Application*, 2. izdanje, Artech House, Boston, 2006., str. 27 - 28

GPS sustav kao službeni referentni sustav koristi WGS-84 (engl. *World Geodetic System 1984*) koji omogućava pretvorbu pravokutnih udaljenosti u geografske kutne koordinate (geografska širina, geografska duljina, nadmorska visina).¹⁰

2.3.2. Konstantna brzina širenja signala

Konstantna brzina širenja signala zapravo je temeljni preduvjet za određivanje položaja satelitskim putem. Signal satelita je elektromagnetski val koji se širi zrakopraznim prostorom (vakuumom) brzinom svjetlosti c koja iznosi 299 792 458 m/s.¹¹ Signal satelita pri svom putovanju od satelita do korisnika ne širi se zrakopraznim prostorom već prolazi kroz nekoliko slojeva atmosfere koji imaju svoje specifičnosti te svaki pojedini sloj ima drugačiji utjecaj na signal satelita. Iz navedenog razloga brzina satelitskog signala u zrakopraznom prostoru i brzina satelitskog signala u nekom prijenosnom mediju nije ista. Odnos brzine satelitskog signala u zrakopraznom prostoru i brzine satelitskog signala u prostornom mediju moguće je prikazati pomoću indeksa loma (engl. *refractive index*) koji se ponaša po Snellovom zakonu¹²:

$$n_i = \frac{c}{v_i} \quad (1)$$

gdje je:

n_i – indeks loma

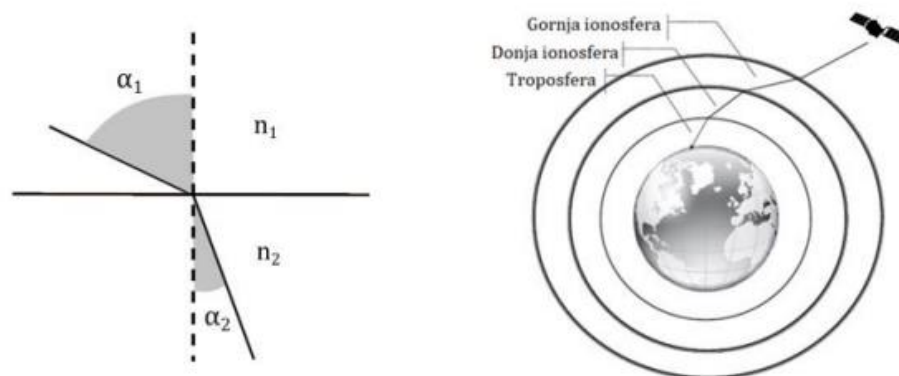
c – brzina svjetlosti

v_i – brzina svjetlosti u nekom mediju

¹⁰ Kaplan, E. D. & Hegarty, C.J.: *Understanding GPS: Principles and Application*, 2. izdanje, Artech House, Boston, 2006., str. 29

¹¹ Ibidem, str. 605

¹² Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E.: *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more*, Springer, New York, 2008, str. 62



Slika 6. Snellov zakon i refrakcija satelitskog signala prilikom prolaska atmosferom

Izvor: Petrovski, I., Tsujii, T.: Digital Satellite Navigation and Geophysics: A practice guide with GNSS Signal Simulator and Receiver Laboratory, New York: Cambridge University Press, 2012.

Ako je vrijednost indeksa loma veća od 1, vrijeme propagacije, tj. širenja satelitskog signala veće je nego što je brzina svjetlosti u zrakopraznom prostoru. Indeks loma funkcija je vodene pare, atmosferskog tlaka, temperature, frekvencije elektromagnetskih signala i ukupnog broja slobodnih elektrona u atmosferi.¹³ Kako je prethodno navedeno, svaki pojedini sloj atmosfere ima drugačiji utjecaj na satelitski signal, iz tog razloga, indeks loma nije konstantan duž putanje satelitskog signala već se mijenja.

Jedan od slojeva atmosfere kroz koji satelitski signal prolazi, je ionosferski sloj koji predstavlja disperzivni medij. U disperzivnom mediju fazna brzina satelitskog signala nije ista kao grupna brzina satelitskog signala. Unutar ovog sloja dolazi do pomaka faze satelitskog signala te se brzina fazne komponente satelitskog signala ubrzava i postaje veća od brzine svjetlosti c , a grupna brzina satelitskog signala postaje manja od brzine svjetlosti c .¹⁴ Fazna brzina satelitskog signala i grupna brzina satelitskog signala po iznosu su jednake, a po predznacima se razlikuju. Zbog navedene činjenice o iznosu i predznacima navedenih brzina, kodirani satelitski signal do korisničke antene doći će sa određenim zakašnjenjem, dok će val nosioc doći prije njega jer se on širio brzinom svjetlosti c .¹⁵

¹³ Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E.: *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more*, Springer, New York, 2008, str. 62

¹⁴ Ibidem, str. 67

¹⁵ Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E.: *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more*, Springer, New York, 2008, str. 67

2.3.3. Zajednički sustav vremena

Zadnji, no nikako ne manje bitan preduvjet je zajednički sustav vremena. Zajednički sustav vremena znači da satelit i korisnički prijamnik moraju imati međusobno usklađene satove. Sateliti u sebi sadrže precizne atomske satove dok su satovi u korisničkim prijamnicima kvarcni satovi. Znajući činjenicu da niti atomski satovi niti kvarcni nisu dovoljno stabilni, kontrolni segment satelitskog sustava neprestano prati pomak satova te ih sinkronizira sa sustavnim vremenom.¹⁶ GPS sustavno vrijeme, za razliku od UTC (engl. *Coordinated Universal Time*) vremena je definirano u stvarnom vremenu te je ono neprekidno (kod UTC vremena se sekunde periodično oduzimaju ili dodaju zbog nejednolike Zemljine rotacije). Kontrolni segment održava razliku vremena između GPS sustavnog vremena i UTC vremena unutar 1 μ s. Informacije vezane uz odstupanje satelitskog sata od sustavnog vremena nalaze se unutar navigacijske poruke. Temeljem informacija sadržanih u navigacijskoj poruci a vezanih uz odstupanje satelitskih satova, kontrolni segment GPS sustava određuje točno vrijeme odašiljanja satelitskog signala. Kao posljedica pogreške u mjerenju vremena širenja satelitskog signala, udaljenost koju korisnički prijamnik izmjeri nije stvarna već je ona uvećana za vrijednost pogreške u mjerenju vremena. Tako korigirana udaljenost naziva se pseudoudaljenost.¹⁷ Vremenski ekvivalent pseudoudaljenosti predstavlja razliku izmjerenog vremena između vremena prijama satelitskog signala na korisnički prijamnik i vremena kada je signal poslan sa satelita.¹⁸

2.4. PRINCIP ODREĐIVANJA POLOŽAJA

Temeljni princip određivanja položaja pomoću satelitskih sustava je mjerenje vremena (ΔT) potrebnog satelitskom signalu da prevali put od satelitske antene do korisničke antene.¹⁹ To vrijeme širenja satelitskog signala od satelitske antene do korisničke antene određuje se pomoću kodova koji se nalaze u satelitskom signalu. Poznavajući brzinu širenja signala c i

¹⁶ Dawoud, S. : *GNSS principles and comparison*, Postdam University, Germany, 2012., str.1

¹⁷ Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. : *GNSS –Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more*, Springer, New York, 2008., str. 4

¹⁸ Kaplan, E. D. & Hegarty, C.J. : *Understanding GPS: Principles and Application*, 2. izdanje, Artech House, Boston, 2006., str..303

¹⁹ Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. : *GNSS –Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more*, Springer, New York, 2008., str. 3

vrijeme širenja satelitskog signala, moguće je odrediti udaljenost između satelitske antene i korisničke antene uz formulu²⁰:

$$r_i = c \cdot \Delta t \quad (2)$$

gdje je:

r_i – prava (geometrijska) udaljenost satelitske antene i korisničke antene

c – brzina svjetlosti

Δt – vrijeme širenja satelitskog signala

Pravo vrijeme koje je potrebno satelitskog signalu da od satelitske antene dođe do korisničke antene dobiva se kao razlika vremena prijama satelitskog signala i vremena odašiljanja satelitskog signala u okviru satelitskog vremena:

$$\Delta t = t_{rs} - t_{ss} \quad (3)$$

gdje je:

t_{rs} – vrijeme prijama satelitskog signala

t_{ss} – vrijeme odašiljanja satelitskog signala

Kao što je prethodno spomenuto, zbog neusklađenosti korisničkih satova sa satelitskim satovima, dolazi do pogreške mjerenja vremena širenja satelitskih signala koja se naziva pogreška korisničkog sata. Pogrešku korisničkog sata moguće je izračunati na sljedeći način²¹:

$$\delta t_r = t_{rr} - t_{rs} \quad (4)$$

²⁰ Teunissen, J. G. P., Montenbruck, O.: *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*, 2017., str 31.

²¹ Petrovski I., G., Tsujii, T.: *Digital Satellite Navigation and Geophysics*, Cambridge, 2012., str 21.

gdje je:

δt_r – pogreška korisničkog sata

t_{rr} – vrijeme prijama satelitskog signala na korisničkom satu

t_{rs} – vrijeme odašiljanja satelitskog signala

Točno vrijeme prijama signala u okviru svemirskog vremena dobiva se sljedećom jednačinom:

$$t_{rs} = t_{rr} - \delta t_r \quad (5)$$

Ako se prethodna jednačina uvrsti u jednačinu (3), dobiva se jednačina kojom se određuje vrijeme širenja satelitskog signala s uvrštenom pogreškom satelitskog sata²²:

$$\Delta t = t_{rr} - \delta t_r - t_{ss} \quad (6)$$

Pozivajući se na činjenicu kako prijamnik udaljenost mjeri usporedbom satelitskog signala sa satelita i lokalne replike generirane u prijarniku, zaključuje se kako je umnožak izmjerenog vremena širenja satelitskog signala i brzine širenja satelitskog signala zapravo pseudoudaljenost.²³

Stvarna udaljenost između satelita i prijarnika, dobiva se uvrštavanjem jednačine (6) u jednačinu (2):

$$r_i = c \cdot (t_{rr} - \delta t_r - t_{ss}) \quad (7)$$

²² Petrovski I., G., Tsujii, T.: *Digital Satellite Navigation and Geophysics*, Cambridge, 2012., str 22.

²³ Ibidem

Pseudoudaljenost do satelita sadržana je u jednadžbi (7) kao član²⁴:

$$\rho_i = c \cdot (t_{r_r} - t_{s_s}) \quad (8)$$

Pogreška mjerenja udaljenosti drugi je član jednadžbe (7):

$$d\rho_i = -c \cdot \delta t_r \quad (9)$$

Iz svega navedenog daje se zaključiti kako se pseudoudaljenost može izračunati spajanjem dviju formula, formule za stvarnu udaljenost i formule za duljinski ekvivalent pogreške korisničkog sata²⁵:

$$\rho_i = r_i + d\rho_i \quad (10)$$

Iz formule za pseudoudaljenost moguće je izvesti formulu za stvarnu udaljenost²⁶:

$$r_i = \rho_i - d\rho_i \quad (11)$$

Za izračunati položaj korisničke antene potrebna su četiri satelita i četiri istovremeno izmjerene pseudoudaljenosti. Pomoću izmjerenih pseudoudaljenosti dobivaju se četiri jednadžbe s četiri nepoznanice koje predstavljaju geografsku širinu, geografsku duljinu, nadmorsku visinu i korekciju pogreške korisničkog sata.²⁷ Pseudoudaljenost se u pravokutnom koordinatnom sustavu računa na sljedeći način²⁸:

$$R_{p_i} = \sqrt{[x_r(t_r) - x_s(t_s)]^2 + [y_r(t_r) - y_s(t_s)]^2 + [z_r(t_r) - z_s(t_s)]^2} + c \cdot \delta t_r \quad (12)$$

²⁴ Petrovski I., G., Tsujii, T.: *Digital Satellite Navigation and Geophysics*, Cambridge, 2012., str 22.

²⁵ Ibidem

²⁶ Teunissen, J. G. P., Montenbruck, O.: *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*, 2017., str 7

²⁷ Kos, S., Zorović, D., Vranić, D. : *Terestrička i elektronička navigacija*, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2010, str.491

²⁸ Petrovski I., G., Tsujii, T.: *Digital Satellite Navigation and Geophysics*, Cambridge, 2012., str 22.

gdje je:

R_{pi} – pseudoudaljenost s i -tog satelita

x_r, y_r, z_r - koordinate korisničke antene

t_r – vrijeme prijama satelitskog signala

x_s, y_s, z_s – koordinate i -tog satelita u trenutku odašiljanja satelitskog signala

t_s – vrijeme odašiljanja satelitskog signala

c – brzina svjetlosti

δt_r – pogreška korisničkog sata

Valja napomenuti kako ni ovaj položaj nije u potpunosti točan nego postoje određena odstupanja. Zbog pogreške u mjerenju vremena zajedno sa utjecajem prijenosnog medija te ostalih pogrešaka koje se mogu javiti, dobiveni položaj korisničke antene uvijek će imati odstupanja od točnog položaja korisničke antene.

2.5. POGREŠKE ODREĐIVANJA POLOŽAJA

Mnogo je stvari koje utječu na točnost položaja koji se dobiva satelitskim putem te upravo iz tog razloga, uvijek postoje određena odstupanja po pitanju same točnosti istog tog položaja. Ukupni iznos pogreške položaja čini umnožak korisničke razdiobe pogrešaka (UERE, engl. *User Equivalent Ranging Error*) te geometrijske razdiobe točnosti (GDOP, engl. *Geometric Dilution of Precision*).²⁹ Korisnička razdioba točnosti zapravo predstavlja pogrešku u proračunu udaljenosti između satelitske antene i korisničke antene, dok geometrijska razdioba točnosti ovisi o prostornoj raspodjeli satelita koji se koriste u određivanju položaja.

²⁹ Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E.: *GNSS –Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more*, Springer, New York, 2008., str. 110

2.5.1. Korisnička razdioba pogrešaka

Pogreške koje se ubrajaju u korisničku razdiobu pogrešaka mogu se podijeliti u tri grupe:

- pogreške prostornog segmenta,
- pogreške prijenosnog medija,
- pogreške korisničkog segmenta.

2.5.1.1. Pogreška prostornog segmenta

Pod pogreške prostornog segmenta spadaju pogreška satelitskih efemerida te pogreška satelitskog sata. Do pogreške satelitskih efemerida dolazi zbog izostanka točne procjene sila koje djeluju na satelit što rezultira manjim ili većim odstupanjima satelitskog položaja od proračunatog položaja. Pogreška satelitskog sata javlja se zbog nedovoljne preciznosti atomskih satova koji se koriste. Za procjenu pogreške prostornog segmenta zadužen je kontrolni segment, dok se ispravke procijenjenih pogrešaka nalaze unutar navigacijske poruke satelitskog signala.

2.5.1.2. Pogreška prijenosnog medija

Do pogreške prijenosnog medija dolazi zbog činjenice da satelitski signal prilikom širenja prolazi kroz različite slojeve gdje ima različit indeks loma. Što se pogreške prijenosnog medija tiče, ove pogreške se dijele na ionosfersko kašnjenje i troposfersko kašnjenje. Ionosfersko kašnjenje uzrokovano je slobodnim elektronima u ionosferi koji uzrokuju smanjenje brzine širenja satelitskog signala. Kod jednofrekvencijskih prijamnika, kakvima se koristi i GPS sustav, ionosfersko kašnjenje ispravlja se pomoću Klobucharovog modela. Valja napomenuti kako je ionosfersko kašnjenje najveća pogreška satelitskog određivanja položaja.

Troposfersko kašnjenje uzrokuje promjenu brzine širenja satelitskog signala, a uzrok su mu promjene u temperaturi, promjene u atmosferskom tlaku te promjene u vlažnosti atmosfere. Troposfersko kašnjenje se može podijeliti na suhu komponentu i mokru komponentu. 90% troposferskog kašnjenja čini suha komponenta koju je moguće predvidjeti te se ona ispravlja pomoću modela od kojih su u upotrebi najčešći Hopfieldov model i Saastamoinenov model.

2.5.1.3. Pogreška korisničkog segmenta

Kao i kod prethodne dvije vrste pogrešaka, tako se i pogreška korisničkog segmenta može dalje raščlaniti. U ovu vrstu pogrešaka spadaju pogreška korisničkog sata, pogreška višestrukih putova te pogreška šuma prijamnika.

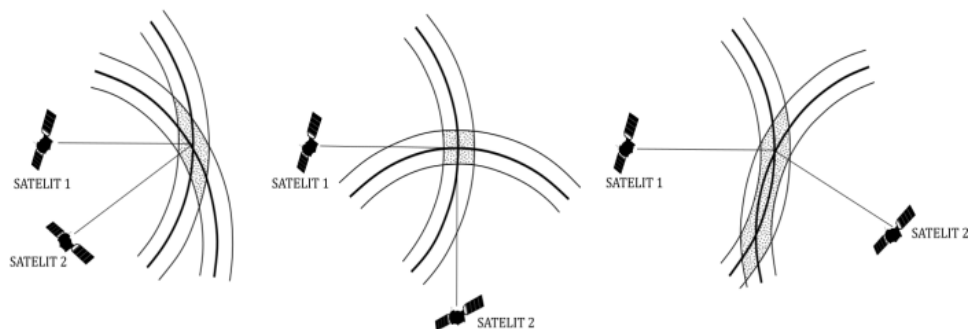
Pogreška korisničkog sata javlja se zbog razlike stabilnosti atomskih satova na satelitima i kvarenih satova u korisničkom prijamniku. Vrijednost ove pogreške veća je od vrijednosti pogreške satelitskih satova. Ova pogreška može se smanjiti ili se može uzeti kao nepoznanica u postupku procjene položaja.

Pogreška višestrukih putova javlja se kada satelitski signal ne dolazi do korisničkog prijamnika direktno već indirektnim putom zbog odbijanja od reflektirajućih površina. Ova pogreška smanjuje se na četiri moguća načina a to su: smještajem antene, vrstom antene, vrstom prijamnika te naknadnom obradom udaljenosti koje su izmjerene.

Što se pogreške šuma prijamnika tiče, ona se javlja zbog nedostataka elektroničkih sklopova koji se nalaze unutar samog korisničkog prijamnika kao što su antena, kablovi, itd.

2.5.2. Geometrijska razdioba točnosti

Geometrija satelita predstavlja međusobni položaj satelita gledan sa stajališta korisničkog prijamnika, tj. korisnika. Smatra se da je satelit „vidljiv“ ako je pravac između satelita i korisnika neprekinut. Geometrija se mjeri bezdimenzionalnim brojem zvanim DOP (engl. *Dilution of Precision*). Ovu vrstu pogreške najlakše je vizualno prikazati na sljedeći način:



Slika 7. Različiti scenariji geometrijske razdiobe točnosti

Izvor: Izrada autora prema Misra, P., Enge, P. : Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance. Lincoln: Ganga-Jamuna Press, 2004.

Iz vizualnog prikaza vidljivo je kako je područje neodređenosti manje kada su sateliti međusobno u povoljnom položaju, dok je područje neodređenosti veće dok su sateliti u nepovoljnom međusobnom položaju. Područje neodređenosti obrnuto je proporcionalno s točnošću određivanja položaja, što znači da porastom područja neodređenosti dolazi do smanjenja točnosti određivanja položaja.

Geometrijska razdioba točnosti također se može raščlaniti na sljedeće segmente³⁰:

- prostornu razdiobu točnosti,
- horizontalnu razdiobu točnosti,
- sjevernu razdiobu točnosti,
- istočnu razdiobu točnosti,
- vertikalnu razdiobu točnosti,
- vremensku razdiobu točnosti.

³⁰ Sanz Subirana, J., Juan Zornoza, J.M., Hernández-Pajares, M.: *GNSS Data Processing, Vol. 1: Fundamentals and Algorithms* (ESA TM-23/1, May 2013), ESA Communications, Netherland, 2013., str. 150

3. SVEMIRSKO VRIJEME

Pod nazivom svemirsko vrijeme podrazumijeva se skup fizikalnih i kemijskih pojava vezanih za transfer energije na relaciji Sunce - Zemlja. Svemirsko vrijeme odnosi se na kratkotrajne promjene kako u okruženju Zemlje, tako i u okruženju drugih planeta koji se nalaze unutar Sunčeva sustava. Svemirsko vrijeme uključuje aktivnosti i pojave koje su vezane uz Sunce, Sunčev vjetar, magnetosferu, ionosferu i termosferu, a koje mogu utjecati na karakteristike i pouzdanost svemirskih tehnoloških sustava i zemaljskih tehnoloških sustava kao i ugroziti zdravlje i živote ljudi na Zemlji.³¹

Dinamičko spajanje Sunčeva vjetra i magnetosfere dovodi do dinamičkih promjena u geomagnetskim aktivnostima kao što su na primjer geomagnetske oluje koje obično traju nekoliko sati ili nekoliko dana. Ove promjene mogu utjecati na antropogene sustave kao što su satelitski sustavi, navigacijski sustavi, telekomunikacijski sustavi, sigurnost astronauta u svemiru, sigurnost ljudi u avionima, itd.³²

3.1. SUNCE

Sunce je zvijezda stara otprilike 4,5 milijardi godina. Masa Sunca iznosi otprilike $1,9891 \cdot 10^{30}$ kg što je 330 000 puta veće od mase Zemlje, dok je promjer 109 puta veći od promjera Zemlje i iznosi otprilike 1 392 000 km. Može se reći kako je Sunce ogromna kugla ioniziranih plinova visoke temperature od kojih su najzastupljeniji vodik i helij, a koji se na okupu drže zahvaljujući vlastitom gravitacijskom polju Sunca. Temperatura u središtu Sunca doseže čak 15 milijuna kelvina, dok je temperatura vanjskog sloja atmosfere Sunca oko 5770 kelvina. Sunce ima diferencijalnu vrtnju što znači da ekvator i polovi imaju različit period vrtnje. Period vrtnje ekvatora je 25 dana, a period vrtnje polova je 36 dana.³³

Sunčeva energija dolazi od procesa nuklearne fuzije proton – proton što u prijevodu znači da se unutar središta Sunca stvara kemijskim reakcijama pretvorbe vodika u helij. Energija se prenosi iz središta na dva načina. Prijenos unutar radijativne zone odvija se zračenjem, dok se prijenos unutar konvektivne zone odvija miješanjem. Znak su miješanja granule vidljive u dubljim slojevima fotosfere. U Sunčevu spektru prevladavaju infracrveno zračenje i vidljivo

³¹ Kamide Y., Chian A.: *Handbook of the Solar-Terrestrial Environment*, New York: Springer Science and Business Media, 2006., str. 19

³² Ibidem

³³ Ibidem, str. 20

zračenje koje je stalnoga intenziteta, dok se zračenja promjenjiva intenziteta, ultraljubičasto zračenje i rendgensko zračenje stvaraju prolaznim procesima u višim slojevima atmosfere.³⁴

Struktura Sunca može se podijeliti na dvije komponente: unutrašnjost i atmosferu.

Unutarnji dio sastoji se od jezgre, radijativne zone te konvektivne zone. Unutar jezgre, kao što je već ranije spomenuto, dolazi do nuklearnih reakcija i oslobađanja energije. Radijativna zona, zvana još i zona zračenja, prostor je kroz koji se Sunčeva energija prenosi zračenjem kao što i sam naziv zone aludira. Kada energija u obliku fotona gama zraka prolazi ovom zonom, dio fotona se izbacuje, dio se apsorbira a dio se vraća u jezgru.³⁵ Zanimljiva je činjenica da je fotonima potrebno 100 000 godina kako bi prošli ovu zonu.

Konvektivna zona ili zona konvekcije, najviša je vanjska zona Sunca, a u njoj se energija prenosi miješanjem. Energija koja se prenosi fotonima gama zraka u prethodnoj zoni se zagrijala. Unutar konvektivne zone ti fotoni gama zraka uslijed djelovanja konvekcijskih struja podižu se na površinu tijekom čega predaju energiju, hlade se te spuštaju u dublje slojeve nakon čega se proces ponavlja.

Što se Sunčeve atmosfere tiče, ona se sastoji od tri sloja: fotosfere, kromosfere i korone. Fotosfera je najniži sloj Sunčeve atmosfere i prvi vidljivi sloj debljine 300 - 500 kilometara, a iz njega se Sunčevo zračenje širi dalje u svemir. Površina ovog sloja je granulasta zbog vrućih plinova koji su u konstantnom kretanju. Nastanak granula opisan je u dijelu o konvektivnoj zoni. Osim granulama, Sunčeva tvar giba se i u supergranula. Supergranule, točnije ionozirani plin unutar njih, prenosi magnetsko polje koje je koncentrirano na njihovim rubovima. Osim granula i supegranula, u ovom sloju nalaze se još i Sunčeve pjegice te Sunčeve baklje.³⁶

Srednji sloj Sunčeve atmosfere je kromosfera visine od otprilike 2 000 kilometara te temperature manje nego što je to u fotosferi. Iz ovog sloja izdižu se takozvane „bodlje“, tj. mali izbačaji plina koji dosežu visine i do 9 000 kilometara, a smješteni su na rubovima prethodno spomenutih supegranula. Iz sloja kromosfere izdižu se i prominencije, tj. pojave nalik oblaku koje su svijetle kada su iznad ruba Sunčeva kruga ili tamne kada su na disku. Unutar ovog sloja opažaju se razni oblici Sunčeve aktivnosti uzrokovani Sunčevim magnetskim poljem te dovođenjem energije iz unutrašnjosti Sunca, o kojima će više govora biti u narednom potpoglavlju. Pojave koje se javljaju u sloju fotosfere i kromosfere predstavljaju nusprodukte brojnih poremećaja i procesa koji se događaju u unutrašnjosti Sunca.³⁷

³⁴ Hrvatska enciklopedija, online: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58774>

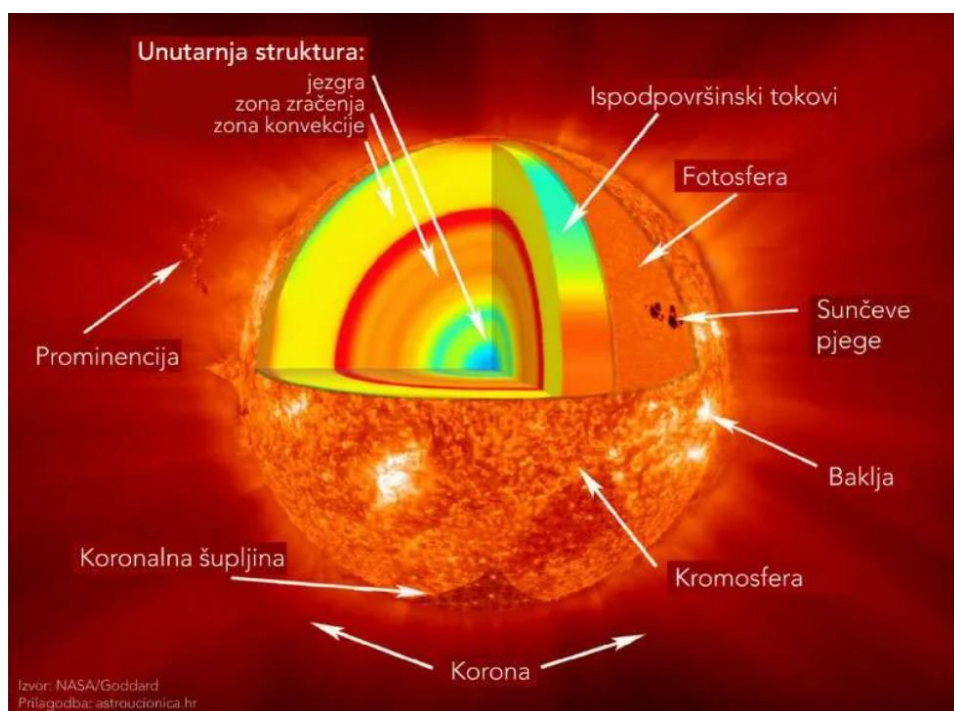
³⁵ E-škola astronomije, online: <https://eskola.zvezdarnica.hr/osnove-astronomije/sunce/grada-sunca/>

³⁶ Hrvatska enciklopedija, online: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58774>

³⁷ Hrvatska enciklopedija, online: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=58774>

Između kromosfere i posljednjeg sloja Sunčeve atmosfere nalazi se tanak sloj u kojemu dolazi do naglog porasta temperature s 1 000 000 na 10 000 000 kelvina.

Posljednji sloj Sunčeve atmosfere je korona koja predstavlja najrjeđi dio Sunčeve atmosfere te prijelaz Sunčeve tvari u međuplanetarni prostor. Korona je vidljiva za vrijeme pomrčine Sunca, a vrlo je velik izvor X zračenja. Ovaj sloj može se podijeliti na nekoliko područja. Najniže područje, K korona, zaduženo je za raspršivanje Sunčeve svjetlosti. E korona zadužena je za emitiranje spektralne linije višestruko ioniziranih atoma. Najviše područje, F korona, je ono u kojemu se Sunčeva svjetlost raspršuje na međuplanetnom prahu. Koronarne rupe ili koronarne šupljine nastaju kao dijelovi otvorenih silnica magnetskih polja.³⁸ Upravo su te koronarne rupe uzrok gubljenja mase u obliku Sunčeva vjetra, o kojem nešto više u narednim potpoglavljima.



Slika 8. Struktura Sunca

Izvor: <https://www.astroucionica.hr/zanimljivosti-o-suncu/>

³⁸ Briggs, R. P., Carlisle, R. J., Poppe, B.B.: *Solar Physics and Terrestrial Effects: A Curriculum Guide for Teachers*, Third Edition, Space Weather Prediction Center: National Oceanic and Atmospheric Administration, Boulder Colorado, 2016, str. 13

3.1.1. Aktivnost sunca

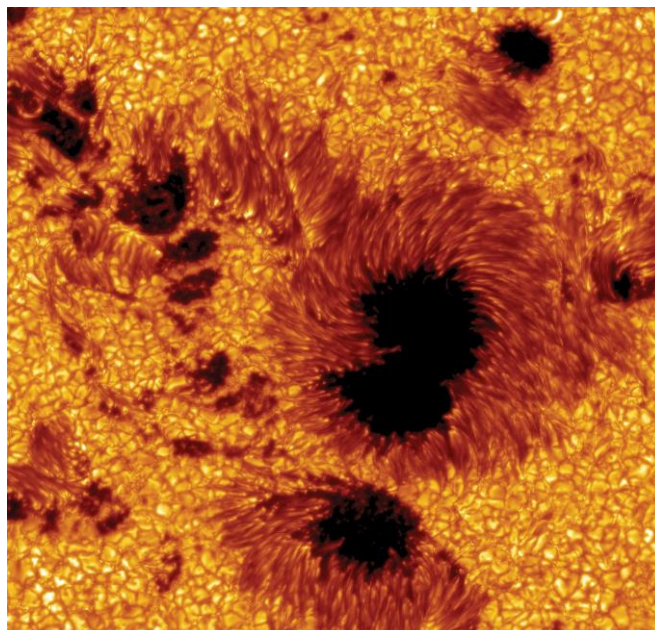
Aktivnost Sunca ogleda se u činjenici da Sunce prolazi kroz svoje uobičajene cikluse aktivnosti. Osim uobičajenih aktivnosti koje nastaju u raznih fazama solarnog ciklusa, ovdje se ubrajaju i povećane aktivnosti koje nastaju prilikom erupcija Sunčevih baklji te koronarni izbačaji mase. Uz dvoje prethodno navedeno, u aktivnost Sunca ubraja se i promjenjivost značajki Sunčeva vjetra o čemu nešto više kasnije.

3.1.1.1. Solarni ciklus

Solarni ciklus traje između 7 i 17 godina, no uzima se srednji period od 11 godina. Upravo je 11 godina potrebno da se zamijene magnetski polovi Sunca, odnosno potrebne su 22 godine kako bi se oni vratili u prvobitni položaj. Unutar jednog solarnog ciklusa pojavljuje se jedan minimum te jedan maksimum. Promjene polariteta posljedica su promjena magnetskog polja unutar Sunca.

Jedan od pokazatelja Sunčeve aktivnosti su i Sunčeve pjege. Sunčeve pjege su tamna područja vrlo velike magnetske aktivnosti a temperatura im je niža od okolne temperature te se nalaze u fotosferi. Najčešće dolaze u paru i to oko ekvatora. Broj Sunčevih pjega ovisi o fazi perioda solarnog ciklusa, pa je tako broj Sunčevih pjega najveći za vrijeme maksimuma solarnog ciklusa odnosno najmanji za vrijeme minimuma solarnog ciklusa.³⁹ Iz navedenog se zaključuje kako je promjena Sunčeve aktivnosti proporcionalna broju Sunčevih pjega, tj, porastom Sunčeve aktivnosti raste i broj Sunčevih pjega.

³⁹ Kamide Y., Chian A.: *Handbook of the Solar-Terrestrial Environment*, New York: Springer Science and Business Media, 2006., str. 57



Slika 9. Sunčeve pjege

Izvor: <https://www.britannica.com/science/sunspot>

Sunčeve pjege počinju se pojavljivati na većim heliografskim širinama, ali ne većima od 30°, te se razvojem solarnog ciklusa one spuštaju prema ekvatoru. Valja napomenuti kako je uvijek jedna hemisfera aktivnija od druge po broju Sunčevih pjega.

3.1.1.2. Sunčev vjetar

Sunčev vjetar, naziva se još i solarnim vjetrom, struja je čestica izbačenih iz gornjih slojeva Sunčeve atmosfere velikom brzinom.⁴⁰ Tvar unutar Sunčeva vjetra naziva se plazmom te se ona na mjestima gdje se magnetske silnice šire u svemir, uspijeva odvojiti od Sunca. Zemlja je konstantno podložna Sunčevom vjetru, a Zemljina magnetosfera je zbog njegovog utjecaja deformirana.

⁴⁰ Sunce, online: <https://sites.google.com/site/suncejezivot/suncev-vjetar>

Jedni od najpoznatijih učinaka Sunčeva vjetra su polarna svjetlost i usmjeravanje repa kometa suprotno od Sunca. Do stvaranja polarne svjetlosti dolazi uslijed činjenice da se Sunčev vjetar ulaskom u Zemljino magnetsko polje usmjerava ka magnetskim polovima. Zbog velike brzine kojom se čestice Sunčeva vjetra kreću, dolazi do sudaranja čestica Sunčeva vjetra s česticama u Zemljinoj atmosferi te njihova ioniziranja i stvaranja polarne svjetlosti. Iako se polarna svjetlosti većinski pojavljuje samo u polarnim krajevima, postoje slučajevi kada se pojavljuje na manjim geografskim širinama, a uzrok tomu je pojačano djelovanje Sunčeva vjetra.⁴¹



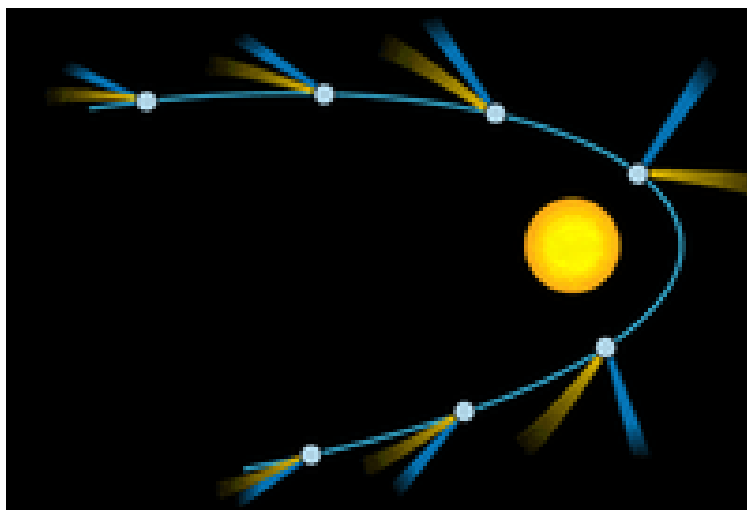
Slika 10. Polarna svjetlost - *Aurora Borealis*

Izvor: <https://putovanja.nomago.hr/sve-o-putovanjima/8-najboljih-mjesta-za-vidjeti-auroru-borealis/>

Što se usmjeravanja repa kometa tiče, kometi se prilikom dolaska u Sunčevu blizinu zagrijavaju čime dolazi do isparavanja njihove zaleđene površine i oslobađanja oblaka plina i čestica prašine. Upravo je taj oblak prašine ono što Sunčev vjetar oblikuje. Sunčev vjetar dolazi iz smjera Sunca, tako da rep kometa usmjerava u suprotnom smjeru, od Sunca.⁴²

⁴¹ Sunce, online: <https://sites.google.com/site/suncejezivot/suncev-vjetar>

⁴² Kamide Y., Chian A.: *Handbook of the Solar-Terrestrial Environment*, New York: Springer Science and Business Media, 2006.



Slika 11. Usmjeravanje repa kometa

Izvor: <https://pantip.com/topic/37296155>

3.1.1.3. Značajni poremećaji aktivnosti Sunca

Značajni poremećaji aktivnosti Sunca definiraju se kao eruptivni procesi koji sa sobom donose elektromagnetsko zračenje, povišeno X zračenje ili UV zračenje te energetske nabijene čestice koje imaju međudjelovanje sa Zemljinom atmosferom te stvaraju geomagnetske oluje i poremećaje ionosfere. Što se poremećaja aktivnosti Sunca tiče, spomenuta će biti dva, Sunčeve baklje i koronarni izbačaji mase.

Prvi značajni poremećaj aktivnosti Sunca koji će biti opisan su Sunčeve baklje. Sunčeve baklje predstavljaju snažne erupcije elektromagnetskog zračenja sa Sunca te pokrivaju značajan spektar valnih duljina, a stvaraju se u neposrednoj blizini Sunčevih pjega.⁴³ Trajanje Sunčevih baklji odvija se u tri faze, a može trajati od jedne minute do nekoliko sati. Tijekom prve faze dolazi do porasta prominencije, blagog porasta rengenškog zračenja (X zračenja) kao i početka izbacivanja koronalne mase. U drugoj fazi prominencija brzo eruptira te dolazi do emisije rengenških zraka zajedno sa praskovima Sunčeva zračenja (SRB, engl. *Solar Radio Bursts*). Unutar treće faze dolazi do pada intenziteta zračenja.

Sunčeve baklje ispuštaju rengenško zračenje zajedno sa ultraljubičastim zračenjem te obje vrste zračenja uzrokuju poremećaje u atmosferi koji se očituju povećanjem ukupnog

⁴³ Vujnović, V.: *Astronomija 2: Metode astrofizike, Sunce, zvijezde i galaksije*, III. izmijenjeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 2010., str. 95

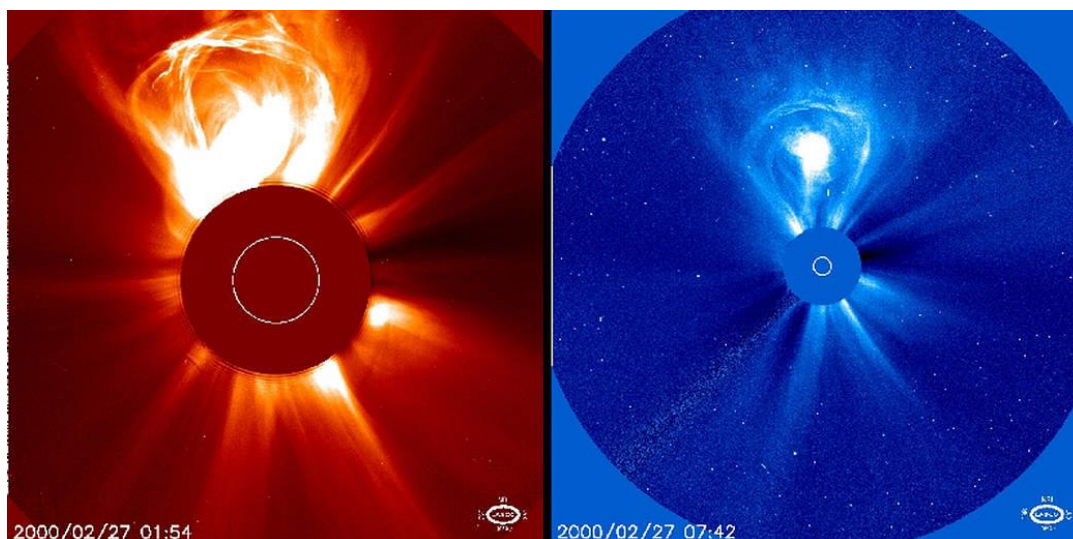
sadržaja elektrona (TEC, engl. *Total Electron Content*). S druge strane, praskovi Sunčeva zračenja djeluju na prijam signala sa satelita.

Sunčeve baklje mogu se klasificirati s obzirom na količinu otpuštene energije i to koristeći slova A, B, C, M i X. Sunčeve baklje s oznakom A su najslabijeg intenziteta te intenzitet raste kako se ide prema oznaci X. Svaka razina je deset puta većeg intenziteta od prethodne. Svaka razina nadalje je podijeljena s obzirom na intenzitet i označena brojevima od 1 do 9. Valja napomenuti kako Sunčeve baklje s oznakom X mogu poprimiti vrlo velike vrijednosti te one imaju oznake od 1 do 20. Sunčeve baklje s oznakom A, B i C nemaju gotovo nikakav učinak na Zemlju. Sunčeve baklje označene oznakom M1 do M4 mogu uzrokovati prekid rada radijskih sustava u polarnim predjelima te mogu prouzročiti slabe oluje Solarnog zračenja koje predstavljaju opasnost za astronaute. Umjeren utjecaj na Zemlju imaju Sunčeve baklje s oznakom M5 do M9. Sunčeve baklje s oznakom X mogu prouzročiti štete na: satelitima, komunikacijskim sustavima, energetske mrežama na Zemlji, smanjiti točnost mjerenja položaja, itd.⁴⁴

Drugi spomenuti značajni poremećaj aktivnosti Sunca su koronarni izbačaji mase (CME, engl. *Coronal Mass Ejections*). Koronarni izbačaji mase predstavljaju eksplozije velikih količina plazme i magnetskog polja iz Sunčeve korone. A. J. Haundhausen ih je definirao kao: „vidljivu promjenu u koronarnoj strukturi koja se događa na vremenskoj skali između nekoliko minuta i nekoliko sati i uključuje pojavu diskretne jarko bijele svjetlosti u vidnom polju koronografa“. ⁴⁵

⁴⁴ National Aeronautics and Space Administration (NASA), Solar Flares, online: https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/X-class-flares.html

⁴⁵ Kamide Y., Chian A.: *Handbook of the Solar-Terrestrial Environment*, New York: Springer Science and Business Media, 2006., str. 118



Slika 12. Koronarni izbačaj mase CME

Izvor: National Aeronautics and Space Administration (NASA), online:
<https://www.nasa.gov/content/goddard/what-is-a-coronal-mass-ejection/>

Sunce emitira solarne energetske čestice (SEP, engl. *Solar energetic particles*) kao što su elektroni i protoni koji putuje brzinom koja je puno veća od uobičajene. Ovisno o brzini, SEP-ovi do Zemlje putuju nekoliko sati, ali ima i onih sporijih kojima treba i nekoliko dana. Koronarni izbačaji mase stvaraju geomagnetske oluje te imaju utjecaj na svemirske sustave isto kao i na Zemaljske sustave poglavito u pogledu utjecaja na ionosferu koje se ogleda u kašnjenju signala.⁴⁶ Kao najvažnije karakteristike kojima se služi za predviđanje kakav učinak će koronarni izbačaj mase imati, koristi se sljedeće: veličina koronarnog izbačaja mase, smjer koronarnog izbačaja mase, brzina koronarnog izbačaja mase te gustoća koronarnog izbačaja mase.⁴⁷

Kao bitnu činjenicu valja istaknuti da je većina Sunčevih baklji praćena koronarnim izbačajima mase te iz tog razloga za vrijeme solarnog maksimuma javlja se veći broj koronarnih izbačaja mase no što je to za vrijeme solarnog minimuma.

⁴⁶ National Oceanic and Atmospheric Association's Space Weather Prediction (NOAA SWCP), Coronal Mass Ejections (CME) Space Weather Phenomena, online:
https://www.ametsoc.org/ams/assets/File/spacWx_GPS_2010.pdf

⁴⁷ Ibidem

3.2. GEOPROSTOR

Geoprostor se sastoji od gornji slojeva Zemljine atmosfere, vanjskog dijela magnetosfere te ionosfere.

Zbog djelovanja Sunčevog vjetra Zemljine magnetske silnice nisu pravilnoga oblika već su stlačene na strani Zemlje gdje je dan, odnosno izdužene su na strani Zemlje gdje je noć. Ova pojava također govori o činjenici da se magnetsko polje Zemlje suprotstavlja magnetskom polju Sunca.⁴⁸ Iz prethodno navedenoga se može zaključiti kako su veličina, tj. debljina, i oblik same magnetosfere definirani djelovanjem Sunčevog vjetra. Na dnevnoj strani Zemlje dolazi do međudjelovanja Zemljine magnetosfere i Sunčevog vjetra koje se naziva udarni val. S druge strane Zemlje, na noćnoj strani, Sunčev vjetar iskrivljuje magnetosferu poput repa kometa.⁴⁹

Magnetski omotač naziv je prostora koji se nalazi između prethodno spomenutog udarnog vala te magnetosfere. Magnetopauza se definira kao ravnotežna granica snage Sunčevog vjetra i snage Zemljine magnetosfere. Snaga Sunčevog vjetra je parametar koji određuje položaj magnetosfere. U slučaju jakog Sunčevog vjetra, dolazi do smanjenja magnetosfere, tj. njezinog primicanja ka Zemlji. U slučaju slabog Sunčevog vjetra, dolazi do povećanja magnetosfere, tj. njezinog odmicanja od Zemlje.⁵⁰

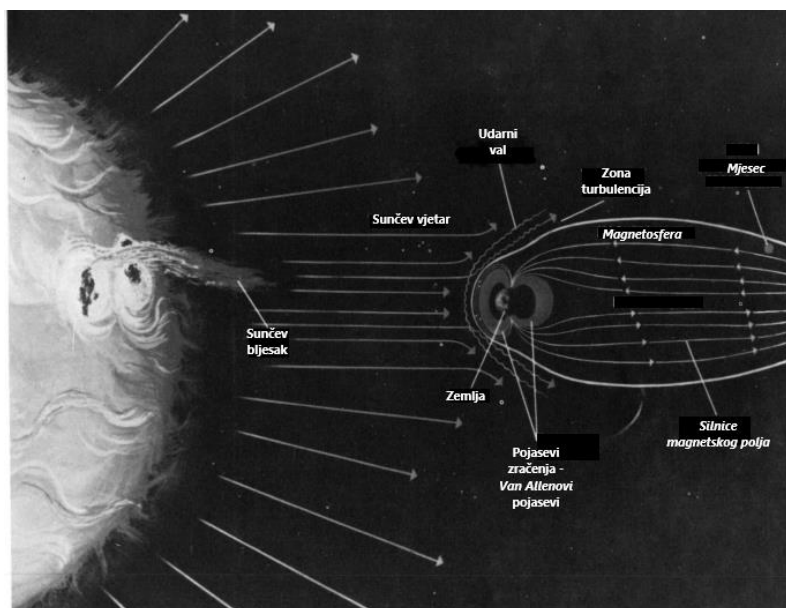
Jakost magnetskog polja veća je iznad polarnih područja nego što je to iznad ostalih područja Zemlje. Razlog tomu je sporije prodiranje nabijenih čestica kroz silnice magnetskog polja izvan polarnih područja.

Iznad geografskih širina umjerenog i ekvatorskog pojasa, nalaze se pojasevi zračenja, zvani još i *Van Allenovi* pojasevi. Zemlja ima dva ovakva pojasa, no privremeno može doći i do stvaranja njih više, te su u njima zarobljene čestice koje su došle Sunčevim vjetrom a zadržane su od strane Zemljine magnetosfere. Čestice koje se nalaze u *Van Allenovim* pojasevima su ponajviše protoni i elektroni a nešto manje alfa čestice. Ovi pojasevi su značajni jer dovode do stvaranja nepovoljnog okoliša za satelite čijim elektroničkim sklopovima mogu nanijeti značajna oštećenja.

⁴⁸ Vujnović, V.: *Astronomija 2: Metode astrofizike, Sunce, zvijezde i galaksije*, III. izmijenjeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 2010., str. 101

⁴⁹ Ibidem

⁵⁰ Moldwin, M. : *An Introduction to Space Weather*, Cambridge University Press, Cambridge, 2008.



Slika 13. Prikaz dolaska čestica Sunčevog vjetra u Zemljinu magnetosferu

Izvor: Izrada autorice prema: William R. Corliss, Space radiation, United States Atomic Energy Commission, SAD, 1968., online: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1132528>

3.2.1. Struktura Zemljine atmosfere

Zemljina atmosfera predstavlja plinski omotač koji okružuje planet Zemlju. Debljina atmosfere ne može se sa preciznošću odrediti te se uzima visina od otprilike 100 kilometara iznad površine Zemlje. Nakon te visine počinje međuplanetarni prostor. Zemljina atmosfera sastoji se od nekoliko slojeva, a navesti će ih se od najnižeg prema najvišem: troposfera, stratosfera, mezosfera, termosfera.



Slika 14. Slojevi atmosfere

Izvor: Britannica, online: <https://www.britannica.com/science/ionosphere-and-magnetosphere>

Troposfera je najniži dio Zemljine atmosfere. U umjerenim geografskim širinama visina troposfere je do 11 kilometara, u polarnim predjelima visina je do 6 kilometara dok je u tropskim predjelima visina troposfere do 20 kilometara.⁵¹ Troposfera je sloj atmosfere koji je ključan za održavanje života na Zemlji. Unutar ovoga sloja Zemljine atmosfere dolazi do prijenosa topline između tla i atmosfere (uključujući toplinu koja dolazi sa Sunca), također se unutar ovog sloja odvijaju sva događanja koja objedinjeno nazivamo meteorološko vrijeme.

Stratosfera je sloj Zemljine atmosfere koji se nastavlja na troposferu te se nalazi na visini od 10-17 kilometara (ovisno o području) sve do visine od 50 kilometara. Karakteristično je što u donjim dijelovima nema promjene temperature no do nje dolazi s porastom visine što je uzrokovano apsorpcijom ultraljubičastog Sunčevog zračenja.⁵²

Mezosfera se nalazi na visini od 50 do 80 kilometara iznad površine Zemlje te je za nju karakterističan pad temperature zraka s visinom (mjestimice temperature i ispod - 100°C).⁵³

⁵¹ Hrvatska enciklopedija, online: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=62460>

⁵² Hrvatska enciklopedija, online: <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=58348>

⁵³ Hrvatska enciklopedija, online: <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=40521>

Termosfera je sloj koji se nalazi na visini od 80 do 800 kilometara te na nju velik utjecaj ima Sunce. Kao što je slučaj bio kod stratosfere, tako i u termosferi do povećanja temperature zraka dolazi zbog apsorpcije Sunčeva ultraljubičastog zračenja. Visina i temperatura termosfere uvelike ovisi o Sunčevoj aktivnosti, tako se za niske Sunčeve aktivnosti termosfera nalazi na visini od 500 do 1000 kilometara i temperatura joj je 600 do 800 K, dok se za visoke Sunčeve aktivnosti nalazi na istoj visini ali je temperatura oko 2000 K.⁵⁴

3.2.2. Ionosfera

Ionosferski sloj ili kraće ionosfera, nalazi se na visini od 60 do 1000 kilometara te predstavlja sloj koji utječe na propagaciju radiovalova.⁵⁵ Ionosfera je usko povezana s atmosferom zbog činjenice da „spremnik“ nabijenih čestica u ionosferi nastaje ionizacijom neutralnih plinovitih spojeva same atmosfere. Električna svojstva ionosferske plazme uzrokuju značajne elektrodinamičke sprege između Zemljine magnetosfere i atmosfere. Upravo zbog važnosti prijenosa čestica između Zemljine magnetosfere i atmosfere, ionosfera predstavlja ključno područje na relaciji Sunce – Zemlja.⁵⁶

3.2.2.1. Proces stvaranja

Ionosfera nastaje kao nusprodukt interakcije između Sunca i Zemlje, točnije, nastaje zbog obrambenog učinka neutralne atmosfere protiv prodiranja vanjskih čestica. Pod pojmom vanjskih čestica ovdje se misli na fotone koji dolaze sa Sunca, kozmičke zrake koje dolaze iz međuplanetarnog medija, čestice koje dolaze Sunčevim vjetrom ili čestice iz magnetosfere. Prilikom sudara navedenih čestica sa Zemljinom atmosferom dolazi do apsorpcije njihove energije. Ako je energija apsorpcije dovoljno velika, dolazi do ionizacije neutralnih atoma ili molekula.⁵⁷

⁵⁴ Hrvatska enciklopedija, online: <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=60990>

⁵⁵ Kamide Y., Chian A.: *Handbook of the Solar-Terrestrial Environment*, New York: Springer Science and Business Media, 2006., str. 189

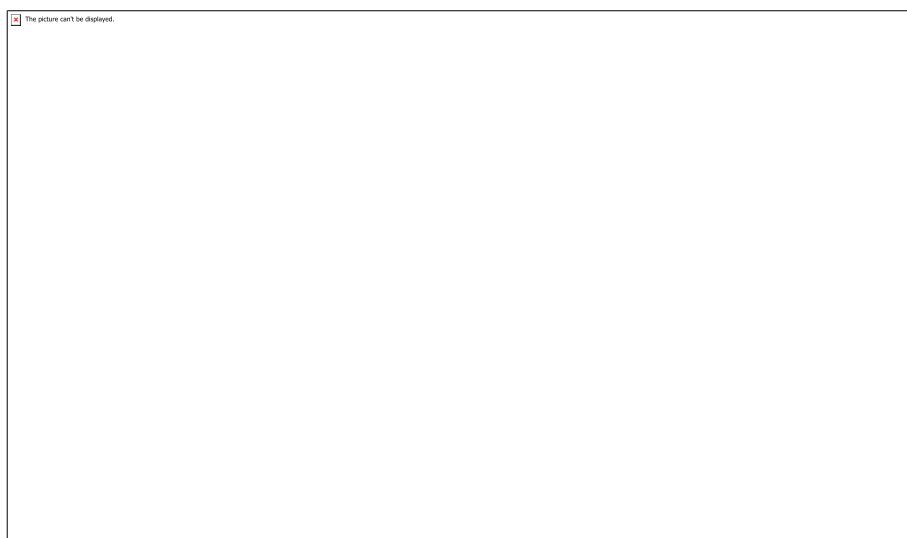
⁵⁶ Ibidem

⁵⁷ Kamide Y., Chian A.: *Handbook of the Solar-Terrestrial Environment*, New York: Springer Science and Business Media, 2006., str. 190

S obzirom na činjenicu da su prevladavajući izvori ionizacije fotoni koji dolaze sa Sunca, u prvom redu ultraljubičasto zračenje i energetsko solarno zračenje; najznačajniji, a ujedno i najčešći proces ionizacije naziva se fotoionizacijom. Količina zračenja sa Sunca koja će doći do Zemljine atmosfere varira ovisno o više čimbenika, a to su: doba dana, doba godine te stadij Sunčeva ciklus.

3.2.2.2. Slojevi

Ionosfera je podijeljena u nekoliko slojeva ovisno o česticama koje se u njoj nalaze. Tako se na dnevnoj Zemljinoj strani, ionosfera može podijeliti u četiri sloja: sloj *D*, sloj *E*, sloj *F1*, sloj *F2*.⁵⁸ Što se ionosfere na noćnoj strani Zemlje tiče, ona se dijeli na dva sloja: sloj *E*, sloj *F2*.



Slika 15. Slojevi ionosfere

Izvor: Britannica, online: <https://www.britannica.com/science/ionosphere-and-magnetosphere>

Sloj *D* predstavlja najniži sloj od svih slojeva ionosfere te se nalazi na visini od 70 do 100 kilometara.⁵⁹ Debljine je otprilike 10 kilometara. Do formiranja ovog sloja ponajprije dolazi zbog upijanja ultraljubičastog (*UV*) Sunčevog zračenja. *D* sloj nastaje ubrzo nakon svitanja, oko podneva je najgušći, a preko noći nestaje. Razlog nestajanja *D* sloja tijekom noći je rekombinacija slobodnih elektrona s ionima kisika pri čemu nastaju neutralne molekule

⁵⁸ Kamide Y., Chian A.: *Handbook of the Solar-Terrestrial Environment*, New York: Springer Science and Business Media, 2006., str. 196

⁵⁹ Hrvatska enciklopedija, online: <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=27756>

kisika.⁶⁰ Najznačajnija uloga *D* sloja uočava se pri radio komunikaciji na visokim frekvencijama (*HF – High Frequency*). Karakteristika *D* sloja je da upija radio valove te je u nekim slučajevima moguće da komunikacija na visokim frekvencijama bude i onemogućena.⁶¹ Gornja granica *D* sloja spaja se sa donjom granicom sljedećeg sloja, sloja *E*.

Sloj *E* nalazi se na visini od 90 do 130 kilometara i debljine je otprilike 25 kilometara.⁶² Do formiranja ovog sloja dolazi zbog upijanja ultraljubičastog (*UV*) Sunčevog zračenja i energetskog solarnog zračenja (*X*). U usporedbi s *D* slojem, *E* sloj ne nestaje u potpunosti tijekom noći već nastaju područja koja su dobila naziv *ES* (*Sporadic E*) sloj. Zbog svoje visoke ionizacije, *ES* sloj omogućava vrlo dobru refleksiju visoko frekventnih signala (*HF*) koji služe za odvijanje komunikacije na većim udaljenostima.⁶³

F sloj dijeli se u dva sloja, sloj *F1* i sloj *F2*. Sloj *F1* nalazi se na visini od 150 km do 250 km, a sloj *F2* od 200 km do 1000 km.⁶⁴ *F* sloj je najgušći sloj ionosfere u kojem prevladavaju pozitivni ioni, a nastaje kao posljedica upijanja visokog ultraljubičastog zračenja (*EUV – Extreme Ultraviolet radiation*). Sloj *F2* je značajan jer se u njemu događa skok gustoće elektrona na visinama od otprilike 300 kilometara a to su visine s najvećom gustoćom elektrona.

Geomagnetske oluje nastaju kada dođe do velike nagle promjene dinamičkog tlaka Sunčeva vjetera na magnetopauzi, što se događa kada je izložena koronalnom izbacivanju mase ili solarnom bljesku. Oluje mogu biti posebno snažne kada je povećani tlak Sunčeva vjetera povezan s velikom južnom komponentom međuzvezdanog magnetskog polja (*IMF*).

Velike oluje mogu značajno izmijeniti gustoću, sastav i cirkulaciju ionosferskog sloja i termosfere na globalnoj razini, a takve promjene mogu trajati nekoliko dana nakon što se geomagnetska aktivnost smiri.

Tijekom naglog početka oluje, mogu se pobuditi gravitacijski valovi na visokim geografskim širinama, a njihovo daljnje širenje prema nižim geografskim širinama dovodi do putujućeg poremećaja ionosfere (*TID*). Reakcija ionosferskog sloja i termosfere na različite geomagnetske oluje može biti značajno različita, pa čak i za jednu određenu oluju, odgovor sustava može biti vrlo različit na različitim geografskim širinama i dužinama.

⁶⁰ Britannica, online: <https://www.britannica.com/science/ionosphere-and-magnetosphere>

⁶¹ Moldwin, M. : *An Introduction to Space Weather*, Cambridge University Press, Cambridge, 2008., str. 72

⁶² Hrvatska enciklopedija, online: <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=27756>

⁶³ Moldwin, M. : *An Introduction to Space Weather*, Cambridge University Press, Cambridge, 2008., str. 72

⁶⁴ Hrvatska enciklopedija, online: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=27756>

Osim što se ionosfera dijeli na prethodno navedene slojeve, ona se može podijeliti i s obzirom na Sunčevo djelovanje na nju, i to u tri područja obzirom na geografsku širinu:

- ionosfersko područje niskih geografskih širina (0° - 20° sjeverne i južne geografske širine),
- ionosfersko područje srednjih geografskih širina (20° - 60° sjeverne i južne geografske širine),
- ionosfersko područje visokih geografskih širina (60° - 90° sjeverne i južne geografske širine).

U području visokih geografskih širina, Zemljino magnetsko polje se proteže gotovo vertikalno te je iz tog razloga ionosfera nad ovim područjima znatno složenija u usporebi s ionosferom srednjih i niskih geografskih širina. Razlog tomu je povezivanje magnetskih silnica s vanjskim dijelom magnetosfere (tzv. „*polarna kapa*“) koji je pokretan Sunčevim vjetrom za razliku od srednjih i niskih geografskih širina gdje su magnetske silnice povezane s unutarnjom magnetosferom koja se u suštini rotira zajedno sa Zemljom. Odgovor na veliki unos energije na visokim geografskim širinama je povećanje gustoće auroralnog E sloja te konvektiranje plazme visoke gustoće s dnevne strane prema polarnoj kapi na visinama F sloja.⁶⁵

Ionosfera srednjih geografskih širina je najviše proučavana te o njoj ima najviše podataka i istraživanja. Također, na srednje geografske širine ionosfere najmanje utječu vanjski uvjeti. Ionizacija u ovom području gotovo upotpunosti se stvara ultraljubičastim i rendgenskim emisijama Sunca.⁶⁶ Na srednjim geografskim širinama, valovi koji se šire prema ekvatoru potiču ionizaciju F sloja prema većim visinama, što rezultira povećanjem ionizacije. Iza poremećaja valova dolazi do pojačanih meridijanskih vjetrova. Ti vjetrovi se divergiraju te uzrokuju uspon i promjene u neutralnom sastavu, što za rezultat ima smanjenje elektronske gustoće. Kod većih magnetskih oluja, promjene u sastavu i vjetrovi mogu prodrijeti sve do magnetskog ekvatora, što je rijetko. Međutim, na području srednjih i niskih geografskih širina, pojačani vjetrovi mogu generirati dinamička električna polja koja mogu utjecati na ekvatorsku ionosferu.⁶⁷

⁶⁵ Schunk, R., Nagy, A.: *Ionospheres, Physics, Plasma Physics, and Chemistry*, Second Edition, Cambridge, Cambridge University Press, 2009., Str. 336

⁶⁶ Hunsucker, R. D. i Hargreaves, J. K.: *The high-latitude ionosphere and its effects on radio propagation*. Cambridge: Cambridge University Press. 2003., str. 3.

⁶⁷ Schunk, R., Nagy, A.: *Ionospheres, Physics, Plasma Physics, and Chemistry*, Second Edition, Cambridge, Cambridge University Press, 2009., Str. 336

Područje niskih geografskih širina snažno je pod utjecajem elektromagnetskih sila koje nastaju zato što se Zemljino magnetsko polje horizontalno proteže iznad magnetskog ekvatora. Tri su fenomena koja utječu na ionosferu niskih geografskih širina: efekt fontane, ekvatorijalna anomalija ionizacije i ekvatorijalni elektrojet. Efekt fontane je fenomen pri kojem dolazi do izobličenja opće forme ionosfere niskih geografskih širina zbog jakog električnog toga u E sloju zbog čega je F sloj podvrgnut elektodinamičkom uzdizanju.⁶⁸ Ekvatorijalna anomalija ionizacije fenomen je koji je okarakteriziran promjenom gustoće elektrona u području ekvatora i oko njega. Za određenih uvjeta svemirskog vremena kao što je to geomagnetska oluja dolazi do povećane gustoće elektrona u ekvatorskoj ionosferi što rezultira značajnim pogreškama u određivanju položaja koristeći GPS. Ekvatorijalni elektrojet predstavlja struju električnog toga koja prolazi ionosferom u blizini ekvatora te se javlja u gornjem dijelu F sloja a karakterizirana je jakom horizontalnom strujom. Do stvaranja horizontalne struje dolazi zbog interakcije horizontalne komponente magnetskog polja Zemlje i vertikalnog strujanja ionosfere.

3.2.2.3. Kašnjenje signala

Ionosfersko kašnjenje satelitskog signala ovisi o parametru koji se naziva ukupni sadržaj elektrona (TEC, engl. *Total Electron Content*). TEC predstavlja ukupan broj elektrona u poprečnom presjeku cilindričnog volumena od 1 m^2 , a izražen je u TEC jedinicama.⁶⁹ Kada se upotrebljavaju GPS sateliti na frekvenciji L1, 1 TEC uzrokuje vremensko kašnjenje od 0,542 ns, što u metrima odgovara udaljenosti od 0,1624 m. Do ionosferskog kašnjenja dolazi zbog činjenice da satelitski signal na svom putu od satelita do korisnika nailazi na slobodne elektrone pri čijem susretu dolazi do loma putanje signala. Osim prethodno navedenog, veliki utjecaj na ionosfersko kašnjenje ima i nehomogenost prijenosnog medija. Na visini od 250 do 400 (F_2 sloj) kilometara, gustoća elektrona je najveća. Gustoća elektrona ovisi i o dobu dana, geografskom položaju te aktivnosti Sunčevih pjega.

⁶⁸ Hunsucker, R. D. i Hargreaves, J. K.: *The high-latitude ionosphere and its effects on radio propagation*. Cambridge: Cambridge University Press. 2003., str. 3.

⁶⁹ Parkinson, B.W., Spilker, Jr. J.J.: *Global Positioning System: Theory and Applications*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington D.C., 1996.

Poznavajući činjenicu da ionosfersko kašnjenje ovisi o frekvenciji, fazi, kodu i brzini, moguće ga je prikazati sljedećom jednažbom⁷⁰:

$$\delta t = \frac{40,3}{cf^2} \cdot TEC \quad (13)$$

gdje je:

δt – ionosfersko kašnjenje signala,

c – brzina širenja signala (brzina svjetlosti),

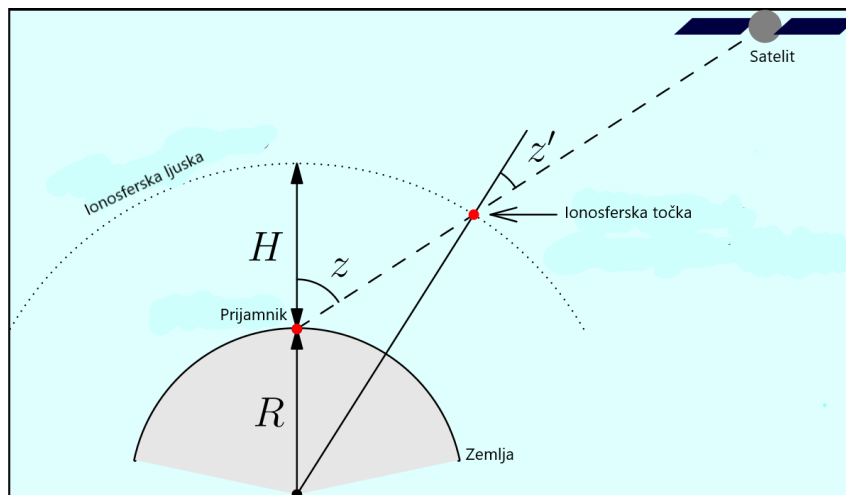
f – frekvencija satelitskog signala

TEC – ukupni sadržaj elektrona.

Iz jednažbe (13) vidljivo je kako je ionosfersko kašnjenje signala proporcionalno TEC vrijednosti te obrnuto proporcionalno frekvenciji satelitskog signala. Može se doći do zaključka kako bi se povećanjem frekvencije smanjilo ionosfersko kašnjenje signala.

Ionosfera se u današnje vrijeme prikazuje pojednostavljeno pomoću modela tanke ljuske (engl. *thin shell*) koja obavija Zemlju a ima jednak raspored gustoće elektrona. Za visinu ionosferske tanke ljuske uzima se visina od 350 kilometara iznad položaja na Zemlji. Ionosferska točka je točka na ionosferskoj ljusci gdje ljusku siječe satelitski signal.

⁷⁰ Teunissen P.J.G., Montebruck O.: *Springer Handbook of Global Navigation Satellite System*, Springer International Publishing, 2017., str. 566



Slika 16. Pojednostavljeni prikaz ionosfere

Izvor: Izrada auto prema online: https://en.wikipedia.org/wiki/Ionospheric_pierce_point

Iz pojednostavljenog prikaza ionosfere daje se zaključiti kako ionosfersko kašnjenje ovisi i o vrijednostima zenitnog kuta. Što je zenitni kut manji, to je manja i vrijednost ionosferskog kašnjenja. Razlog tomu je povećanje puta koji signal prelazi između satelitske antene i korisničke antene.

Kod jednofrekvencijskih prijamnika ionosfersko kašnjenje se umanjuje upotrebom korekcijskih modela dok se upotrebom tih modela ionosfersko kašnjenje kod dvofrekvencijskih prijamnika potpuno uklanja. GPS sustav koristi Klobucharov model kao korekcijski model za ispravke ionosferskog kašnjenja.

3.3. POKAZATELJI SVEMIRSKOG VREMENA

Kao što se meteorološko vrijeme na Zemlji proučava i analizira, isto tako je moguće proučavati i vršiti analize svemirskog vremena. Pokazatelji svemirskog vremena dijele se u tri grupacije koje će zasebno biti opisane u svojim potpoglavljima: solarni pokazatelji, geomagnetski pokazatelji, ionosferski pokazatelji.

3.4.1. Solarni pokazatelji

Kao jedan od osnovnih solarnih pokazatelja ističe se broj Sunčevih pjega. Kao što je već spomenuto u prethodnim poglavljima, broj Sunčevih pjega najveći je za vrijeme maksimuma solarnog ciklusa, tj. najmanji za vrijeme minimuma solarnog ciklusa.⁷¹ Znajući prethodnu činjenicu, da se zaključiti kako porastom Sunčeve aktivnosti dolazi do porasta broja Sunčevih pjega. Broj Sunčevih pjega važan je pokazatelj Sunčeve aktivnosti jer govori o poremećajima magnetskog polja koje naposljetku određuje učestalost i intenzitet Sunčevih baklji te koronarnih izbačaja mase, a samim time i pojave geomagnetskih oluja. Broj Sunčevih pjega proporcionalan je sa brojem Sunčevih baklji te brojem geomagnetskih oluja, što znači da kada je broj Sunčevih pjega najveći tada je i broj Sunčevih baklji i broj geomagnetskih oluja također najveći.⁷²

Osim povezanosti sa Sunčevim bakljama i geomagnetskim olujama, broj Sunčevih pjega povezan je i sa solarnim radiozračenjem (SF, engl. *Solar Radio Flux*). Solarno radiozračenje mjeri se na valnoj duljini od 10,7 cm.

3.4.2. Geomagnetski pokazatelji

Geomagnetski pokazatelji opisuju promjenjivost magnetskog polja. Međunarodno udruženje za Geomagnetizam i Aeronomiju izdvojilo je neke od najznačajnijih geomagnetskih pokazatelja od kojih je svaki ukratko opisan u nastavku.

Kp pokazatelj je logaritamski pokazatelj koji pokazuje stanje magnetosfere, a mjeri se u trosatnim vremenskim intervalima. *Kp* pokazatelj je pokazatelj na globalnoj razini te se njegova vrijednost dobije prema prosječnoj vrijednosti *K* pokazatelja za sve opservatorije. Vrijednosti ovog pokazatelja nalaze se na skali od 0 do 9, gdje broj 0 označuje malu geomagnetsku aktivnost, a broj 9 ekstremnu geomagnetsku aktivnost. Valja napomenuti kako se povećanom geomagnetskom aktivnošću smatraju vrijednosti *Kp* pokazatelja 5 i više.⁷³

⁷¹ Vujnović, V.: *Astronomija 2: Metode astrofizike, Sunce, zvijezde i galaksije*, III. izmijenjeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 2010., str. 84

⁷² Vujnović, V.: *Astronomija 2: Metode astrofizike, Sunce, zvijezde i galaksije*, III. izmijenjeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 2010., str. 84

⁷³ Pongračić, B.: *Statistička analiza geometrijskih ionosferskih učinaka na točnost položaja određenog GPS sustava u horizontalnoj ravnini*, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2016., str. 22

S obzirom na to da je Kp pokazatelj logaritamski pokazatelj, njegove vrijednosti se prikazuju pomoću Ap pokazatelja. Vrijednost Ap pokazatelja proporcionalna je s geomagnetskom aktivnošću što znači da porastom Ap pokazatelja dolazi do porasta geomagnetske aktivnosti. Ap pokazatelj mjera je dnevnog prosjeka geomagnetske aktivnosti a računa se kao prosjek osam trosatnih vrijednosti A pokazatelja za svaki dan. A pokazateljem se prikazuju vrijednosti K pokazatelja.

Dst (engl. *Disturbance Storm-Time*) je jednosatno mjereni pokazatelj koji određuje vrijednost prstenaste struje. To je pokazatelj koji opisuje smanjenje horizontalne komponente magnetskog polja na području geomagnetskog ekvatora. Ovaj pokazatelj je izvrstan pokazatelj geomagnetskih oluja, točnije njihovog intenziteta i duljine. Za vrijeme mirnog svemirskog vremena, vrijednost Dst pokazatelja je oko 0, no za vrijeme narušenog svemirskog vremena njegova vrijednost postaje negativna te doseže i nekoliko stotina.

3.4.3. Ionosferski pokazatelji

Među najznačajnije ionosferske pokazatelje svemirskog vremena spadaju ukupni sadržaj elektrona te kritične frekvencije pojedinog ionosferskog sloja.

Ukupni sadržaj elektrona ili kraće TEC, prethodno je detaljnije opisan u poglavlju *Kašnjenje signala*, no ovdje će se samo podsjetiti na činjenicu da je pogreška ionosferskog kašnjenja proporcionalna TEC vrijednosti, a obrnuto proporcionalna frekvenciji satelitskog signala.

Pod pojmom kritična frekvencija podrazumijeva se najviša frekvencija pri kojoj dolazi do odbijanja satelitskog signala od ionosfere. Upravo je ovo mjera gustoće slobodnih elektrona za pojedini sloj ionosfere. Najveća gustoća elektrona postiže se u $F2$ ionosferskom sloju te predstavlja najznačajniji pokazatelj ionosferske aktivnosti. Vrijednosti kritičnih frekvencija ovise o broju Sunčevih pjega, godišnjem dobu te dobu dana.⁷⁴

⁷⁴ Bilitza, D. *Ionospheric Models for Radio Propagation Studies*, In: Stone, W.R., *Review of Radio Science 1999.-2002.*, New York: John Wiley and Sons, 2002.

3.5. UČINCI SVEMIRSKOG VREMENA NA GEOPROSTOR – GEOMAGNETSKE OLUJE

Obično se magnetska oluja sastoji od tri faze: početne, glavne i oporavka. Početna faza rezultira kompresijom magnetosfere uslijed dolaska diskontinuiteta u Sunčevu vjetru (udara, CME-a) na Zemlju. Često oluje započinju naglo i to se naziva iznenadni početak oluje (SSC), ali oluje mogu i postupno početi. Ponekad se dogodi iznenadna promjena magnetskog polja, ali oluja se ne razvija, što se naziva iznenadni impuls (SI). Početna faza oluje obično traje 2-8 sati, tijekom kojih se *Dst* povećava zbog kompresije magnetsfere. Tijekom glavne faze, *Dst* se smanjuje, često više od 100 nT u odnosu na vrijednosti prije oluje. Taj pad se događa jer su magnetske oluje općenito povezane sa južnim međuplanetarnim magnetskim poljem, što omogućuje učinkovito spajanje energije sa Sunčeva vjetra i magnetosfere.

Kao rezultat interakcije Sunčeva vjetra i magnetosfere, magnetska oluja izaziva stvaranje prstenaste struje, koja je zapadna struja koja opasuje Zemlju na ekvatorskim geografskim širinama. Povećana zapadna struja inducira horizontalno magnetsko polje *H* koje je usmjereno prema jugu (suprotno od dipolnog magnetskog polja Zemlje), što rezultira negativnim *Dst* tijekom glavne faze oluje. Oporavna faza, koja može trajati više od jednog dana, je vrijeme kada se *Dst* postupno vraća na svoju vrijednost prije oluje. To se događa jer izvor povećane prstenaste struje slabi i višak čestica se gubi putem nekoliko različitih mehanizama.

Osim *Dst* indeksa, koji se izračunava na niskim geografskim širinama i opisuje prstenastu struju, koriste se i drugi indeksi za opis magnetske aktivnosti. *AE*, *AL* i *AU* indeksi izračunavaju se na auroralnim geografskim širinama i uglavnom opisuju intenzitet auroralnog elektrojeta. *K* indeksi izračunavaju se na svim geografskim širinama i najčešće se koriste od svih indeksa.

Najveći broj geomagnetskih oluja javlja se prilikom maksimalne aktivnosti Sunca te su najvećim dijelom uzrokovane izbacivanjem koronalne mase. Utjecaj geomagnetskih oluja očituje se u cijelom Sunce - Zemlja sustavu kao i u gornjim slojevima Zemljine atmosfere.

Jačina geomagnetskih oluja određuje se s obzirom na vrijednost *Kp* pokazatelja. Danas se geomagnetske oluje dijele u pet kategorija označenih slovom G, a prosječna učestalost im se gleda u odnosu na jedan Sunčev ciklus (1 ciklus = 11 godina).

Geomagnetska oluja kategorije *G1* je najslabija geomagnetska oluja koja se javlja otprilike 1 700 puta za vrijeme jednog ciklusa. *Kp* pokazatelj za vrijeme ovakve oluje iznosi 5.

G1 oluja ima utjecaj na satelite u orbiti te na orijentaciju migratornih životinja. Glede polarne svjetlosti koja je jedan od najboljih vizualnih prikaza geomagnetske oluje, ona se pojavljuje samo na visokim geografskim širinama.

G2 je geomagnetska oluja umjerene jakosti za čijeg pojavljivanja *Kp* pokazatelj iznosi 6. Pojavljuje se otprilike 600 puta za vrijeme jednog ciklusa. Geomagnetske oluje ove kategorije imaju utjecaj na električne mreže kao i na radio sustave visokih frekvencija zbog interakcije radio valova s elektronima u ionosferi. Polarna svjetlost javlja se od polova sve do 55° geografske širine.

Kategorija *G3* predstavlja snažne geomagnetske oluje koje se javljaju 200-tinjak puta za vrijeme jednog ciklusa a za vrijeme njihova trajanja *Kp* pokazatelj ima vrijednost 7. Ovakve oluje izazivaju probleme na satelitima u niskim orbitama, na radio sustavima niskih frekvencija kao i u satelitskoj navigaciji. Polarna svjetlost za vrijeme ovih oluja vidljiva je sve do 50° geografske širine.

G4 predstavlja vrlo snažnu geomagnetsku oluju koja se javlja 100–tinjak puta za vrijeme jednog ciklusa a za čije trajanje *Kp* pokazatelj poprima vrijednost 8. Ovakve oluje nanose štete na električne mreže te cjevovode, a posljedice oluje očituju se i u višesatnom ne funkcioniranju satelitske navigacije nakon završetka oluje. Polarna svjetlost vidljiva je do 45° geografske širine.

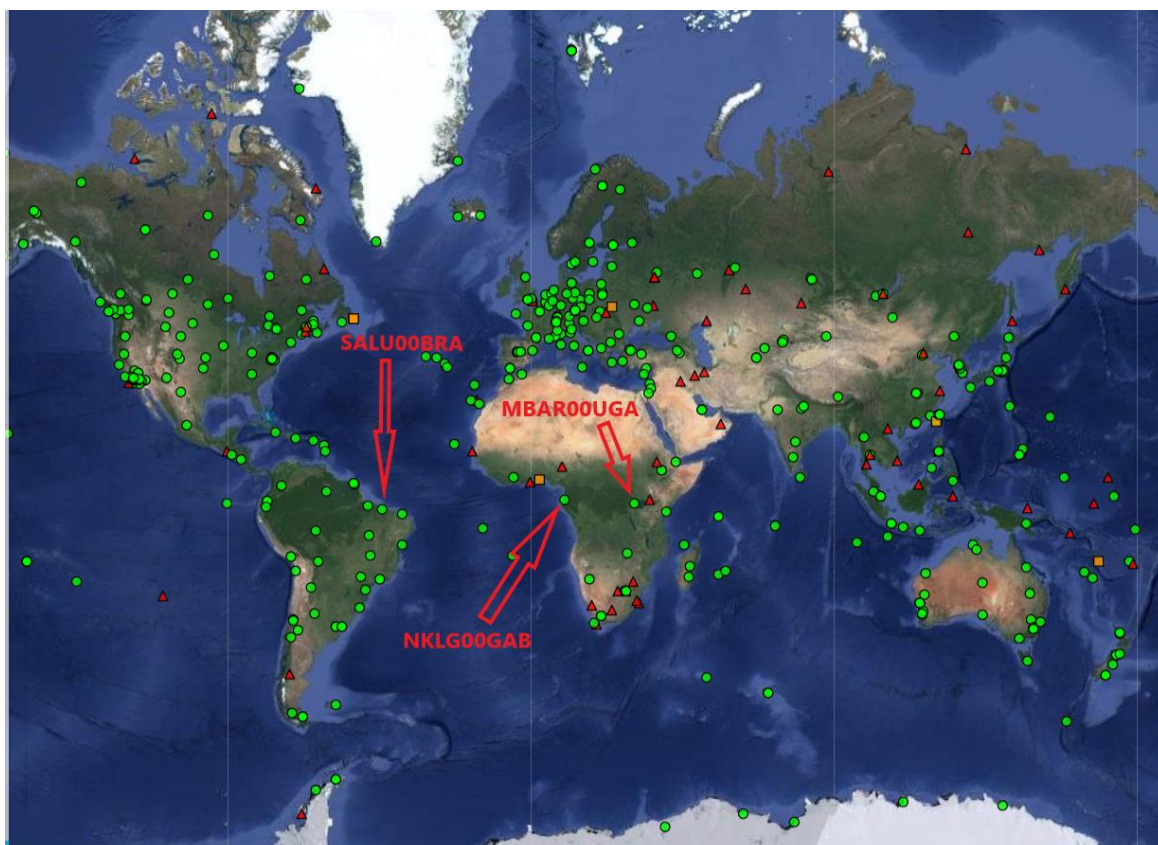
Posljednja i najsnažnija geomagnetska oluja označena je kategorijom *G5* te predstavlja ekstremnu oluju koja se događa svega 4 puta u jednom ciklusu a za vrijeme čijeg trajanja *Kp* pokazatelj poprima maksimalnu vrijednost, 9. Širok je raspon sustava na koje ovakva oluja ima utjecaja a neki od njih su: elektroenergetski sustavi, satelitska navigacija, cjevovodi, radio komunikacije, itd. Polarna svjetlost za vrijeme ovakve geomagnetske oluje vidljiva je na najvećem prostoru, točnije vidljiva je sve do 40° geografske širine.

4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Ovo poglavlje prikazuje korištenu metodologiju prilikom pripreme i provedbe istraživanja te prilikom prikaza i analize rezultata. Prvo će se predstaviti odabrana geografska područja za istraživanje te vremenski period koji je proučavan. Slijedi navođenje izvora podataka zajedno sa postupkom prikupljanja te pripreme i obrade istih. U nastavku su opisani alati koji su korišteni prilikom obrade podataka. Posljednje poglavlje metodologije, opisuje metode obrade i analize podataka dobivenih istraživanjem.

4.1. GEOGRAFSKO PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje diplomskog rada odnosi se na ekvatorijalno područje. Za potrebe istraživanja odabrane su tri referentne IGS (engl. *International GNSS Service*) stanice smještene unutar navedenog područja istraživanja. Svrha IGS mreže je prikupljanje, arhiviranje i distribucija podataka vezanih za GNSS promatranja. Podaci vezani uz GNSS promatranja koriste se u raznim granama kao što su obrazovanje, navigacija, istraživačke svrhe, itd. Uvjeti po kojima su odabrane promatrane stanice su dostupnost podataka te neprekinutost podataka. Na području Brazila odabrana referentna IGS stanica za istraživanje je *SALU00BRA* smještena u Sao Luis-u. Druge dvije stanice nalaze se na afričkom kontinentu, točnije u Gabonu (*NKLG00GAB*) i Ugandi (*MBAR00UGA*).



Slika 17. Prikaz referentnih stanica

Izvor: Izrada autorice prema online: <https://igs.org/network-resources/#downloadable>

U priloženoj tablici navedene su geografske značajke (geografska širina, geografska dužina, nadmorska visina) pojedine istraživane stanice.

Tablica 2. Podaci o referentnim stanicama

OZNAKA STANICE	IME STANICE (DRŽAVA)	GEOGRAFSKA ŠIRINA	GEOGRAFSKA DUŽINA	NADMORSKA VISINA (m)
SALU	SAO LUIS (BRAZIL)	2,5934583333 ° S	44,21247778° W	18,900
NKLG	LIBREVILLE (GABON)	0,353907711° N	9,672126269° E	31,500
MBAR	MBARARA (UGANDA)	0,6014690556° S	30,73787619° E	1337,653

Izvor: Izrada autorice

4.2. VREMENSKI PERIOD ISTRAŽIVANJA

Kao vremenski period istraživanja, proučavan je vremenski period od 14 dana, točnije od 10. ožujka 2015. godine do 24. ožujka 2015. godine što odgovara danima u godini 069. – 082.. Ovaj period izabran je zbog svoje specifičnosti, tj. početak promatranog perioda predstavlja razdoblje mirnih uvjeta svemirskog vremena, zatim dolazi do pojave geomagnetske oluje te smirivanja svemirskog vremena. Podaci iz sva tri razdoblja su promatrani i statistički analizirani. Do narušenih uvjeta svemirskog vremena došlo je zbog nastanka geomagnetske oluje poznate pod nazivom *ST. Patrick's Day 2015 Geomagnetic Storm*.

4.3. IZVORI, PRIKUPLJANJE I PRIPREMA PODATAKA

4.3.1. Izvori podataka o pokazateljima svemirskog vremena

Pokazatelji svemirskog vremena koji su uzeti u obzir u ovom diplomskom radu su:

1. pokazatelji aktivnosti Sunca
2. pokazatelji geomagnetske aktivnosti
3. pokazatelji ionosferske aktivnosti.

Što se pokazatelja aktivnosti Sunca tiče, pokazatelj koji je uzet u obzir je broj Sunčevih pjega za koji je već prethodno spomenuto kako raste s porastom Sunčeve aktivnosti. Podaci o aktivnosti Sunca preuzeti su sa stranice *SpaceWeatherLive.com* u grafičkom i numeričkom obliku.

Kao pokazatelji geomagnetske aktivnosti korišteni su: planetarni pokazatelj *Kp* te pokazatelj *Dst*. Vrijednosti pokazatelja *Kp* preuzete su sa stranice *SpaceWeatherLive.com* u grafičkom obliku dok su vrijedno *Dst* pokazatelja preuzete sa stranice *Geomagnetic Equatorial Dst index Home Page* u grafičkom i numeričkom obliku.

S obzirom na dostupne podatke za referentne stanice za svaku pojedinačno je proračunata vrijednost TEC-a te je prikazana po danima koji su promatrani. Osim tabličnog prikaza TEC vrijednosti, one su prikazane i grafički.

4.3.2. Izvori podataka položajnim zapisima

Izvori podataka koji su se koristili prilikom provedbe istraživanja su javne, besplatne i dostupne baze podataka koje su ovlaštene za distribuciju istih tih podataka. Položajni zapisi (*.pos) za svaki promatrani dan za pojedinu stanicu dobiveni su spajanjem opservacijskih (*.o) i navigacijskih (*.n) datoteka. Opservacijske i navigacijske datoteke preuzete su u RINEX (engl. *Receiver Independent Exchange Format*) formatu. Opservacijske datoteke sadrže podatke o mjerenju vremena, pseudoudaljenostima, faznim mjerenjima i Dopplerovim mjerenjima, a preuzete su s IGS baze podataka. Navigacijske datoteke sadrže navigacijsku poruku koja se sastoji od predviđenih efemerida satelita, ispravki satelitskog sata, informacija o statusu sustava te ionosferskog modela ispravki, a preuzete su s NGS-CORS (engl. *National Geodetic Survey – Continuously Operating Reference Station*) baze podataka. Obrada opservacijskih datoteka i navigacijskih datoteka te njihova pretvorba u položajne zapise obavljena je uz pomoć programskog paketa RTKLIB.

Prije spajanja opservacijskih i navigacijskih datoteka potrebno je namjestiti odabrane parametre. Za potrebe ovoga diplomskog rada, položajni zapisi dobiveni su pomoću jednofrekvencijskog određivanja položaja kod kojega se koriste GPS signali na frekvenciji L1. Kod jednofrekvencijskog određivanja položaja, položaj prijemnika određuje se temeljem trenutka prijema GPS signala.⁷⁵

Programski alat RTKLIB kod obrade RINEX datoteka u slučaju jednofrekvencijskog određivanja položaja, korisnikov položaj određuje pomoću metode najmanjeg kvadrata (engl. *Least Squares Estimation*). Metoda najmanjeg kvadrata definira parametar vektora x za određeni vremenski trenutak kao⁷⁶:

$$x = (r_r^T, cdt_r)^T \quad (14)$$

gdje je:

r_r^T – položaj prijamničke antene u određenom trenutku

c – brzina svjetlosti (m/s)

⁷⁵ Takasu, T.: RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, 2011., https://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/GPS_RTKLIB_Seminor_1.pdf

⁷⁶ Ibidem

dt_r – pogreška korisničkog sata (s)

Vektor mjerenja pseudoudaljenosti y može se prikazati kao⁷⁷:

$$y = (P_r^1, P_r^2, P_r^3, \dots, P_r^n)^T \quad (15)$$

gdje su:

$P_r^1, P_r^2, P_r^3, \dots, P_r^n$ - izmjerene pseudoudaljenosti (m)

Prilikom jednofrekvencijskog određivanja položaja potrebno je odrediti jednadžbu i matricu njezine parcijalne derivacije⁷⁸:

$$h(x) = \begin{pmatrix} \rho_r^{s_1} + cdt - cdT^{s_1} + I_r^{s_1} + T_r^{s_1} \\ \rho_r^{s_2} + cdt - cdT^{s_2} + I_r^{s_2} + T_r^{s_2} \\ \rho_r^{s_3} + cdt - cdT^{s_3} + I_r^{s_3} + T_r^{s_3} \\ \dots \\ \rho_r^{s_m} + cdt - cdT^{s_m} + I_r^{s_m} + T_r^{s_m} \end{pmatrix} H = \begin{pmatrix} -e_r^{s_1^T} \\ -e_r^{s_2^T} \\ -e_r^{s_3^T} \\ \dots \\ -e_r^{s_m^T} \end{pmatrix} \quad (16)$$

gdje je:

ρ_r^n – geometrijska udaljenost između satelita i korisničke antene (m)

c – brzina svjetlosti (m/s)

dt_r – pogreška korisničkog sata (s)

dT – pogreška korisničkog sata (s)

I_r – ionosfersko kašnjenje (m)

T_r – troposfersko kašnjenje (m)

⁷⁷ Takasu, T.: RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, 2011., https://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/GPS_RTKLIB_Seminor_1.pdf

⁷⁸ Ibidem

e_r – vektori vidljivih satelita

Prethodno definirana jednadžba omogućuje RTKLIB-u da koristeći metodu najmanjeg kvadrata odredi procijenjeni položaj prijamnika. Prilikom prve iteracije parametar x_0 jednak je 0 koja predstavlja prvu epohu (trenutak) prijema prvog satelitskog signala. Iterativni postupak se ponavlja te se svaka sljedeća iteracija nadovezuje i koristi rezultate prethodne iteracije.⁷⁹

Kut maskiranja postavljen je na 15° što u prijevodu znači da RTKLIB kada stvara položajne zapise, u obzir ne uzima GPS satelite čiji se kutovi elevacije manji od postavljenih 15° .

Za potrebe ovoga diplomskog rada, podaci za period istraživanja obrađeni su s uključenom ispravkom ionosferskoga kašnjenja te s isključenom ispravkom ionosferskog kašnjenja. Ispravka ionosferskog kašnjenja postavlja se unutar opcije *Broadcast* u RTKLIB-u. Za ispravku ionosferskog kašnjenja unutar RTKLIB-a korišten je Klobucharov model koji je unutar samog programskog alata definiran kao:⁸⁰

$$I_r^s = \begin{cases} F \cdot 5 \cdot 10^{-9}, (|x| > 1,57) \\ F \cdot \left(5 \cdot 10^{-9} + \sum_{n=1}^4 a_n p_m^n \cdot \left(1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{24} \right) \right), (|x| < 1,57) \end{cases} \quad (17)$$

gdje je:

I_r^s – ionosfersko kašnjenje

F – faktor nagiba (engl. *Slant Factor*)

x – faktor

a_n – četiri koeficijenta odaslana sa satelita prema korisniku

p_m^n – geomagnetska širina korisnika

⁷⁹ Takasu, T.: RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, 2011., https://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/GPS_RTKLIB_Seminor_1.pdf

⁸⁰ Ibidem

Faktor nagiba (F) izračunava se pomoću sljedeće formule:⁸¹

$$F = 1 + 16 \cdot (0.53 - El)^3 \quad (18)$$

gdje je:

El – kut elevacije satelita

Faktor x izračunava se na sljedeći način:⁸²

$$x = \frac{2\pi(t - 50400)}{\sum_{n=0}^3 \beta_n \varphi_m^n} \quad (19)$$

gdje je:

t – vrijeme

β_n – četiri koeficijenta odaslana sa satelita prema korisniku

Usporedbom procijenjenih položaja dobivenih s uključenom ionosferskom ispravkom te procijenjenih položaja dobivenih s isključenom ionosferskom ispravkom moguće je utvrditi učinkovitost samog Klobucharovog modela.

Još jedan od alata koji je korišten kako bi se podaci pripremili za obradu je *Notepad++*. Nakon pripreme podataka u navedenom alatu, može se krenuti na obradu podataka u programskom jeziku RStudio. RStudio je programski jezik koji nudi mogućnost obrade podataka, grafičko iscrtavanje i prikaz rezultata te statističku obradu.⁸³ Valja napomenuti kako je za potrebe obrade podataka, iste podatke bilo potrebno pretvoriti iz lučkih jedinica u metre. Pretvorba je izvršena unutar RStudia prilikom proračuna položajnih odstupanja geografske širine i geografske duljine. Položajna odstupanja zapravo su razlika između referentnih vrijednosti koordinata i vrijednosti koordinata prema podacima iz položajnih zapisa:

⁸¹ Takasu, T.: RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, 2011., https://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/GPS_RTKLIB_Seminor_1.pdf

⁸² Ibidem

⁸³ RStudio, What is R? online: http://mercury.webster.edu/aleshunus/R_learning_infrastructure/Introduction_to_R_and_RStudio.html

$$\Delta\varphi = \varphi_{ref} - \varphi_{pos} \quad (20)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_{ref} - \lambda_{pos} \quad (21)$$

gdje je:

$\Delta\varphi$ – vrijednost odstupanja geografske širine

φ_{ref} – referentna vrijednost geografske širine

φ_{pos} – vrijednost geografske širine prema podacima iz položajnih zapisa

$\Delta\lambda$ – vrijednost odstupanja geografske duljine

λ_{ref} – referentna vrijednost geografske duljine

λ_{pos} – vrijednost geografske duljine prema podacima iz položajnih zapisa

Vrijednost nadmorske visine već je izražena u metrima tako da ona ne zahtjeva dodatne pretvorbe.

Nakon određivanja položajnih odstupanja, potrebno je odrediti pretvorbeni koeficijent k :

$$k = \cos\left(\rho_{pos} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \quad (22)$$

Nakon što je proračunat pretvorbeni koeficijent, dolazi se do pretvorbe odstupanja iz lučkih jedinica u metre:

$$\varphi_m = \Delta\varphi \cdot 60 \cdot 1852 \quad (23)$$

$$\lambda_m = \Delta\lambda \cdot 60 \cdot 1852 \cdot k \quad (24)$$

gdje je:

φ_m – vrijednost odstupanja geografske širine u metrima

λ_m – vrijednost odstupanja geografske duljine u metrima

$\Delta\varphi$ – vrijednost odstupanja geografske širine u stupnjevima

$\Delta\lambda$ – vrijednost odstupanja geografske duljine u stupnjevima

Temeljem rezultata dobivenih obradom podataka iznijeti su zaključci koji su predstavljeni u sljedećem poglavlju *Rezultati*.

5. REZULTATI

Unutar ovoga poglavlja bit će opisani pokazatelji svemirskog vremena te svi rezultati koji su dobiveni vezano uz sve tri stanice za period od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.. Rezultati su prikazani pomoću nekoliko grafičkih prikaza:

- vremenski niz,
- histogram,
- dijagram rasipanja,
- reziduali.

Vremenski nizovi predstavljaju skup kronoloških vrijednosti koje predstavljaju određenu pojavu u periodu vremena. Na osi apscisa nalazi se mjerilo za obilježje (konkretno u ovom radu to je četrnaestodnevni period vremena) dok se na osi ordinata nalazi mjerilo za frekvencije (u konkretnom radu to su odstupanja položaja u metrima).

Histogrami, koji se još nazivaju i površinski grafikoni, predstavljaju raspodjelu frekvencija određene varijable. Za potrebe ovog diplomskog rada, na osi apscisa nalaze se numeričke vrijednosti odstupanja u metrima dok se na osi ordinata nalazi frekvencija, tj. učestalost pojave.

Dijagram rasipanja grafički prikazuje odnos nezavisne i zavisne varijable pomoću kojih se donose zaključci o njihovoj međusobnoj korelaciji. Glavni razlog korištenja ove vrste grafičkog prikaza je jednostavniji vizualni prikaz.

Zadaća reziduala je pokazati razliku odstupanja modeliranih vrijednosti od odstupanja nemodeliranih vrijednosti. Što je manja vrijednost između modeliranih i nemodeliranih vrijednosti to je veća učinkovitost ionosferskog modela ispravke. Ako rezidual iznosi nula to znači da nema razlike između vrijednosti.

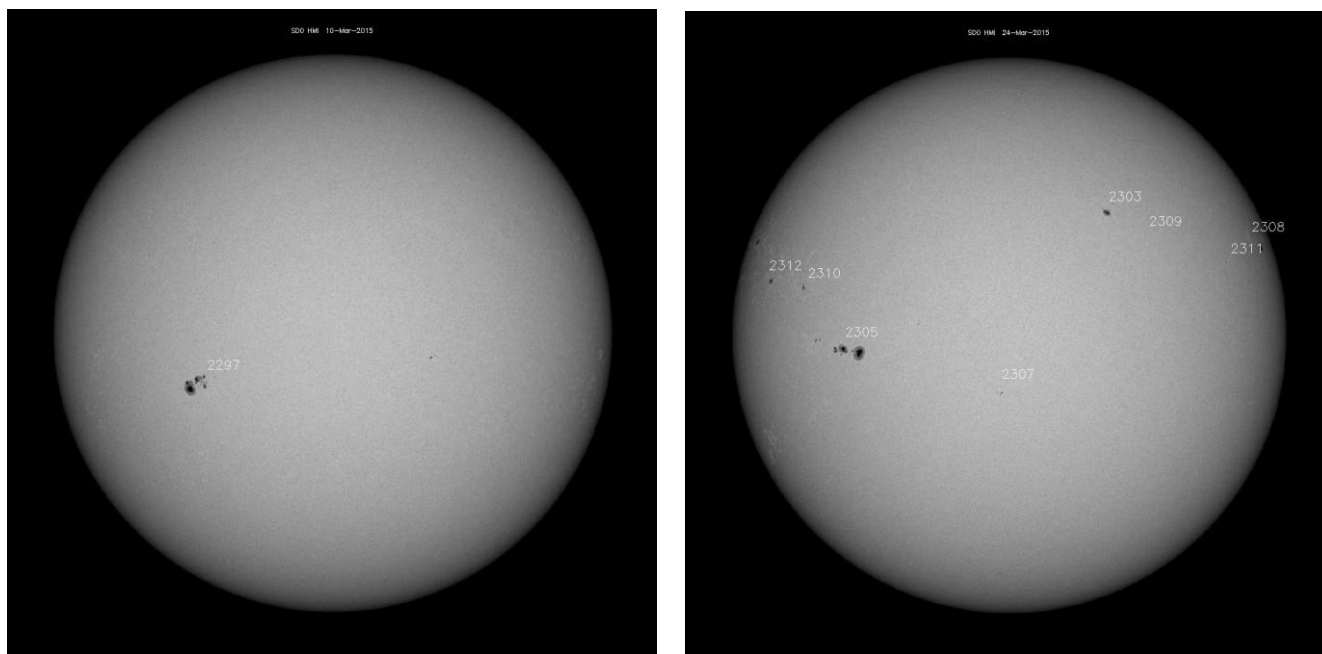
Analizirajući dobivene rezultate, vidljivo je kako se ovaj dvotjedni period može podijeliti s obzirom na stanje svemirskog vremena i to na tri razdoblja:

- razdoblje mirnog svemirskog vremena (10. ožujka do 16. ožujka) ,
- razdoblje geomagnetske oluje (17. ožujka do 19. ožujka) ,
- razdoblje smirivanja svemirskog vremena (20. ožujka do 24. ožujka).

5.1. POKAZATELJI SVEMIRSKOG VREMENA

Što se pokazatelja aktivnosti Sunca tiče, pokazatelj Sunčeve aktivnosti u ovom radu je broj Sunčevih pjega.. Slika lijevo prikazuje stanje Sunčevih pjega na dan 10. ožujka 2015. godine. Prema službenim podacima broj Sunčevih pjega na navedeni datum iznosio je 42. Na desnoj slici prikaz je Sunčevih pjega na dan 24. ožujka 2015. godine. Službeni podaci govore kako je broj Sunčevih pjega tada bio 127 što je znatno povećanje u odnosu na 10. ožujka.

Iz podataka i slikovnih prikaza je vidljivo kako je došlo do porasta broja Sunčevih pjega što znači da je došlo i do porasta Sunčeve aktivnosti. Već je prije navedeno da porastom broja Sunčevih pjega dolazi do porasta broja Sunčevih baklji a samim tim i geomagnetskih oluja. Već gledajući samo podatke o broju Sunčevih pjega da se zaključiti kako je u promatranom periodu došlo do značajnog narušavanja svemirskog vremena.

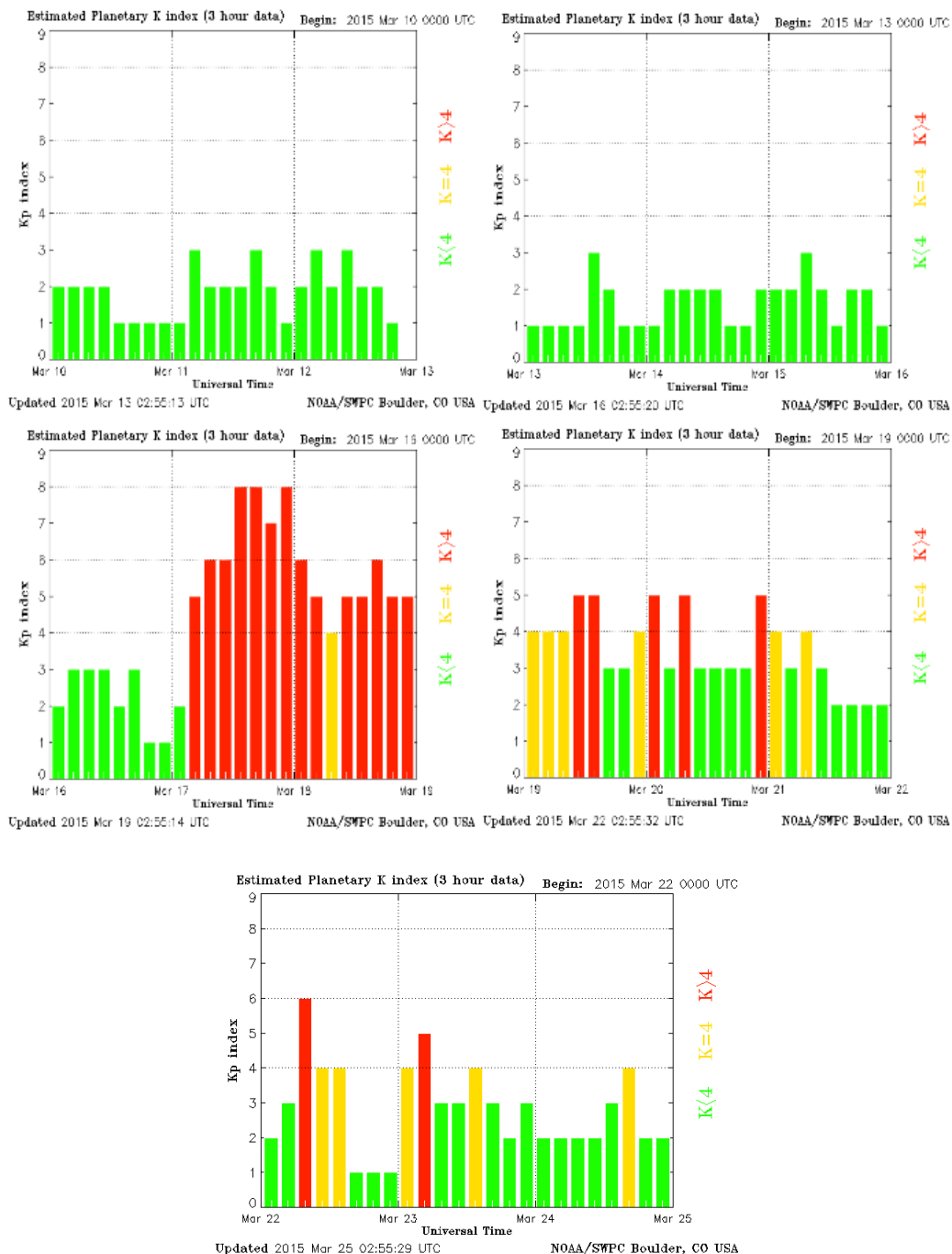


Slika 18. Prikaz Sunčevih pjega dana 10. ožujka 2015. (lijevo) i 24. ožujka 2015. (desno)

Izvor: <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive/2015/03/10/dayobs.html>
<https://www.spaceweatherlive.com/en/archive/2015/03/24/dayobs.html>

Vrijednosti K_p pokazatelja prikazane su na sljedećim grafikonima. Na prva dva grafikona (prvi red) prikazani su dani 10. ožujka do 16. ožujka za vrijeme kojih traje mirno razdoblje te K_p ne prelazi vrijednosti veće od 3. Sljedeća dva grafička prikaza (drugi red) prikazuju dane od 16. ožujka do 22. ožujka gdje je vidljiv skok K_p pokazatelja što ukazuje na narušeno svemirsko vrijeme, tj. na pojavu geomagnetske oluje. Iz K_p pokazatelja čija je vrijednost dostizala i 8

zaključuje se kako se ovdje radilo o vrlo snažnoj geomagnetskoj oluji. Ovakve oluje označene su oznakom *G4*, a njihovo sveukupno pojavljivanje u jednom solarnom ciklusu od 11 godina je otprilike 60 dana. Na posljednjem grafičkom prikazu vidljivo je padanje vrijednosti *Kp* pokazatelja, a samim tim i smirivanja svemirskog vremena.



Slika 19. Grafički prikaz vrijednosti *Kp* pokazatelja u periodu od 10. ožujka 2015. do 24. ožujka 2015.

Izvor: <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive/2015/03/10/kp.html>

Na sljedećem prikazu prikazano je kretanje *Dst* pokazatelja kroz mjesec ožujak 2015.g. U danima prije oluje vidljivo je kako je vrijednost bila pozitivna te je na dan oluje naglo pala ispod 0. Ovakvo kretanje *Dst* pokazatelja uobičajeno je za vrijeme geomagnetskih oluja. Na dan oluje, vrijednost je pala na -234. U danima nakon oluje, vidljivo je kako se vrijednosti pokazatelja postepeno vraćaju na vrijednosti koje su uobičajene za mirnog svemirskog vremena.



Slika 20. Prikaz vrijednosti *Dst* pokazatelja za period od 10. ožujka 2015. do 24. ožujka 2015.

Izvor: https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/201503/index.html

Ukupni sadržaj elektrona za pojedinu stanicu dobiven je koristeći programski alat GPS Gopi. Ulazni podaci za navedeni alat su komprimirane opservacijske datoteke (*.o). Kako bi se provela kompresija navedenih datoteka koristi se namjenski softver CRXRNX. Kada su datoteke komprimirane, učitavaju se u GPS Gopi te je rezultat alata datoteka (*.std) koja sadrži minutne uzorke vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona.

U tabličnom prikazu prikazane su vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona po danima radi lakšeg praćenja oscilacija samih vrijednosti. Vrijednosti su podijeljene u boje ovisno o razdoblju u kojem se određeni dan nalazi (mirno razdoblje svemirskog vremena, geomagnetska oluja, razdoblje smirivanja svemirskog vremena). Zbog nedostatka podataka, TEC vrijednosti za stanicu NKLK nisu proračunate.

TEC vrijednosti za stanicu SALU prve su prikazane. Iz prikaza je vidljivo kako su se minimalne vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona prije geomagnetske oluje nalazile u rasponu od 2,08 do 2,45 TEC jedinica. Dolaskom geomagnetske oluje ta vrijednost doseže 3,06 TEC jedinica te se zatim vraća u interval u kojem je bila i prije oluje. Isto je vidljivo i u maksimalnim

vrijednostima, koje su se u danima prije oluje kretale između 55 i 65 TEC jedinica, dok su za vrijeme geomagnetske oluje skočile na 81,56 TEC jedinica. Period nakon oluje vrijednosti padaju te se nalaze između 63 i 72 TEC jedinica.

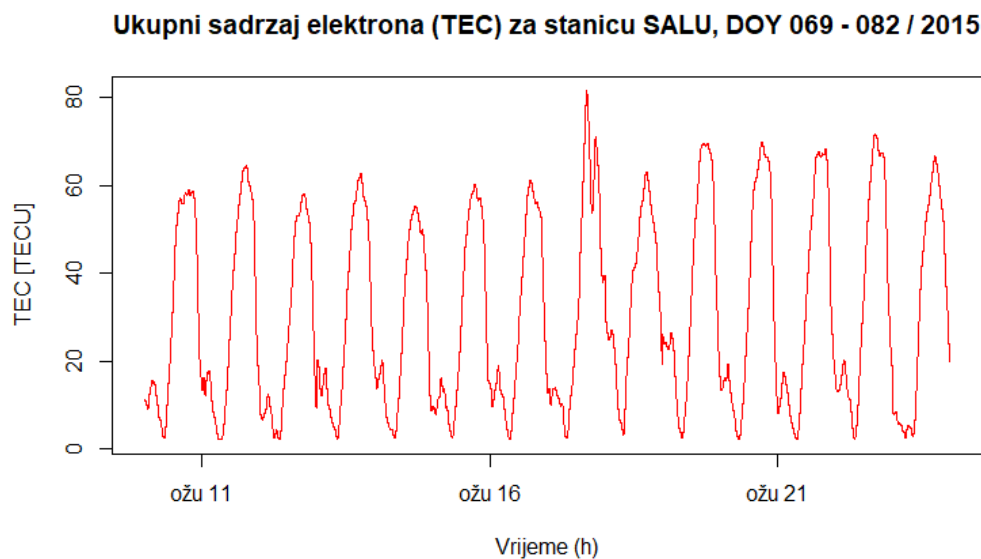
Gledajući srednje vrijednosti TEC-a, za usporedbu će se uzeti jedan dan iz svakog razdoblja. Na 71 dan u godini srednja vrijednost TEC-a iznosila je 26,8328 što bi odgovaralo pogrešci od 4,36 metara. Za vrijeme geomagnetske oluje, točnije na 78 dan u godini, TEC vrijednost je iznosila 35,7349 što je ekvivalent pogrešci u određivanju udaljenosti od 5,80 m. Za razdoblje smirivanja svemirskog vremena kao primjer uzet je dan 82 kada je TEC vrijednost bila 31,5118 što odgovara pogrešci od 5,12 m.

U tablici je vidljivo kako su sve vrijednosti manje u razdoblju prije geomagnetske oluje te dosežu svoj vrhunac za vrijeme magnetske oluje. U razdoblju smirivanja svemirskog vremena, vrijednosti su niže od onih za vrijeme trajanja oluje no i dalje su veće od vrijednosti koje su bile prije oluje. Na grafičkom prikazu vidljiva je razlika u prikazu na dan oluje i na ostale dane.

Tablica 3. Prikaz ukupnog sadržaja elektrona (TEC) po danima za stanicu SALU

DAY	MIN	1stQu	Median	Mean	3rdQu	MAX
069	2,32	12,6525	22,31	30,8728	55,97	58,92
070	2,08	8,6775	21,11	30,0291	55,2625	64,5
071	2,17	8,425	19,96	26,8328	50,86	58,03
072	2,25	12,0675	22,445	30,0916	53,3725	62,75
073	2,36	9,14	19,75	26,9342	48,575	55,24
074	2,45	10,9225	18,74	28,9880	52,765	60,32
075	2,12	12,3	20,705	29,3918	53,715	61,27
076	2,34	11,825	28,805	34,4045	57,615	81,56
077	3,06	21,955	34,1	34,4833	51,0175	63,2
078	2,35	15,4975	26,365	35,7349	61,8375	69,64
079	2,05	11,195	23,27	33,3851	61,6275	69,93
080	2,19	12,405	24,245	32,7077	59,245	68,41
081	2,12	12,9775	25,615	34,2822	61,8975	71,71
082	2,37	5,52	32,565	31,5118	54,98	66,64

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiu



Slika 21. Grafički prikaz ukupnog sadržaja elektrona (TEC) po danima za stanicu SALU

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudios

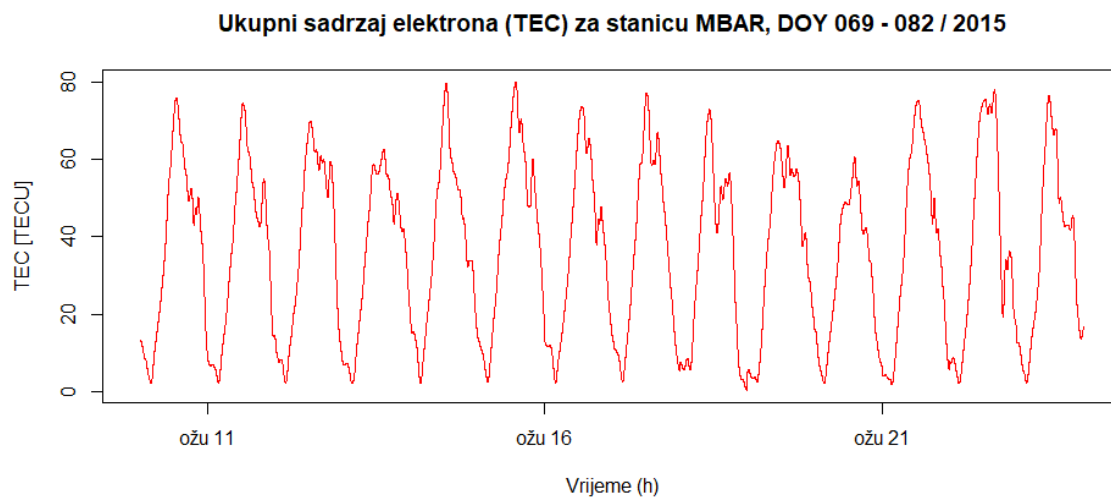
Gledajući grafički prikaz za stanicu MBAR, ne može se zaključiti kada je došlo do geomagnetske oluje. Kod ove stanice minimalna vrijednost je dosegnuta za vrijeme trajanja geomagnetske oluje, ali maksimalna nije. Minimalne TEC vrijednosti u danima prije oluje kreću se između 2,14 i 2,35 TEC jedinica. Za vrijeme oluje ta vrijednost pada na 0,46 TEC jedinica te se u narednim danima nakon oluje vraća na vrijednosti koje se kreću oko 2 TEC jedinice. Maksimalne vrijednosti kod ove stanice dosegnute su u razdoblju prije geomagnetske oluje, a vrijednosti za vrijeme same oluje su nešto manje.

Ako se gledaju srednje vrijednosti, u danima koji su prethodili oluji, točnije 74 dana u godini, TEC vrijednost je bila 41,5752 što odgovara pogrešci u određivanju položaja od 6,75 m. Za vrijeme oluje ta je vrijednost nešto manja te je ona ekvivalentna pogrešci od 6,17 m. U razdoblju smirivanja svemirskog vremena vrijednost pogreške u određivanju položaja iznosila je 5,91 m.

Tablica 4. Prikaz ukupnog sadržaja elektrona (TEC) po danima za stanicu MBAR

	MIN	1stQu	Median	Mean	3rdQu	MAX
069	2,21	12,955	42,985	37,4372	55,7925	75,89
070	2,29	14,16	41,555	36,4793	53,82	74,46
071	2,35	11,89	42,255	37,1696	59,28	69,91
072	2,14	18,715	42,1	36,9367	55,6025	62,61
073	2,32	16,455	34,77	37,8138	54,92	79,72
074	2,5	18,6375	47,18	41,5752	59,9225	79,85
075	2,29	14,485	38,38	36,7632	56,555	73,67
076	2,53	10,6775	35,85	36,3008	59,04	77,17
077	0,46	7,11	38,76	33,2363	53,095	72,83
078	2,49	19,3425	40,67	37,9678	56,65	64,71
079	2,26	10,3375	32,285	29,7866	48,18	60,52
080	1,82	11,625	40,69	37,5816	60,8775	75,13
081	2,15	16,815	33,695	39,0737	70,3775	77,99
082	2,34	15,4225	41,925	36,4177	50,555	76,34

Izvor: Izradila studentica prema podacima dobivenim u RStudiu



Slika 22. Grafički prikaz ukupnog sadržaja elektrona (TEC) po danima za stanicu MBAR

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiu

5.2. Odstupanja položaja za stanicu Sao Luis, Brazil (SALU)

Dolje prikazani grafikoni prikazuju odstupanja za modelirane i ne modelirane zapisa za stanicu Sao Luis u Brazilu u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.. Gledajući samo grafičke prikaze ne može se točno razaznati kada je oluja nastupa stoga su priloženi i tablični prikazi odstupanja.

Na prvom prikazu modeliranih vrijednosti vidljivo je kako najveća odstupanja ima nadmorska visina (zelena boja) te se ona nalaze u rasponu od 10 do -25 metara. Maksimalna vrijednost koja je dosegnuta iznosi 9,8395 metara, dok je minimalna -25,2483 metara. Odstupanja geografske širine (crvena boja) nalaze se u rasponu od 4 do -6 metara. Maksimalna vrijednost odstupanja geografske širine iznosi 3,6355 metara, a minimalna -6,0102 metra. Maksimalna vrijednost odstupanja geografske duljine (plava boja) iznosi 5,6779 metara, dok minimalna iznosi -4,2184 metra.

Drugi prikaz su odstupanja za nemodelirane zapise gdje je odmah vidljivo kako nadmorska visina i dalje ima najveća odstupanja. Maksimalno odstupanje nadmorske visine iznosilo je 4,0141 metara, dok je minimalno iznosilo -38,2258 metara. Što se odstupanja geografske širine i geografske duljine tiče, geografska širina imala je nešto veća odstupanja. Maksimalna vrijednost odstupanja geografske širine iznosi 7,1284 metara, dok minimalna iznosi 6,4696 metara. Maksimalna vrijednost odstupanja geografske duljine iznosi 5,0237 metara, dok minimalna iznosi -5,1861 metara.

Iz usporednog prikaza modeliranih i nemodeliranih vrijednosti vidljivo je kako se uključivanjem ionosferskog modela ispravki odstupanja ne uklanjaju u potpunosti već su ona znatno manja. I kod jednog i kod drugog prikaza vidljivo je kako nadmorska visina ima najveća odstupanja.

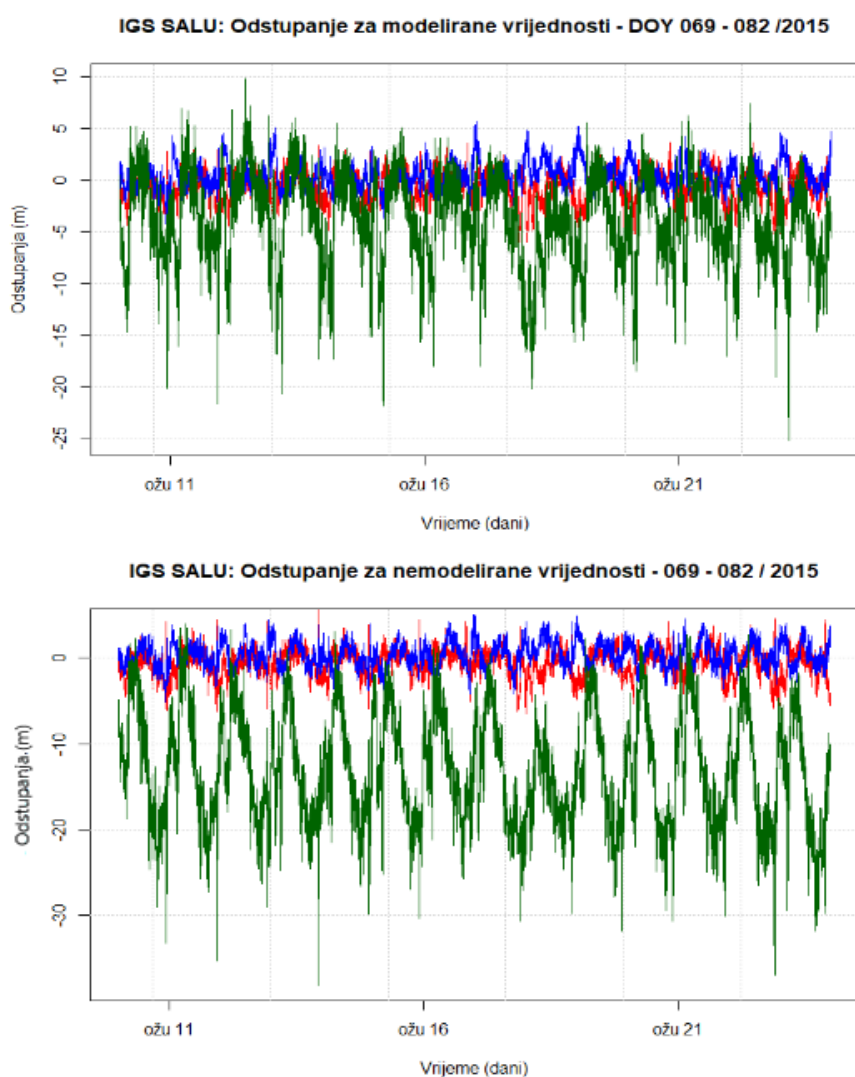
Tablica 5. Vrijednosti modeliranih zapisa za stanicu SALU u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.

MODELIRANI ZAPISI ZA STANICU SALU			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-6,01018077601292	-4,21843482255073	-25,2483
1st Qu.	-1,5078206159956	-0,574684567055447	-6,6796
Median	-0,350283576015791	0,216262248810439	-3,57355
Mean	-0,594876863247515	0,307541054262491	-4,01997558035714
3rd Qu.	0,399943103979474	1,04339708145476	-0,763525
Max.	3,63547970398045	5,67798853905615	9,8395
sd	1,39487739898653	1,27329402801853	4,29194366806256

Tablica 6. Vrijednosti nemodeliranih zapisa za stanicu SALU u periodu 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.

NEMODELIRANI ZAPISI ZA STANICU SALU			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-6,46955085602404	-5,18607573293512	-38,2258
1st Qu.	-1,58907711601991	-0,712637502734896	-18,507075
Median	-0,371229696021729	0,306565780085682	-13,5771
Mean	-0,613642187104572	0,360384138797683	-13,1471317311508
3rd Qu.	0,425334024007746	1,39076318418802	-8,04615
Max.	7,12842578401094	5,0237180878394	4,0141
sd	1,49915409605541	1,4219229616308	6,52082442095352

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStuidiu



Slika 23. Modelirani zapisi (gore) i nemodelirani zapisi (dolje) za stanicu SALU u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015.g.

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStuidiu

Iako na grafičkim prikazima to nije toliko uočljivo, u tabličnom je ipak vidljiva promjena vrijednosti ovisno o danu. Zbog količine podataka, ovdje će se gledati i uspoređivati srednje vrijednosti odstupanja geografske širine, geografske duljine i nadmorske visine za modelirane vrijednosti.

Srednja vrijednost odstupanja geografske širine je tijekom cijelog perioda istraživanja negativna. U razdoblju prije geomagnetske oluje srednje vrijednosti se nalaze između - 97 i – 11 centimetara, dok za vrijeme geomagnetske oluje te vrijednosti prelaze 1 m. U razdoblju nakon oluje, srednja vrijednost se ponovno vraća na niže vrijednosti. Može se zaključiti kako srednja vrijednost odstupanja nije imala toliko velike oscilacije tijekom promatranog perioda.

Srednja odstupanja geografske duljine u razdoblju prije pojave geomagnetske oluje variraju između pozitivnih i negativni vrijednosti ali sve unutar 30 cm. Za vrijeme geomagnetske oluje dolazi do značajnog porasta ovih vrijednosti te one u ovom periodu prelaze i 1 m. Vidljivo je kako je za vrijeme trajanja geomagnetske oluje došlo do značajnog porasta srednje vrijednosti odstupanja geografske duljine.

Što se srednje vrijednosti odstupanja nadmorske visine tiče, ovdje je situacija ista kao i kod ostalih koordinata. U razdoblju prije oluje srednje vrijednosti su niže, zatim se dolazi do perioda trajanja oluje gdje dolazi do značajnog porasta srednje vrijednosti odstupanja te ovdje dosežu čak i -6,8718 metara. U razdoblju nakon geomagnetske oluje vrijednosti se snižavaju.

Tablica 7. Prikaz odstupanja po danima za stanicu SALU u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.

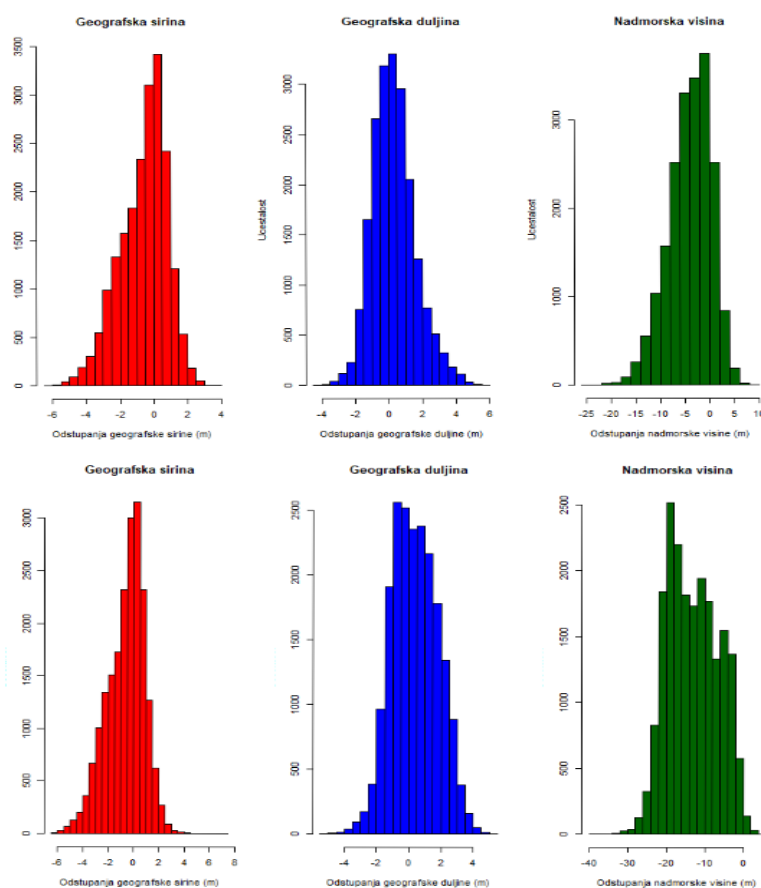
PRIKAZ ODSUPANJA MODELIRANIH VRIJEDNOSTI PO DANIMA ZA STANICU SALU														
	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080	081	082
lat_m_min	-5,65726	-5,4022	-5,78483	-4,28015	-5,2411	-3,28641	-5,74871	-6,0102	-6,00996	-4,6551	-5,2509	-4,9471	-5,29657	-5,2795
lat_m_1stQ	-1,72067	-1,4493	-1,21358	-1,26889	-1,9202	-1,21749	-0,79385	-1,1745	-2,03539	-1,8719	-1,0838	-1,1722	-2,18235	-2,0075
lat_m_median	-0,77960	-0,3025	-0,47963	0,01919	-0,2840	-0,08348	0,03469	-0,1807	-0,81715	-0,1028	-0,0627	-0,3339	-0,92050	-0,5271
lat_m_mean	-0,97333	-0,5662	-0,66648	-0,22534	-0,6654	-0,27172	-0,11838	-0,5749	-1,03581	-0,5281	-0,3381	-0,4333	-1,09672	-0,8346
lat_m_3rdQ	-0,06176	0,4677	0,04242	0,72850	0,4647	0,59629	0,58843	0,3687	0,04719	0,6673	0,4861	0,5579	-0,02884	0,2002
lat_m_max	2,83075	2,9416	1,87034	3,37168	2,9901	2,77563	3,56225	2,5286	2,26804	2,5511	3,6355	2,8754	3,62548	2,7785
lon_m_min	-4,2184	-2,1477	-3,7936	-2,752043	-3,24358	-3,70659	-3,2424	-3,3287	-1,5504	-2,0740	-2,5730	-2,5836	-2,9459	-3,0912
lon_m_1stQ	-0,8716	-0,5163	-0,4870	-0,730176	-0,81080	-0,68297	-0,5172	-0,7521	0,1471	-0,2210	-0,5442	-0,4313	-0,5898	-0,6929
lon_m_median	-0,2898	0,1108	0,2332	-0,001976	-0,07358	0,08777	0,4631	0,2548	0,9140	0,5707	0,1252	0,2572	0,2996	0,1958
lon_m_mean	-0,2876	0,2792	0,4287	0,279154	-0,09225	-0,05979	0,4682	0,2494	1,0254	0,6913	0,2029	0,3690	0,2963	0,4555
lon_m_3rdQ	0,4496	0,8892	1,1359	1,029577	0,62596	0,69631	1,4427	1,0533	1,8498	1,4032	0,8137	1,0814	1,1628	1,4586
lon_m_max	1,8151	4,3406	4,5351	5,085327	3,25961	2,60945	5,2239	5,6780	4,7806	5,2062	3,9383	4,2560	3,9806	4,6845
h_m_min	-20,1025	-21,7058	-14,6078	-20,7018	-17,3110	-21,87340	-17,9955	-18,0228	-20,2703	-15,5564	-18,526	-17,020	-19,107	-25,248
h_m_1stQ	-6,6387	-6,5538	-3,0581	-4,9595	-6,2919	-6,76222	-5,2573	-7,1884	-9,1653	-6,9894	-6,643	-5,772	-7,191	-8,094
h_m_median	-4,0588	-4,0723	-1,1180	-1,7229	-3,0632	-2,68220	-2,5819	-3,2857	-5,7779	-3,4198	-4,548	-3,501	-4,893	-5,362
h_m_mean	-3,7220	-3,5825	-1,7924	-2,7716	-3,9133	-3,64482	-3,2642	-4,2135	-6,8718	-3,9753	-4,498	-3,590	-4,682	-5,757
h_m_3rdQ	0,1677	-0,4833	0,8991	0,6416	-0,9541	0,02245	-0,6892	-0,4178	-3,8353	-0,5181	-1,103	-1,491	-1,559	-2,820
h_m_max	5,2098	6,9390	9,8395	6,0616	5,5031	5,13430	4,1739	3,3969	0,4597	5,5597	4,490	6,291	7,419	2,600

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiu

Sljedeći prikaz prikazuje histograme odstupanja modeliranih i nemodeliranih vrijednosti.

Kod modeliranih zapisa najveća odstupanja ima geografska širina kod koje se odstupanja od 2 metra pojavljuju čak 3500 puta. Najveći broj odstupanja nalazi se između – 2 i 2 metra što je slučaj i kod odstupanja geografske duljine samo što je njihov broj pojavljivanja manji u odnosu na odstupanja geografske širine. Odstupanja nadmorske visine najučestalija su između -10 i 2 metra.

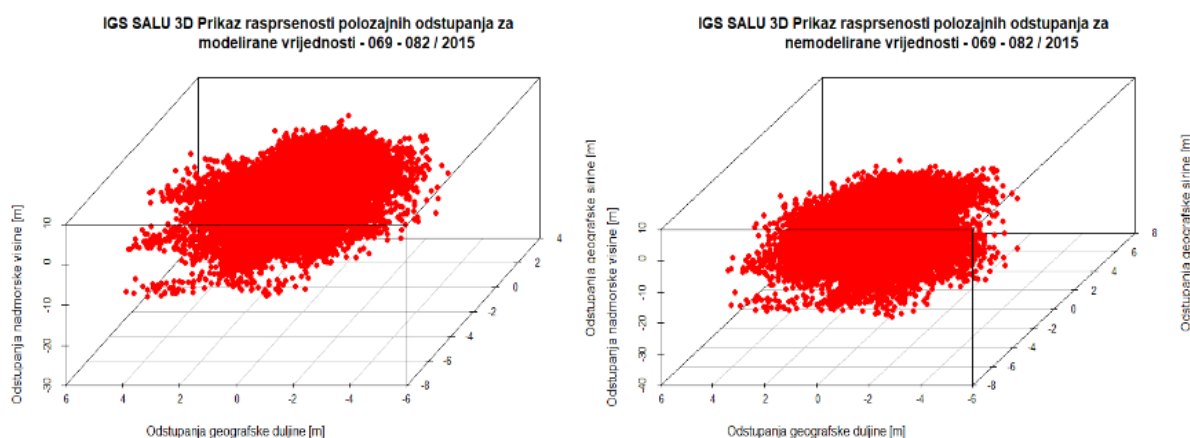
Što se nemodeliranih zapisa tiče, geografska širina i dalje ima najveći broj odstupanja te se onaj i dalje nalazi u rasponu od -2 do 2 metra. Broj pojavljivanja odstupanja geografske duljine nešto je manji u odnosu na modelirane zapise te je i dalje najveći broj odstupanja između -2 i 2 metra. Učestalost pojavljivanja odstupanja nadmorske visine također je nešto manja nego je to bila kod modeliranih zapisa, no ovdje je najveći broj odstupanja između -20 i 0 metara.



Slika 24. Histograme odstupanja modeliranih zapisa (gore) i nemodeliranih zapisa (dolje) za stanicu SALU u periodu od 10.ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiosu

Uz prethodna dva prikaza odstupanja, odstupanja su prikazana i u 3D-u pomoću dijagrama rasipanja.



Slika 25. 3D prikaz raspršenosti položajnih odstupanja modeliranih zapisa (lijevo) i nemodeliranih zapisa (desno) za stanicu SALU u periodu od 10.ožujka 2015.g. do 24.ožujka 2015.g.

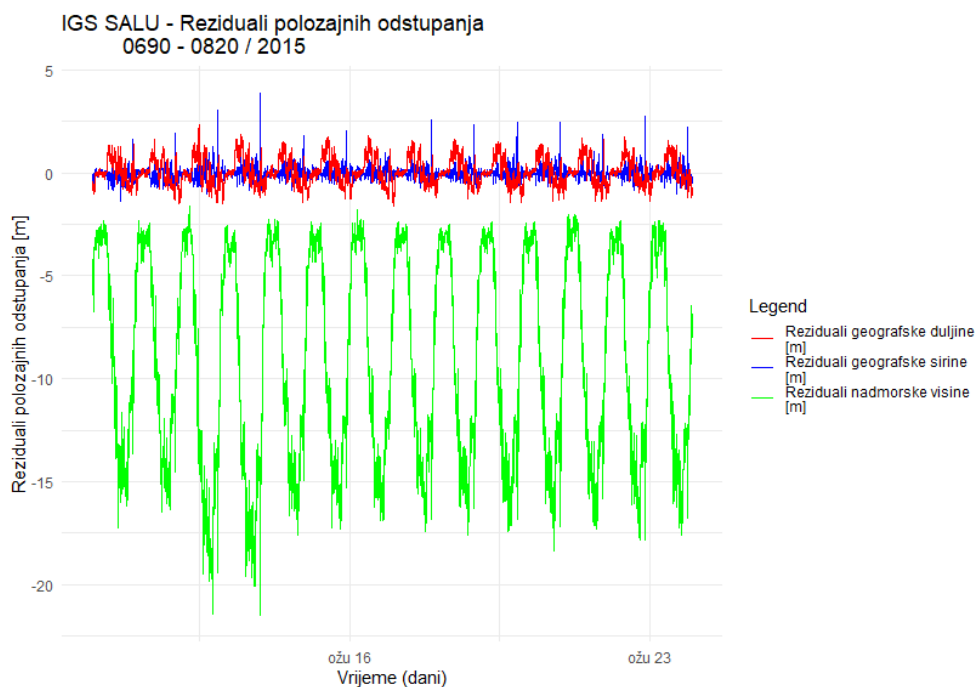
Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudio

U nastavku se nalaze tablični i grafički prikaz reziduala položajnih odstupanja pri čemu je vidljivo kako najveća odstupanja, tj. najveću razliku između minimalne i maksimalne vrijednosti ima nadmorska visina, dok je ta razlika kod geografske širine i geografske duljina puno manje izražena. Ako se želi biti precizniji, razlika nadmorske visine između modeliranih i nemodeliranih zapisa iznosi 9,1272 metara, dok se razlika geografske širine i geografske duljine mjeri u centimetrima. Tako razlika modeliranih zapisa geografske duljine i nemodeliranih zapisa iznosi 0,0528 metara (5 centimetara) , dok je razlika modeliranih zapisa geografske širine i nemodeliranih zapisa još manja te iznosi 0,0188 metara (približno 2 centimetra) .

Tablica 8. Reziduali za stanicu SALU u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.

REZIDUALI ZA STANICU SALU			
	salu_rez_h_stats	salu_rez_lon_stats	salu_rez_lat_stats
Min.	-21,5042	-1,5952698774805	-1,37066519996015
1st Qu.	-13,845225	-0,360048559672797	-0,172124879980338
Median	-9,64285	-0,0188155484510514	-0,0317803200141142
Mean	-9,12715615079365	0,0528430845351912	-0,0187653238570573
3rd Qu.	-3,660425	0,49372775728935	0,109675439994703
Max.	-1,6469	2,30770757024986	3,88119936002969

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudio



Slika 26. Prikaz reziduala za stanicu SALU u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudio

5.3. ODSUPANJA POLOŽAJA ZA STANICU LIBREVILLE, GABON (NKLG)

Sljedeća stanica čiji će podaci za vremenski period od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g. biti prikazani i opisani je stanica u Librevilleu u afričkoj državi Gabon.

Kao i kod prethodne stanice tako i kod ove, prikaz rezultat počinje s prikazom vremenskih nizova modeliranih zapisa i nemodeliranih zapisa.

Na gornjem prikazu koji prikazuje vremenski niz modeliranih zapisa vidljivo je kako je i kod ove stanice najveća odstupanja imala nadmorska visina. Maksimalna vrijednost odstupanja nadmorske visine iznosi 22,7624 metra dok je minimalna zabilježena vrijednost -31,5622 metra. Što se odstupanja druge dvije koordinate tiče, ona su znatno manja od odstupanja nadmorske visine. Maksimalna vrijednost odstupanja geografske širine iznosi 4,8442 metra, a minimalna -12,1470 metara. Najmanja odstupanja ima geografska duljina čija je maksimalna zabilježena vrijednost 7,1433 metara a minimalna -9,3371 metara.

Što se nemodeliranih vrijednosti tiče, ovdje je vidljivo kako je nadmorska visina opet ta koja ima najveća odstupanja. Odstupanja su joj nešto veća nego što je to slučaj kod modeliranih vrijednosti. Maksimalna zabilježena vrijednost iznosi 19,0477 metara, dok minimalna iznosi -35,6643 metra. Odstupanja geografske širine nisu se pretjerano promijenila te maksimalna vrijednost iznosi 4,9020 metara, a minimalna -12,5909 metara. Geografska duljina ponovno ima najmanje vrijednosti odstupanja te je njen maksimum 7,2163 metara dok je minimum -9,7406 metra.

Uspoređujući prikaze modeliranih i nemodeliranih vrijednosti vidljivo je kako je uključivanjem ionosferskog modela ispravke došlo do smanjenja vrijednosti odstupanja te je to smanjivanje najuočljivije na vrijednostima odstupanja nadmorske visine.

Slika 27. Vrijednosti modeliranih zapisa za stanicu NKLГ u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.

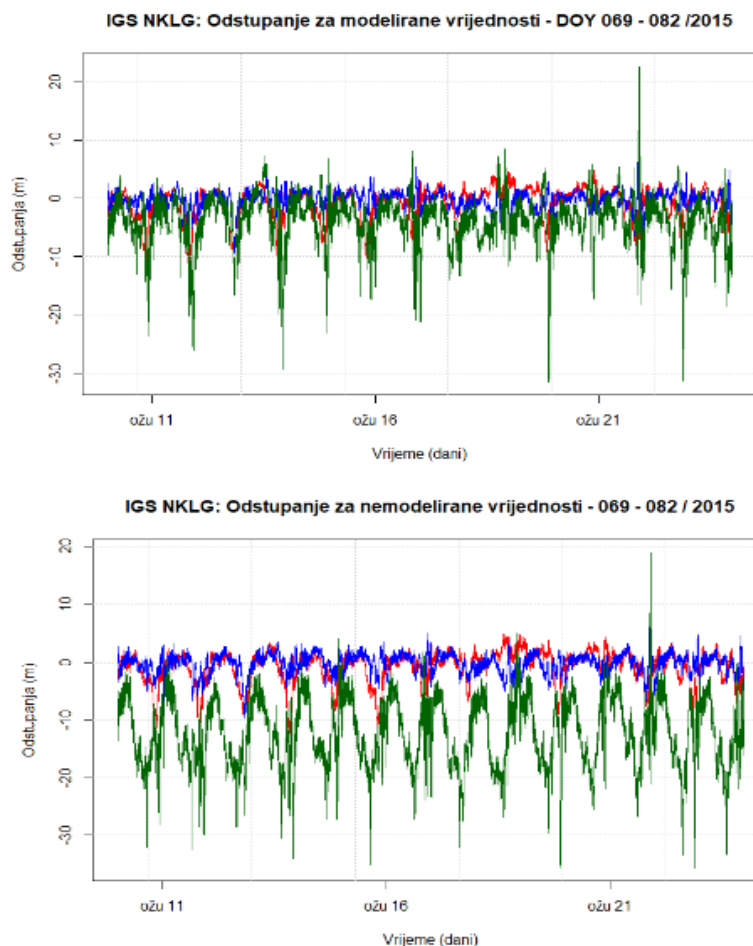
MODELIRANI ZAPISI ZA STANICU NKLГ			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-12,1470161280005	-9,33713546679809	-31,5622
1st Qu.	-2,17621852800247	-1,04735269158481	-5,4514
Median	-0,0858290880017032	-0,0444582639921125	-3,1404
Mean	-0,920062905413955	-0,230075472141163	-3,80262399621872
3rd Qu.	0,899971991999102	0,699142590420763	-1,34355
Max.	4,84423195199714	7,14331293438515	22,7624
sd	2,77668332765284	1,47767655649498	4,19132554717313

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudio

Tablica 9. Vrijednosti nemodeliranih zapisa za stanicu NKLГ u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.

NEMODELIRANI ZAPISI ZA STANICU NKLГ			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-12,5909405280043	-9,74060448981605	-35,6643
1st Qu.	-2,1729404880042	-1,37109463547896	-16,958975
Median	-0,0738281280018516	0,035657727744559	-12,19085
Mean	-0,896794761614098	-0,313483159847673	-12,3792538955224
3rd Qu.	0,989368031999853	0,902293854920778	-7,061
Max.	4,90201435199757	7,216317381793	19,0477
sd	2,8600641484821	1,75035740768394	6,00169453461905

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudio



Slika 28. Modelirani zapisi (gore) i nemodelirani zapisi (dolje) za stanicu NKLK u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStadiu

Kod stanice NKLK, ko i kod prethodne stanice, na grafičkom prikazu nije moguće odrediti kada se oluja dogodila, stoga će se i ovdje priložiti i analizirati tablični prikaz odstupanja.

Srednje vrijednosti odstupanja geografske širine u danima koji su prethodili oluji negativne su vrijednosti te se nalaze u rasponu od 12 cm do 1,9 m. Za vrijeme oluje vrijednosti odstupanja su pozitivne te se nalaze u rasponu od 90 cm do 2,4 m. U danima nakon oluje srednje vrijednosti izmjenjuju pozitivne i negativne vrijednosti te su te vrijednosti značajno manje od onih u danima oluje.

Što se srednje vrijednosti odstupanja geografske duljine tiče, kod ove stanice nema pretjerane razlike između vrijednosti prije oluje, za vrijeme oluje i nakon oluje.

Gledajući podatke odstupanja nadmorske visine, u danima prije oluje odstupanja su većinski bila pozitivna, a za vrijeme oluje ona su negativna što se nastavlja i u razdoblju smirivanja svemirskog vremena nakon oluje.

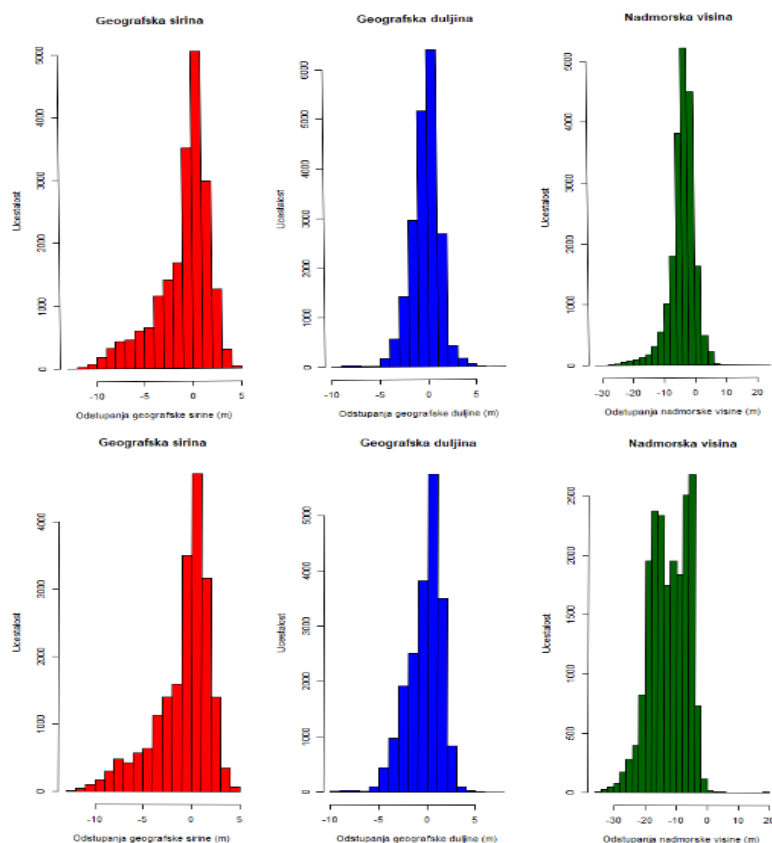
Tablica 10. Prikaz odstupanja po danima za stanicu NKLK u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.

PRIKAZ ODSUPANJA MODELIRANIH VRIJEDNOSTI PO DANIMA ZA STANICU NKLK														
	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080	081	082
lat_m_min	-7,9605	-8,0539	-7,7126	-6,43492	-9,1354	-9,1437	-7,9306	-2,64450	-2,1106	-0,589	-0,8254	-9,1252	-9,8450	-2,001
lat_m_1stQ	-1,5916	-0,9497	-1,8547	-1,37782	-1,6708	-3,2139	-2,5012	-0,07332	0,8071	0,8537	0,7539	-1,2521	-1,9223	0,4559
lat_m_median	0,01366	0,3351	0,1498	-0,00068	-0,3904	-1,5609	-0,5628	0,55598	2,5935	2,0239	1,4923	-0,3515	-0,1785	1,5588
lat_m_mean	-0,8864	-0,2185	-0,4396	-0,12135	-0,9059	-1,9333	-1,2777	0,90317	2,3187	2,0727	1,6576	-0,8855	-0,8675	1,6008
lat_m_3rdQ	0,58931	1,4963	1,2503	1,660872	0,4726	0,2878	0,2371	1,55659	3,8587	3,3407	2,7578	0,3624	0,6736	2,5613
lat_m_max	2,67092	3,5250	4,0191	4,869656	3,3960	1,4299	1,6478	6,71036	6,8849	5,3080	4,1616	1,9714	3,2183	5,3591
lon_m_min	-4,4247	-3,31571	-2,76714	-3,2600	-3,62860	-2,1883	-2,9668	-3,01270	-2,9061	-4,172	-3,9526	-3,8625	-4,2400	-3,854
lon_m_1stQ	-0,8212	-0,84295	-0,95265	-1,1155	-1,02251	-0,7343	-0,5723	-0,81792	-0,7861	-1,243	-0,6621	-1,0513	-1,0843	-1,439
lon_m_median	-0,0737	0,001211	-0,09201	-0,5194	-0,05674	-0,0696	0,08416	0,06988	-0,1938	-0,562	0,1889	-0,1987	-0,2590	-0,374
lon_m_mean	0,03500	0,178249	0,006839	-0,3422	0,24080	0,118440	0,33085	0,24224	-0,1009	-0,459	0,2491	-0,0957	-0,2913	-0,492
lon_m_3rdQ	0,87637	1,221492	0,840565	0,3841	1,32469	0,954731	1,36305	1,42727	0,5958	0,6056	1,0570	0,85890	0,4713	0,6850
lon_m_max	3,67702	4,401376	3,212124	4,5116	6,24887	2,83667	5,57596	3,72625	2,0048	2,4459	3,5196	3,70003	4,8176	2,7292
h_m_min	-8,4777	-7,0449	-6,0350	-5,185	-10,4967	-15,084	-12,009	-12,5093	-11,9056	-8,2141	-10,53520	-10,2847	-11,3594	-8,1674
h_m_1stQ	-1,9843	-1,5516	0,5549	0,849	-1,88857	-2,0983	-1,0003	-2,81018	-2,6354	-2,4034	-1,34425	-2,3496	-2,1234	-1,8612
h_m_median	0,1074	0,7127	1,9537	2,371	0,10810	-0,1089	0,9415	0,00245	-0,3387	-0,6710	-0,16755	-0,7188	-0,7582	-0,2426
h_m_mean	-0,1323	0,4404	1,8184	2,053	0,09075	-0,6144	0,8795	-1,19941	-0,4089	-0,3445	-0,01412	-0,3861	-0,6230	-0,4877
h_m_3rdQ	1,5567	2,3704	3,1054	3,388	1,65525	1,6326	2,7734	1,51490	1,5334	1,6811	1,79482	1,3864	1,3080	1,1533
h_m_max	5,3884	8,1684	9,6482	9,452	11,57990	5,7557	10,3749	8,11460	9,6021	9,5528	7,96550	6,6521	7,0099	6,0610

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiu

Što se učestalosti odstupanja tiče, najveću učestalost kod modeliranih zapisa ima geografska duljina čija se odstupanja do 2 metra pojavljuju čak preko 6000 puta. Osim navedenih odstupanja, velik broj pojavljivanja imaju i odstupanja od 0 do -2 metra. Češća odstupanja geografske širine nalaze se u intervalu od -4 do 3 metra, dok su ona najčešća od 0 do 2 metra te se pojavljuju oko 5000 puta. Vrijednost odstupanja nadmorske visine, već poznato najveća, najčešće vrijednosti odstupanja ima u intervalu od -8 do 0 metara te se ova odstupanja pojavljuju oko 5000 puta.

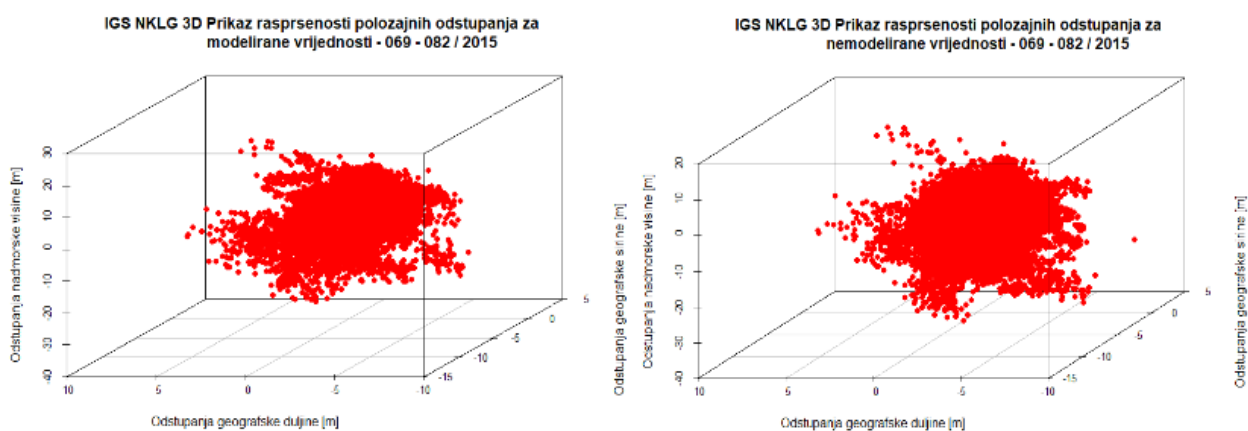
Gledajući histogram nemodeliranih vrijednosti vidljivo je kako su odstupanja geografske duljine i dalje najučestalija te i dalje iznose oko 6000 puta za vrijednosti od 0 do 2 metra. Najveći broj odstupanja geografske širine nalazi se u istom intervalu kao i kod modeliranih vrijednosti samo što je broj pojavljivanja manji. Što se nadmorske visine tiče, ovdje je vidljiva najveća promjena u odnosu na modelirane zapise prvenstveno u broju pojavljivanja odstupanja. Broj pojavljivanja je drastično pao sa 6000 puta na svega 2500 puta. Interval u kojem su odstupanja najčešća također se drastično povećao te su ona sada najčešća između -20 i 0 metara.



Slika 29. Histogrami odstupanja modeliranih zapisa (gore) i nemodeliranih zapisa (dolje) za stanicu NKLK u periodu od 10.ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015.g.

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiu

Zbog jednostavnije prikaza podataka vezanih uz odstupanje, u RStudiju iznađen je i 3D prikaz odstupanja.



Slika 30. 3D prikaz raspršenosti položajnih odstupanja modeliranih zapisa (lijevo) i nemodeliranih zapisa (desno) za stanicu NKLK u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.

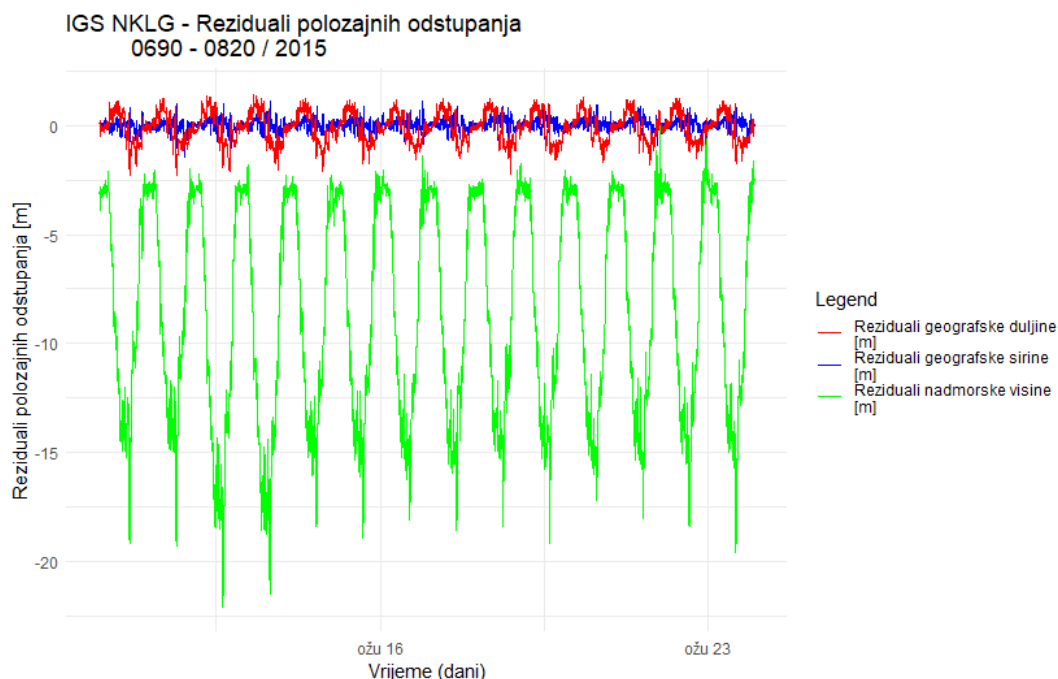
Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiu

Nadalje, prikazi su reziduali modeliranih i nemodeliranih zapisa za stanicu NKLK. Odmah pri prvom pogledu na prikaz vidljivo je kako najveće vrijednosti ima nadmorska visina. Ako se pogledaju numerički podaci, vidljivo je kako je razlika između modeliranih zapisa nadmorske visine i nemodeliranih zapisa 8,5763 metra, dok su razlike geografske duljine i širine kao i u prethodnom slučaju izražene u centimetrima. Razlika modeliranih i nemodeliranih zapisa geografske duljine iznosi 0,0829 metara (8 centimetara), a razlika zapisa geografske širine iznosi 0,02326 metara (2 centimetra.)

Tablica 11. Reziduali za stanicu NKLK u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.

REZIDUALI ZA STANICU NKLK			
	nklg_rez_h_stats	nklg_rez_lon_stats	nklg_rez_lat_stats
Min.	-22,0834	-2,26158221563895	-1,745695200000023
1st Qu.	-13,1548	-0,631149559627029	-0,0965632799954363
Median	-8,8123	-0,055003350708323	0,03333600000009586
Mean	-8,57632962336435	-0,0829572900272306	0,0232590873058228
3rd Qu.	-3,1523	0,47780688480242	0,163124159997412
Max.	-0,01120000000000023	1,42008650876605	1,09808784000184

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudios



Slika 31. Prikaz reziduala za stanicu NKLK u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudios

5.4. Odstupanja položaja za stanicu MBARARA, Uganda (MBAR)

Posljednja stanica koja je promatrana u ovom diplomskom radu je stanica Mbarara u afričkoj državi Ugandi.

Na prikazu modeliranih vrijednosti odstupanja vidljivo je kako kao i kod prošle dvije stanice, tako i kod ove, nadmorska visina ima najveća odstupanja. Maksimalna vrijednost odstupanja nadmorske visine kod modeliranih vrijednosti iznosi 11,5799 metara dok je minimalna – 15,0843 metra. Odstupanja geografske širine nalaze se u intervalu od 7 do -10 metara. Maksimalna vrijednost odstupanja iznosi 6,8849 metara, a minimalna -9,8449 metara. Geografska duljina ima najmanja odstupanja u intervalu od 6 do -5 metara. Maksimalna vrijednost odstupanja geografske duljine iznosi 6,2489 metara, a minimalna -4,4247 metara.

Što se nemodeliranih zapisa tiče, odmah je uočljiva razlika dvaju vremenskih nizova. Vrijednosti nadmorske visine ponovno imaju najveće vrijednosti te je maksimalna vrijednost odstupanja 7,7088 metara dok je minimalna -32,6663 metara. Kao i kod prethodnih stanica, tako i kod ove, vrijednosti odstupanja geografske širine i geografske duljine uvelike su manje nego odstupanja nadmorske visine. Maksimalno odstupanje geografske širine iznosi 7,9156 metara, a minimalno -9,5628 metara. Što se odstupanja geografske duljine tiče, maksimalna vrijednost iznosi 5,6999 metara a minimalna -5,2364 metara.

Tablica 12. Vrijednosti modeliranih zapisa za stanicu MBAR u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.

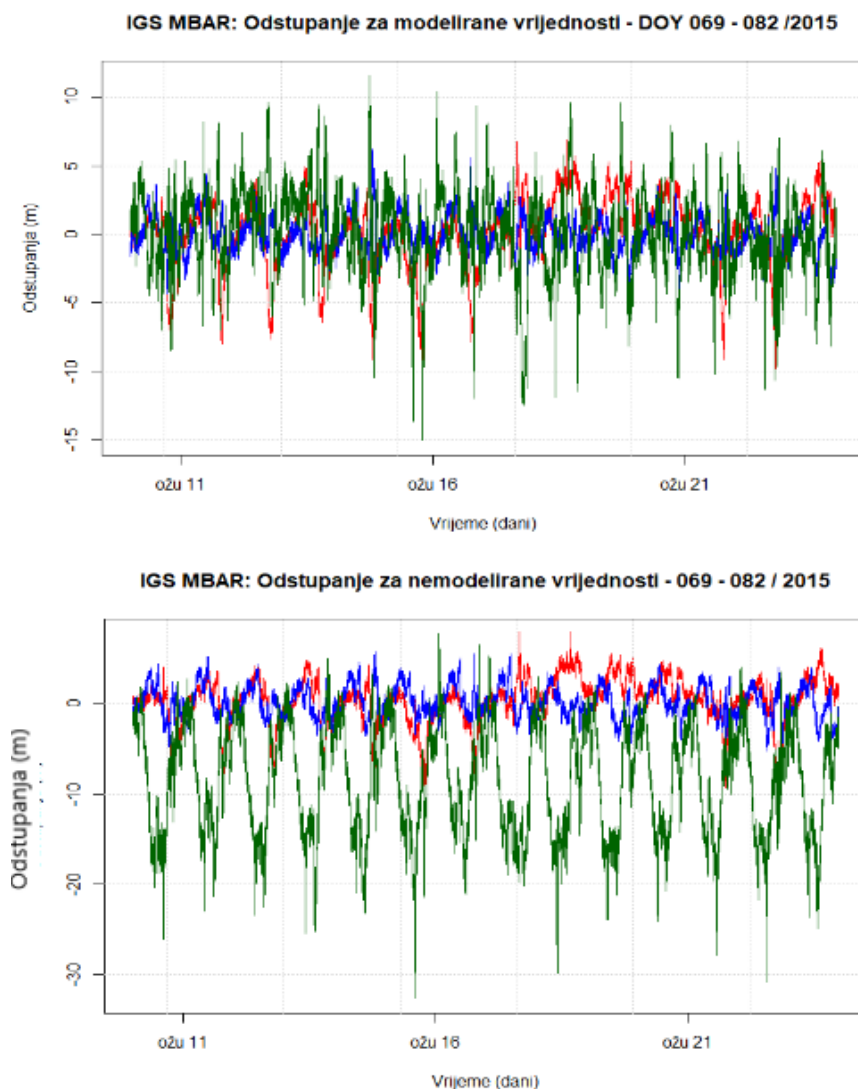
MODELIRANI ZAPISI ZA STANICU MBAR			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-9,84496531200197	-4,42473237837457	-15,0843
1st Qu.	-0,846884411992348	-0,931589859177777	-1,77824999999996
Median	0,323292528003165	-0,139125685891077	0,259550000000104
Mean	0,0726555694796989	-0,027150692653082	0,0765418154762096
3rd Qu.	1,48983028800291	0,872899509043464	2,13442499999996
Max.	6,88492852799754	6,24886667976262	11,5799
sd	2,48725063008765	1,33364098849768	3,08156062446974

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStadiu

Tablica 13. Vrijednosti nemodeliranih zapisa za stanicu MBAR u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.

NEMODELIRANI ZAPISI ZA STANICU MBAR			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-9,56283163199934	-5,23641925245397	-32,66630000000001
1st Qu.	-0,784573871999701	-1,13378933763249	-14,06950000000001
Median	0,451969488003288	-0,102346992603786	-7,986750000000003
Mean	0,220985705443951	0,0936325557093676	-8,62425397817458
3rd Qu.	1,74198934800203	1,35613376134869	-3,291100000000003
Max.	7,91556652800097	5,69996412564301	7,708800000000011
sd	2,577312648622	1,73433632615543	6,05667522576507

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiu



Slika 32. Modelirani zapisi (gore) i nemodelirani zapisi (dolje) za stanicu MBAR u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiu

Gledajući srednje vrijednosti odstupanja koordinata, iz priložene tablice je vidljivo kako je u danima prije oluje srednja vrijednost odstupanja geografske širine bila negativna te je iznosila između 10 cm i 1,9 m. Za vrijeme oluje, vrijednost odstupanja je postala pozitivna i iznosila 90 cm do 2,3 m. U danima nakon oluje odstupanja variraju između pozitivnih i negativnih što je svojstveno za razdoblje smirivanja svemirskog vremena.

Kod srednje vrijednosti odstupanja geografske duljine situacija je obrnuta te su odstupanja prije oluje bila pozitivna između 0,6 cm i 33 cm dok su za vrijeme oluje bila negativna i iznosila između 1 cm i 46 cm. U razdoblju nakon oluje ponovno imamo kombinaciju pozitivnih i negativnih odstupanja no prednjače ona negativna.

Odstupanja nadmorske visine tijekom cijelog promatranog perioda nalaze se između 1cm i 1,82 m. Uočljivo je kako su za vrijeme oluje ona bila negativna te se taj trend nastavio i u danima nakon oluje.

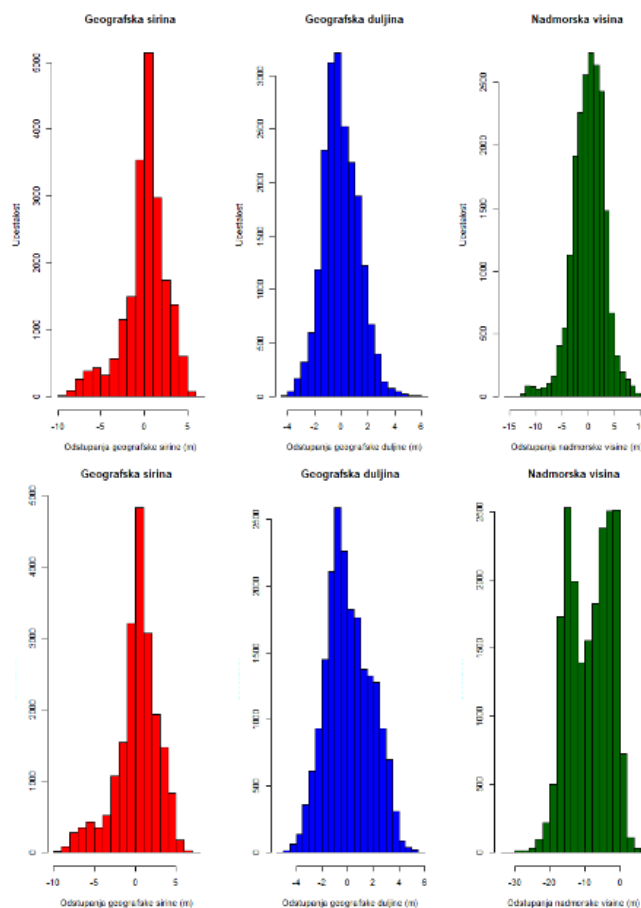
Tablica 14. Prikaz odstupanja po danima za stanicu MBAR u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.

PRIKAZ ODSUPANJA MODELIRANIH VRIJEDNOSTI PO DANIMA ZA STANICU MBAR														
	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080	081	082
lat_m_min	-7,9606	-8,0539	-7,7126	-6,43492	-9,1354	-9,1437	-7,9306	-2,64450	-2,1106	-0,589	-0,8254	-9,1252	-9,845	-2,001
lat_m_1stQ	-1,5916	-0,9497	-1,8547	-1,37782	-1,6708	-3,2139	-2,5012	-0,07332	0,8071	0,8537	0,7539	-1,2521	-1,922	0,4559
lat_m_median	0,01366	0,3351	0,1498	-0,00068	-0,3904	-1,5609	-0,5628	0,55598	2,5935	2,0239	1,4923	-0,3515	-0,179	1,5588
lat_m_mean	-0,8864	-0,2185	-0,4396	-0,12135	-0,9059	-1,9333	-1,2777	0,90317	2,3187	2,0727	1,6576	-0,8855	-0,868	1,6008
lat_m_3rdQ	0,58931	1,4963	1,2503	1,660872	0,4726	0,2878	0,2371	1,55659	3,8587	3,3407	2,7578	0,3624	0,6736	2,5613
lat_m_max	2,67092	3,5250	4,0191	4,869656	3,3960	1,4299	1,6478	6,71036	6,8849	5,3080	4,1616	1,9714	3,2183	5,3591
lon_m_min	-4,4247	-3,31571	-2,76714	-3,2600	-3,62860	-2,1883	-2,9668	-3,01270	-2,9061	-4,172	-3,9526	-3,8625	-4,240	-3,854
lon_m_1stQ	-0,8212	-0,84295	-0,95265	-1,1155	-1,02251	-0,7343	-0,5723	-0,81792	-0,7861	-1,243	-0,6621	-1,0513	-1,084	-1,439
lon_m_median	-0,0737	0,001211	-0,09201	-0,5194	-0,05674	-0,0696	0,08416	0,06988	-0,1938	-0,562	0,1889	-0,1987	-0,259	-0,374
lon_m_mean	0,03500	0,178249	0,006839	-0,3422	0,24080	0,11844	0,33085	0,24224	-0,1009	-0,459	0,2491	-0,0957	-0,291	-0,492
lon_m_3rdQ	0,87637	1,221492	0,840565	0,3841	1,32469	0,95473	1,36305	1,42727	0,5958	0,6056	1,0570	0,85890	0,4713	0,6850
lon_m_max	3,67702	4,401376	3,212124	4,5116	6,24887	2,83667	5,57596	3,72625	2,0048	2,4459	3,5196	3,70003	4,8176	2,7292
h_m_min	-8,4777	-7,0449	-6,0350	-5,185	-10,4967	-15,084	-12,009	-12,50930	-11,9056	-8,2141	-10,53520	-10,2847	-11,359	-8,167
h_m_1stQ	-1,9843	-1,5516	0,5549	0,849	-1,88857	-2,0983	-1,0003	-2,81018	-2,6354	-2,4034	-1,34425	-2,3496	-2,1234	-1,861
h_m_median	0,1074	0,7127	1,9537	2,371	0,10810	-0,1089	0,9415	0,00245	-0,3387	-0,6710	-0,16755	-0,7188	-0,7582	-0,242
h_m_mean	-0,1323	0,4404	1,8184	2,053	0,09075	-0,6144	0,8795	-1,19941	-0,4089	-0,3445	-0,01412	-0,3861	-0,6230	-0,487
h_m_3rdQ	1,5567	2,3704	3,1054	3,388	1,65525	1,6326	2,7734	1,51490	1,5334	1,6811	1,79482	1,3864	1,3080	1,1533
h_m_max	5,3884	8,1684	9,6482	9,452	11,57990	5,7557	10,3749	8,11460	9,602	9,5528	7,96550	6,6521	7,0099	6,0610

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiu

Gledajući histograme modeliranih zapisa, vidljivo je kako je najveća učestalost odstupanja geografske širine u čijem slučaju se odstupanja u intervalu od 0 do 2 metra pojavljuju čak 5000 puta. Odstupanja geografske duljine imaju manju učestalost te se interval odstupanja od -1 do 1 metar javlja oko 3000 puta. Odstupanja nadmorske visine imaju veći raspon te se odstupanja od -3 do 3 metra javljaju oko 2500 puta.

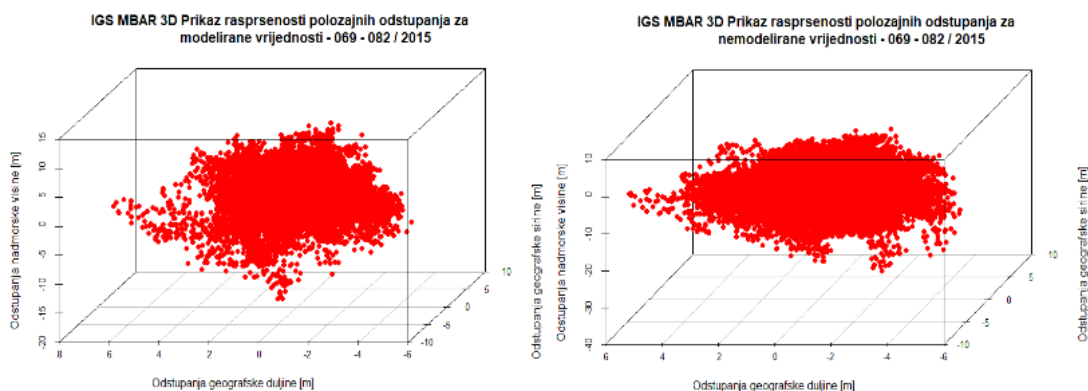
Kod nemodeliranih zapisa, učestalost odstupanja geografske širine i dalje je u istom intervalu (0 do 2 metra) te je broj pojavljivanja odstupanja jednak (5000 puta). Kod geografske duljine došlo je do pada pojavljivanja odstupanja te je najveći broj odstupanja od -1 do 1 metar. Najveća promjena vidljiva je na histogramu odstupanja nadmorske visine gdje je interval odstupanja drugačiji. Najveći broj odstupanja nalazi se u intervalu -20 do 0 metara.



Slika 33. Histogrami odstupanja modeliranih zapisa (gore) i nemodeliranih zapisa (dolje) za stanicu MBAR u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStadiu

Kao i kod prethodnih stanica, tako i kod ove, odstupanja su zbog jednostavnijeg prikaza prikazana i pomoću 3D prikaza.



Slika 34. 3D prikaz raspršenosti položajnih odstupanja modeliranih zapisa (lijevo) i nemodeliranih zapisa (desno) za stanicu MBAR u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.

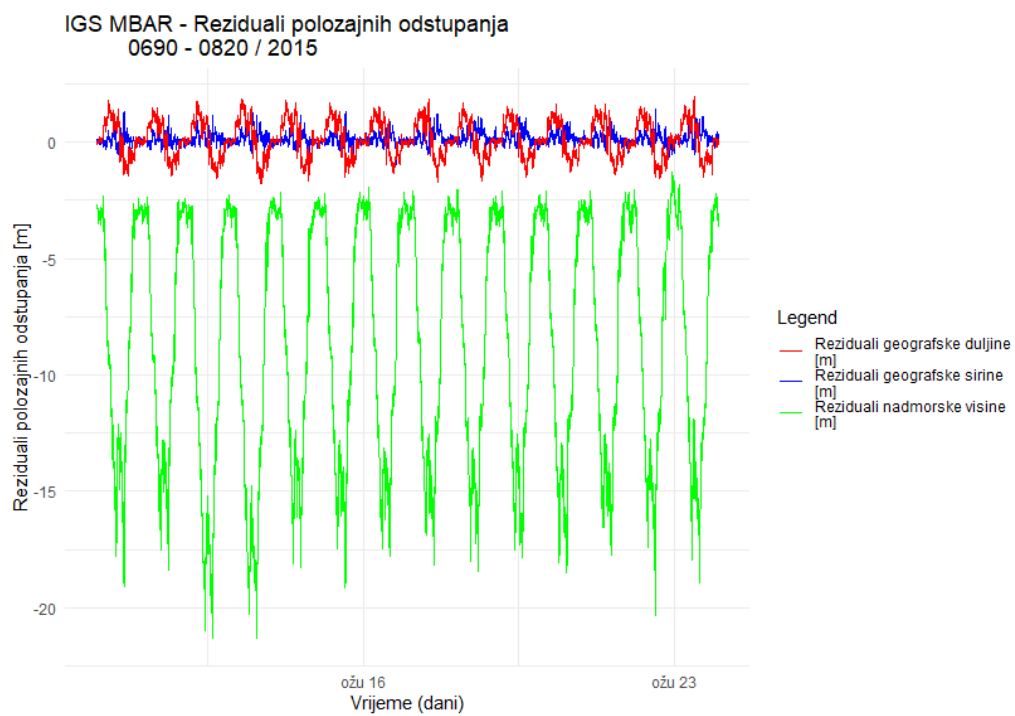
Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStadiu

Sljedeći prikaz, prikaz je reziduala modeliranih i nemodeliranih zapisa za stanicu MBAR. Kao i u slučaju reziduala stanica SALU i NKLJ, tako i kod stanice MBAR najveću vrijednost reziduala ima nadmorska visina. Razlika između modeliranih zapisa nadmorske visine i nemodeliranih zapisa nadmorske visine je -8,7008 metara. Reziduala geografske širine i geografske duljine i u ovom slučaju su u centimetrima. Razlika geografske širine modeliranih i nemodeliranih zapisa je 0,1483 metara (14 centimetara), dok je ta vrijednost kod reziduala geografske duljine manja te iznosi 0,1208 metara (12 centimetara).

Tablica 15. Reziduali za stanicu MABR u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.

REZIDUALI ZA STANICU MBAR			
	mbar_rez_h_stats	mbar_rez_lon_stats	mbar_rez_lat_stats
Min.	-21,3383000000001	-1,75526592082554	-0,945520079992708
1st Qu.	-13,468625	-0,46867833474727	-0,0214461599979643
Median	-8,410549999999994	0,0699461856567301	0,100785839999382
Mean	-8,70079579365079	0,12078324836245	0,148330135964252
3rd Qu.	-3,172900000000003	0,745074104624177	0,290689920007372
Max.	-1,282699999999998	1,97693810592292	1,42878096000667

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStadiu

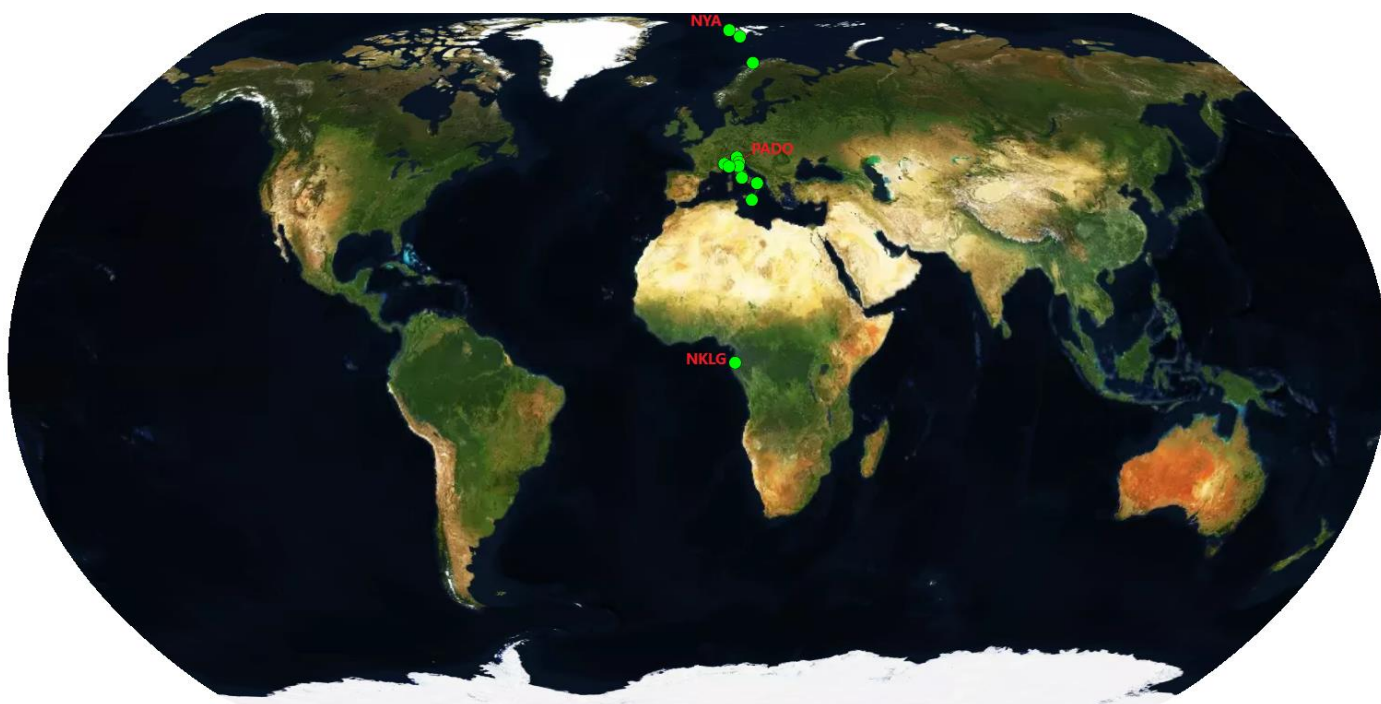


Slika 35. Prikaz reziduala za stanicu MBAR u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiu

6. USPOREDBA REZULTATA S REZULTATIMA STANICA U POLARNOM POJASU I UMJERENOM POJASU

Znajući činjenicu da geomagnetske oluje imaju različit utjecaj ovisno o položaju točke na Zemlji, u ovom diplomskog radu napraviti će se usporedba rezultata ovog rada te prijašnjih radova koji se bave istom tematikom ali na različitim položajima na Zemlji. U nastavku su priložene pozicije pojedinih stanica koje su uzete kao referentne za određeni dio Zemlje. Usporedba će se napraviti s obzirom na tri parametra: položajna odstupanja, TEC vrijednosti te rezidualne.



Slika 36. Prikaz referentnih stanica korištenih u usporedbi rezultata

Izvor: Izrada autorice prema

Tablica 16. Podaci o referentnim stanicama

OZNAKA STANICE	IME STANICE (DRŽAVA)	GEOGRAFSKA ŠIRINA	GEOGRAFSKA DUŽINA	NADMORSKA VISINA (m)
NYA	NY- ALESUND (NORVEŠKA)	78,929580556° N	11,86509444° E	79,0
PADO	PADOVA (ITALIJA)	45,41115° N	11,89605556° E	64,7
SALU	SAO LUIS (BRAZIL)	2,593458333° S	44,21247778° W	18,900

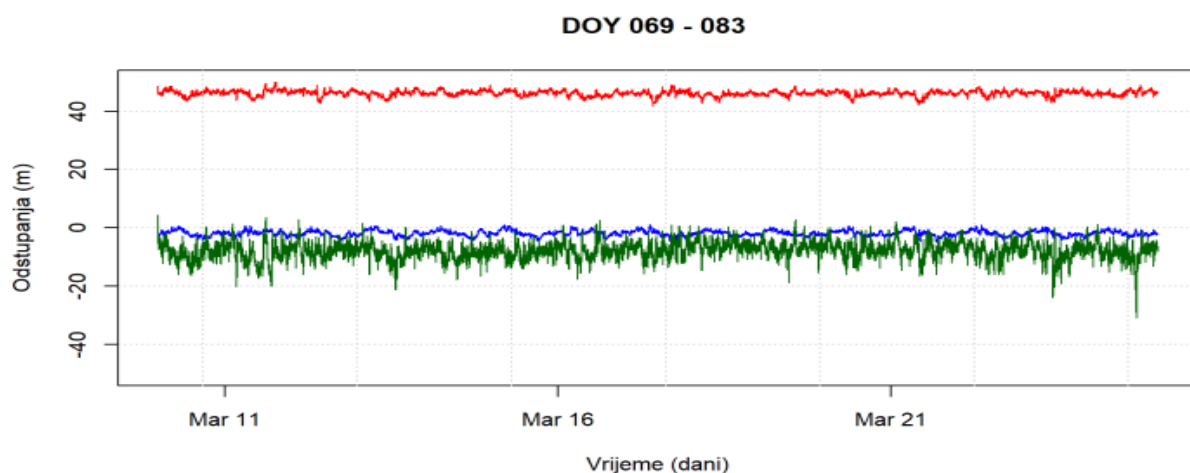
Izvor: Izrada autorice

Na paralelnom prikazu tri referentne stanice odmah je uočljivo kako je kod referentne stanice za polarno područje (NYA) velika razlika kod odstupanja geografske širina koja se nalaze u intervalu od 40 do 50 metara, dok kod ostale dvije stanice ta odstupanja osciliraju oko 0 metara. Razlog ovoj anomaliji je veća osjetljivost geografske širine u polarnim područjima na varijacije u ionosferi no kod drugih koordinata. Izračun geografske širine temelji se na razlici vremena putovanja signala između satelita na različitim elevacijama. Kod narušenog svemirskog vremena to vrijeme putovanja se mijenja te samim tim dolazi do pogreške. Prethodna činjenica u kombinaciji s narušenim geomagnetskim uvjetima, ionosferskim nepravilnostima na polarnim geografskim širinama koje su se za vrijeme oluje dogodile te činjenicom da su ti dijelovi Zemlje direktno pod utjecajem Sunčeva vjetera, rezultirala je velikom pogreškom određivanja geografske širine. Određivanje geografske dužine manje je osjetljivo jer se određuje razlika vremena putovanja signala između satelita u različitim orbitama. Gledajući odstupanja nadmorske visine, na prikazu stanice NYA oscilacije nisu toliko izražene kao na druga dva prikaza.

Na prikazu referentne stanice za umjereni pojas (PADO) vidljivo je kako je u danima koji su prethodili oluji došlo do značajnih odstupanja nadmorske visine te su u tom periodu dosegnute minimalne i maksimalne vrijednosti odstupanja za promatrani period. Valja napomenuti kako su se oscilacije nastavile i u sljedećim danima te se nešto veća odstupanja uočavaju u periodu 76-78 dana kada je oluja zapravo i bila.

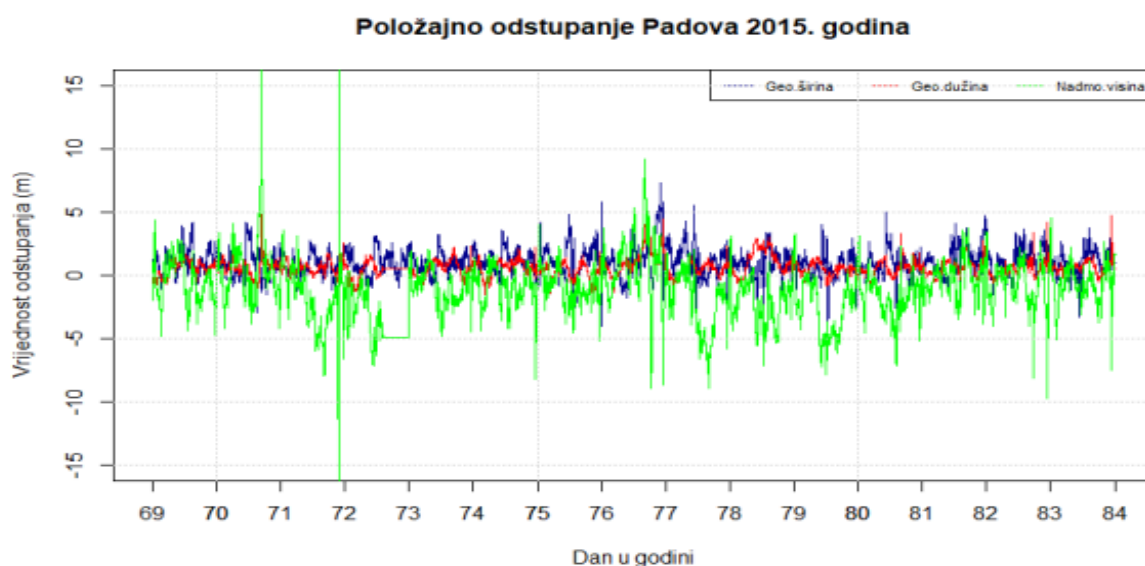
Daleko najveće oscilacije svih koordinata javljaju se na ekvatorijalnoj stanici (SALU). Sve tri koordinate imaju veće razlike između minimalnih i maksimalni odstupanja od stanica u

umjerenom i polarnom području te se kao koordinata s najvećim odstupanjima ističe nadmorska visina. Zbog jačine geomagnetske oluje došlo je do pojave efekta fontane, ekvatorijalne anomalije ionizacije i ekvatorijalnog elektojet te je njihova interakcija rezultirala većom pogreškom pri određivanju položaja no što je to slučaj u ostalim pojasevima.



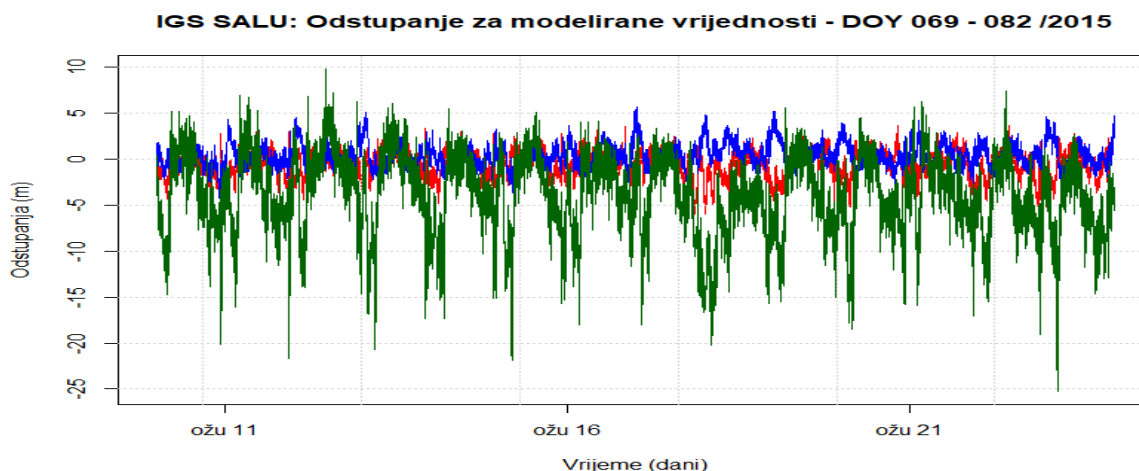
Slika 37. Prikaz položajnih odstupanja za stanicu NYA

Izvor: Jurki, D., Analiza utjecaja ionosferskog kašnjenja na satelitsko određivanje položaja sustavom GPS u polarnim predjelima, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, str.63, 2023.



Slika 38. Prikaz položajnih odstupanja za stanicu PADO

Izvor: Žic A.: Strukturna analiza odstupanja položaja određenih satelitskim navigacijskim sustavom GPS uslijed učinaka svemirskog vremena, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski Fakultet, Rijeka, 2018. g., str.81



Slika 39. Prikaz položajnih odstupanja za stanicu SALU

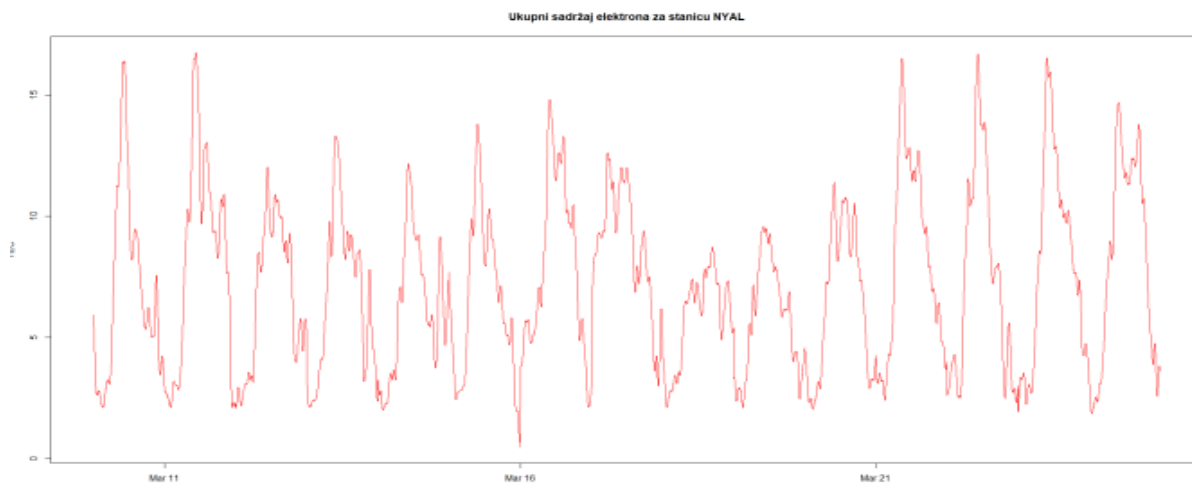
Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStuidiu

Nadalje, usporediti će se vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona (TEC) za sve tri stanice.

Na prikazu za stanicu NYA vidljivo je kako su vrijednosti TEC jedinica u razdoblju prije oluje dosežale vrijednosti do 15 točnije ekvivalent od 2,44 m. Za vrijeme geomagnetske oluje vrijednosti ne prelaze 10 TEC jedinica što je ekvivalent pogrešci od 1,62 m. . U danima nakon oluje, vrijednosti rastu te opet dosežu vrijednost od 15 TEC jedinica.

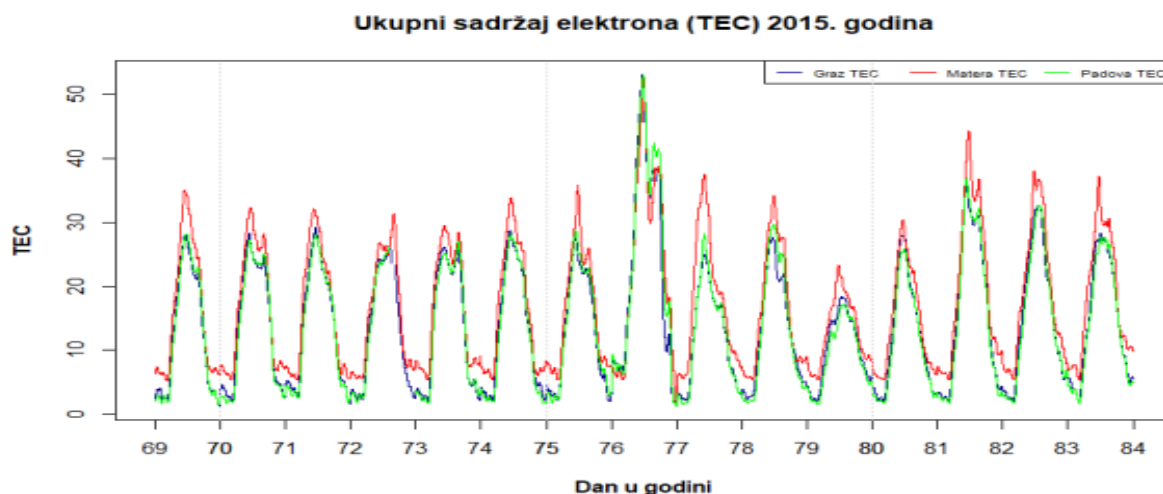
Što se stanice PADO tiče, odmah je uočljivo kako su vrijednosti ukupnog sadržaja elektrona znatno veće. U razdoblju prije oluje TEC vrijednosti dosežu 35 TEC jedinica što je ekvivalent pogrešci pri određivanju položaja od 5,68 m., Za vrijeme trajanja oluje one dosežu i preko 50 TEC jedinica (8,12 m). Kao i kod prethodne stanice, tako i kod ove u razdoblju nakon oluje, vrijednosti se snižavaju na razinu na kojoj su bili i prije oluje.

Stanica u ekvatorijalno pojasu (SALU) ima najveće TEC vrijednosti. U razdoblju smirenog svemirskog vrijeme TEC vrijednosti dosežu do 60 TEC jedinica što bi bio ekvivalent 9,74 m pogreške u određivanju položaja. Za trajanja geomagnetske oluje, vrijednosti dosežu i 80 TEC jedinica (13 m). Nakon oluje dolazi do pada TEC vrijednosti te se one vraćaju na vrijednosti koje su bile u razdoblju mirnog svemirskog vremena.



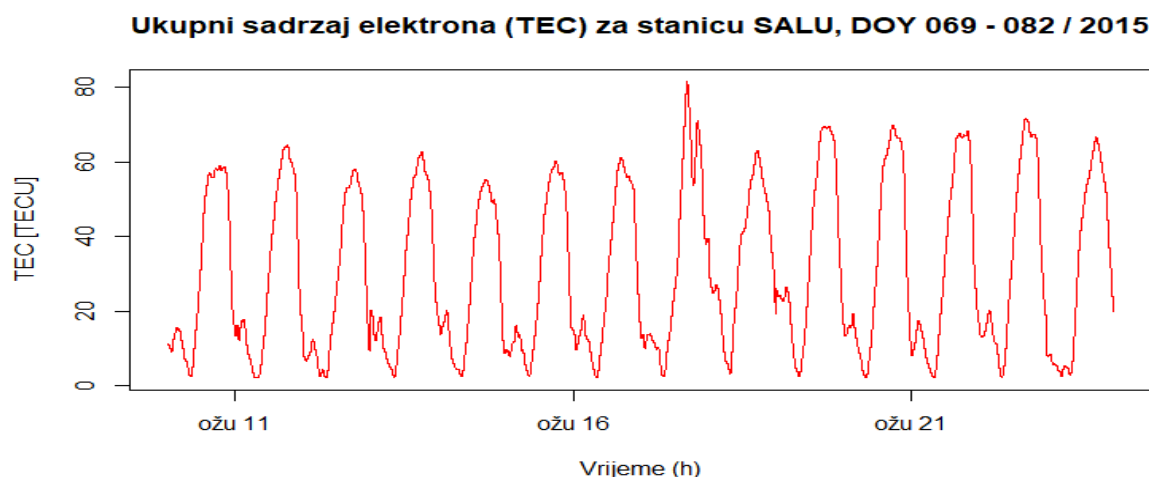
Slika 40. Ukupni sadržaj elektrona za stanicu NYA

Izvor: Jurki, D., Analiza utjecaja ionosferskog kašnjenja na satelitsko određivanje položaja sustavom GPS u polarnim predjelima, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2023., str 23.



Slika 41. Ukupni sadržaj elektrona za stanicu PADO

Izvor: Žic A.: Strukturna analiza odstupanja položaja određenih satelitskim navigacijskim sustavom GPS uslijed učinaka svemirskog vremena, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski Fakultet, Rijeka, 2018. g., str.81



Slika 42. Ukupni sadržaj elektrona za stanicu SALU

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiosu

Vrijednosti reziduala uspoređene su za stanicu NYA u polarnom pojasu i za stanicu SALU u ekvatorijalnom pojasu.

Uporabom ionosferskog modela ispravke odstupanja se ne otklanjaju niti kod jedne promatrane stanice, no može se zaključiti kako je razlika između modeliranih i nemodeliranih vrijednosti odstupanja ipak veća na stanicu u polarnom pojasu no što je to na stanicu u ekvatorijalnom pojasu. Više je razloga ovakve pojave. Jedan od njih je položaj satelita u polarnom području, tj. njihova blizina horizontu. Zbog blizine horizontu dolazi do lošije vidljivosti satelita te slabijeg signala što kao rezultat ima povećanu grešku u određivanju položaja. Također, velik utjecaj na određivanje položaja u polarnom pojasu imaju i atmosferski uvjeti kao na primjer promjena temperature, visoka vlažnost, itd. koji utječu na kvalitetu satelitskog signala. Treći, možda čak i za ovaj rad najbitniji razlog je utjecaj ionosferskih učinaka na visokim geografskim širinama. Kao što je već rečeno, ionosfera visokih geografskih širina je najsloženija u usporebi s umjerenim i niskim geografskim širinama te je u kombinaciji s geomagnetskom olujom i njezinim učincima rezultirala u većim vrijednostima reziduala.

Tablica 17. Reziduali za stanicu NYA u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.

REZIDUALI ZA STANICU NYA			
	nklg_rez_h_stats	nklg_rez_lon_stats	nklg_rez_lat_stats
Min.	-11,4869	-0,928881664	-1,213430401
1st Qu.	-4,73135	-0,011201371	-0,13934448
Median	-3,556	0,105548916	0,04644816
Mean	-4,08390176	0,370119382	0,078863172
3rd Qu.	-3,17865	0,806306665	0,02133504
Max.	-1,5061	2,558265045	1,3023264

Izvor: Izrada autorice prema: Jurki, D., Analiza utjecaja ionosferskog kašnjenja na satelitsko određivanje položaja sustavom GPS u polarnim predjelima, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2023.

Tablica 18. Reziduali za stanicu SALU u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.

REZIDUALI ZA STANICU SALU			
	salu_rez_h_stats	salu_rez_lon_stats	salu_rez_lat_stats
Min.	-21,5042	-1,5952698774805	-1,37066519996015
1st Qu.	-13,845225	-0,360048559672797	-0,172124879980338
Median	-9,64285	-0,0188155484510514	-0,0317803200141142
Mean	-9,12715615079365	0,0528430845351912	-0,0187653238570573
3rd Qu.	-3,660425	0,49372775728935	0,109675439994703
Max.	-1,6469	2,30770757024986	3,88119936002969

Izvor: Izrada autorice prema podacima dobivenim u RStudiu

7. ZAKLJUČAK

Svemirsko vrijeme ima velik utjecaj na Zemlju, posebice na njezinu ionosferu. Ionosfera kao jedan od medija kroz koji prolazi satelitski signal samim tim ima utjecaj na njega. Utjecaj se ogleda u kašnjenju satelitskog signala koje je poznatije kao ionosfersko kašnjenje a rezultira pogreškom u određivanju položaja dobivenog satelitskom tehnologijom. Za ispravak ionosferskog kašnjenja koristi se model ispravke nazvan Klobucharev model koji ne otklanja pogrešku u potpunosti ali ju znatno umanjuje. Uz ionosferske pokazatelje, tu su još i solarni i geomagnetski pokazatelji čijom interpretacijom se određuje stanje svemirskog vremena koje može biti mirno, narušeno ili u procesu smirivanja. Upravo interpretacijom ovih pokazatelja određeno je stanje svemirskog vremena u ekvatorijalnom pojasu za period od 10. ožujka do 24. ožujka 2015. g.. Tako u ovom dvotjednom periodu prvih sedam dana je razdoblje mirnog svemirskog vremena, zatim slijede tri dana narušenog svemirskog vremena tj. razdoblje geomagnetske oluje a nakon toga slijedi razdoblje smirivanja svemirskog vremena.

Raščlambom problema i predmeta istraživanja ispunjena je svrha te ciljevi istraživanja koji su bili postavljeni. Izračunata su i analizirana odstupanja položaja za svaku referentnu stanicu u ekvatorijalnom pojasu te se pomoću tih rezultata došlo do spoznaja o utjecaju geomagnetske oluje na određivanje položaja u ovom području. Geomagnetska oluja imala je utjecaj na odstupanja sve tri koordinate no ipak su najveća odstupanja zabilježena kod nadmorske visine.

Analizirajući dobivene rezultate došlo se do spoznaje kako su odstupanja položaja u ekvatorijalnom pojasu u promatranom periodu bila vrlo značajna. Valja napomenuti kako su odstupanja prisutna kroz cijeli promatrani period, no posebno su naglašena za vrijeme trajanja geomagnetske oluje. Uzrok ovoj konstataciji krije se u samim karakteristikama ionosfere ekvatorijalnog pojasa koja ima svoje karakteristične pojave do kojih dolazi za geomagnetskih oluja kao što su ekvatorijalna anomalija ionizacije, ekvatorijalni elektojet i efekt fontane.

Osim analize i usporedbe rezultat dobivenih za referentne stanice u ekvatorijalnom pojasu, usporedba se napravila i s referentnim stanicama iz prijašnjih istraživanja koje se nalaze u umjerenom i polarnom pojasu. Ovom usporedbom došlo se do zaključka kako su položajna odstupanja za vrijeme geomagnetske oluje najveća na referentnim stanicama ekvatorijalnog pojasa.

LITERATURA

Astro učionica, online: <https://www.astroucionica.hr/zanimljivosti-o-suncu/>

Bilitza, D.: *Ionospheric Models for Radio Propagation Studies*, In: Stone, W.R., *Review of Radio Science 1999.-2002.*, New York: John Wiley and Sons, 2002.

Brčić, D.: *Model nespecifičnoga dnevnog hoda ionosferskog kašnjenja signala za satelitsko određivanje položaja*, Doktorski rad, Rijeka, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, 2015.

Briggs, R. P., Carlisle, R. J., Poppe, B.B.: *Solar Physics and Terrestrial Effects: A Curriculum Guide for Teachers*, Third Edition, Space Weather Prediction Center: National Oceanic and Atmospheric Administration, Boulder Colorado, 2016.

Britannica, online : <https://www.britannica.com/>

Dawoud, S.: *GNSS principles and comparison*, Postdam University, Germany, 2012.

E-škola astronomije, online: <https://eskola.zvezdarnica.hr/>

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E.: *GNSS –Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo & more*, Springer, New York, 2008.

Hrvatska enciklopedija, online: <https://www.enciklopedija.hr/>

Hunsucker, R. D., Hargreaves, J. K.: *The high-latitude ionosphere and its effects on radio propagation*. Cambridge: Cambridge University Press. 2003.

Kamide Y., Chian A.: *Handbook of the Solar-Terrestrial Environment*, New York: Springer Science and Business Media, 2006.

Kaplan, E. D., Hegarty, C.J.: *Understanding GPS: Principles and Application*. Second edition. Boston: Artech House, 2006.

Kos, S., Zorović, D., Vranić, D.: *Terestrička i elektronička navigacija*, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2010.

Jurki, D.: *Analiza utjecaja ionosferskog kašnjenja na satelitsko određivanje položaja sustavom GPS u polarnim predjelima*, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2023.

Misra, P., Enge, P. : *Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance*. Lincoln: Ganga-Jamuna Press, 2004.

Moldwin, M. : *An Introduction to Space Weather*, Cambridge University Press, Cambridge, 2008.

National Aeronautics and Space Administration (NASA), online: <https://www.nasa.gov/>

National Oceanic and Atmospheric Association's Space Weather Prediction (NOAA SWCP), Coronal Mass Ejections (CME) Space Weather Phenomena, online: <https://www.noaa.gov/>

Official U.S. government informacion about the Global Positioning System (GPS) and related topics, online: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

Parkinson, B.W., Spilker Jr., J.J: *Global Positioning System: Theory and Applications, Volume I.*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington DC, 1996.

Parkinson, B.W., Spilker, Jr. J.J.: *Global Positioning System: Theory and Applications*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington D.C., 1996.

Petrovski I., G., Tsujii, T.: *Digital Satellite Navigation and Geophysics*, Cambridge, 2012.

Petrovski, I., Tsujii, T.: *Digital Satellite Navigation and Geophysics: A practice guide with GNSS Signal Simulator and Receiver Laboratory*, New York: Cambridge University Press, 2012.

Pongračić, B.: *Statistička analiza geometrijskih ionosferskih učinaka na točnost položaja određenog GPS sustava u horizontalnoj ravnini*, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka 2016.

RStudio, What is R?, online: http://mercury.webster.edu/aleshunus/R_learning_infrastructure/Introduction_to_R_and_RStudio.html

Sanz Subirana, J., Juan Zornoza, J.M., Hernández-Pajares, M.: *GNSS Data Processing, Vol. 1: Fundamentals and Algorithms (ESA TM-23/1, May 2013)*, ESA Communications, Netherlands, 2013.

Schunk, R., Nagy, A.: *Ionospheres, Physics, Plasma Physics, and Chemistry*, Second Edition, Cambridge, Cambridge University Press, 2009.

Takasu, T.: *RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning*, 2011.

Teunissen P.J.G., Montenbruck O.: *Springer Handbook of Global Navigation Satellite System*, Springer International Publishing, 2017.

Teunissen, J. G. P., Montenbruck, O.: *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*, 2017.

Vujnović, V.: *Astronomija 2: Metode astrofizike, Sunce, zvijezde i galaksije*, III. izmijenjeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 2010.

William R. Corliss, *Space radiation*, United States Atomic Energy Commission, SAD, 1968.

Žic, A.: *Strukturna analiza odstupanja položaja određenih satelitskim navigacijskim sustavom GPS uslijed učinaka*, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, 2018.

POPIS SLIKA

Slika 1. Segmenti GPS sustava	5
Slika 2. GPS satelitska konstelacija	6
Slika 3. Kontrolni segment GPS sustava	7
Slika 4. Struktura navigacijske poruke GPS satelitskog signala	10
Slika 5. ECEF koordinatni sustav i ECI koordinatni sustav	11
Slika 6. Snellov zakon i refrakcija satelitskog signala prilikom prolaska atmosferom....	13
Slika 7. Različiti scenariji geometrijske razdiobe točnosti.....	21
Slika 8. Struktura Sunca	24
Slika 9. Sunčeve pjege.....	26
Slika 10. Polarna svjetlost - Aurora Borealis.....	27
Slika 11. Usmjeravanje repa kometa	28
Slika 12. Koronarni izbačaj mase CME	30
Slika 13. Prikaz dolaska čestica Sunčevog vjetra u Zemljinu magnetosferu.....	32
Slika 14. Slojevi atmosfere	33
Slika 15. Slojevi ionosfere.....	35
Slika 16. Pojednostavljeni prikaz ionosfere	40
Slika 17. Prikaz referentnih stanica.....	46
Slika 18. Prikaz Sunčevih pjega dana 10. ožujka 2015. (lijevo) i 24. ožujka 2015. (desno)	55
Slika 19. Grafički prikaz vrijednosti Kp pokazatelja u periodu od 10. ožujka 2015. do 24.ožujka 2015.	56
Slika 20. Prikaz vrijednosti Dst pokazatelja za period od 10. ožujka 2015. do 24. ožujka 2015.	57
Slika 21. Grafički prikaz ukupnog sadržaja elektrona (TEC) po danima za stanicu SALU.....	59
Slika 22. Grafički prikaz ukupnog sadržaja elektrona (TEC) po danima za stanicu MBAR.....	60
Slika 23. Modelirani zapisi (gore) i nemodelirani zapisi (dolje) za stanicu SALU u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015.g.	62
Slika 24. Histogrami odstupanja modeliranih zapisa (gore) i nemodeliranih zapisa (dolje) za stanicu SALU u periodu od 10.ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.....	64
Slika 25. 3D prikaz raspršenosti položajnih odstupanja modeliranih zapisa (lijevo) i nemodeliranih zapisa (desno) za stanicu SALU u periodu od 10.ožujka 2015.g. do 24.ožujka 2015.g.	65
Slika 26. Prikaz reziaduala za stanicu SALU u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.	66

Slika 27. Vrijednosti modeliranih zapisa za stanicu NKLG u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.	67
Slika 28. Modelirani zapisi (gore) i nemodelirani zapisi (dolje) za stanicu NKLG u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.	68
Slika 29. Histogrami odstupanja modeliranih zapisa (gore) i nemodeliranih zapisa (dolje) za stanicu NKLG u periodu od 10.ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015.g.	70
Slika 30. 3D prikaz raspršenosti položajnih odstupanja modeliranih zapisa (lijevo) i nemodeliranih zapisa (desno) za stanicu NKLG u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.	70
Slika 31. Prikaz reziduala za stanicu NKLG u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.	71
Slika 32. Modelirani zapisi (gore) i nemodelirani zapisi (dolje) za stanicu MBAR u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.	73
Slika 33. Histogrami odstupanja modeliranih zapisa (gore) i nemodeliranih zapisa (dolje) za stanicu MBAR u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.	75
Slika 34. 3D prikaz raspršenosti položajnih odstupanja modeliranih zapisa (lijevo) i nemodeliranih zapisa (desno) za stanicu MBAR u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.	76
Slika 35. Prikaz reziduala za stanicu MBAR u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.	77
Slika 36. Prikaz referentnih stanica korištenih u usporedbi rezultata	78
Slika 37. Prikaz položajnih odstupanja za stanicu NYA.....	80
Slika 38. Prikaz položajnih odstupanja za stanicu PADO	80
Slika 39. Prikaz položajnih odstupanja za stanicu SALU	81
Slika 40. Ukupni sadržaj elektrona za stanicu NYA	82
Slika 41. Ukupni sadržaj elektrona za stanicu PADO.....	82
Slika 42. Ukupni sadržaj elektrona za stanicu SALU	83

POPIS TABLICA

Tablica 1. Struktura GPS satelitskog signala	9
Tablica 2. Podaci o referentnim stanicama	46
Tablica 3. Prikaz ukupnog sadržaja elektrona (TEC) po danima za stanicu SALU	58
Tablica 4. Prikaz ukupnog sadržaja elektrona (TEC) po danima za stanicu MBAR.....	60
Tablica 5. Vrijednosti modeliranih zapisa za stanicu SALU u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.	61
Tablica 6. Vrijednosti nemodeliranih zapisa za stanicu SALU u periodu 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.....	62
Tablica 7. Prikaz odstupanja po danima za stanicu SALU u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.....	63
Tablica 8. Reziduali za stanicu SALU u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.	65
Tablica 9. Vrijednosti nemodeliranih zapisa za stanicu NKLG u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.	67
Tablica 10. Prikaz odstupanja po danima za stanicu NKLG u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.	69
Tablica 11. Reziduali za stanicu NKLG u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.	71
Tablica 12. Vrijednosti modeliranih zapisa za stanicu MBAR u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.....	72
Tablica 13. Vrijednosti nemodeliranih zapisa za stanicu MBAR u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.....	73
Tablica 14. Prikaz odstupanja po danima za stanicu MBAR u periodu od 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015. g.....	74
Tablica 15. Reziduali za stanicu MABR u periodu 10. ožujka 2015.g. do 24. ožujka 2015.g.	76
Tablica 16. Podaci o referentnim stanicama.....	79
Tablica 17. Reziduali za stanicu NYA u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.	84
Tablica 18. Reziduali za stanicu SALU u periodu od 10. ožujka 2015. g. do 24. ožujka 2015. g.	84

PRILOG 1 PROGRAMSKI KOD

```
files_pos_salu_ON<-Sys.glob('*ON*.pos')

pos_salu_ON<-lapply(files_pos_salu_ON, function(x) read.csv(x, skip=12, sep = ','))

pos_salu_ON<-lapply(pos_salu_ON, function(x) x[1:4])

ref_pos<-c(-2.5934583333, -44.2124777778, 18.9)

dev_mtr <- function(ref_pos,df) {

  d_lat<-(ref_pos[1]-df[,2])

  d_lon<-(ref_pos[2]-df[,3])

  d_h<-(ref_pos[3]-df[,4])

  cos_lat<-(cos(ref_pos[1]*pi/180))

  lat_m<-(d_lat*60*1852)

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

  df$lat_m<-lat_m

  df$lon_m<-lon_m

  df$h_m<-d_h

  return(df)

}

pos_salu_ON<-lapply(pos_salu_ON,function(x) dev_mtr(ref_pos,x))

POS_salu_ON<-do.call(rbind.data.frame,pos_salu_ON)

cols = c("time","lat", "lon", "height", "lat_m", "lon_m", "h_m")

colnames(POS_salu_ON)<-cols

POS_salu_ON$time<-as.POSIXct(POS_salu_ON$time)

plot(x = POS_salu_ON$time, y =POS_salu_ON$lat_m, col="red",ylim=c(min(POS_salu_ON$h_m),
max(POS_salu_ON$h_m)), type='l',

      main = 'IGS SALU: Odstupanje za modelirane vrijednosti - DOY 069 - 082 /2015', xlab = 'Vrijeme (dani)',

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

```

grid(nx = NULL, ny = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted")

points(x = POS_salu_ON$time, y = POS_salu_ON$lon_m, col = 'blue', type='l')

points(x = POS_salu_ON$time, y = POS_salu_ON$h_m, col = 'darkgreen', type='l')

legend("bottomleft", legend=c("lat_m", "lon_m", "h_m"),

      col=c("red", "blue", "darkgreen"), bg="transparent", lty=c(1,1), cex=0.8)

summary(POS_salu_ON)

summary(POS_salu_ON$lat_m)

rows<-names(summary(POS_salu_ON$lat_m))

summary_lat_m_salu_ON<-as.data.frame(matrix(summary(POS_salu_ON$lat_m)))

summary_lat_m_salu_ON<-rbind(summary_lat_m_salu_ON,sd(POS_salu_ON$lat_m))

summary(POS_salu_ON$lon_m)

rows<-names(summary(POS_salu_ON$lon_m))

summary_lon_m_salu_ON<-as.data.frame(matrix(summary(POS_salu_ON$lon_m)))

summary_lon_m_salu_ON<-rbind(summary_lon_m_salu_ON,sd(POS_salu_ON$lon_m))

summary(POS_salu_ON$h_m)

rows<-names(summary(POS_salu_ON$h_m))

summary_h_m_salu_ON<-as.data.frame(matrix(summary(POS_salu_ON$h_m)))

summary_h_m_salu_ON<-rbind(summary_h_m_salu_ON,sd(POS_salu_ON$h_m))

cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m')

stats_salu_ON<-cbind.data.frame(summary_lat_m_salu_ON,summary_lon_m_salu_ON,
summary_h_m_salu_ON)

rownames(stats_salu_ON)<-c(rows, 'sd')

colnames(stats_salu_ON)<-cols

print(stats_salu_ON)

write.csv(file='stats_salu_ON.csv', stats_salu_ON)

POS_salu_ON_069 <- pos_salu_ON[[1]]

```

```

POS_salu_ON_070 <- pos_salu_ON[[2]]

POS_salu_ON_071 <- pos_salu_ON[[3]]

POS_salu_ON_072 <- pos_salu_ON[[4]]

POS_salu_ON_073 <- pos_salu_ON[[5]]

POS_salu_ON_074 <- pos_salu_ON[[6]]

POS_salu_ON_075 <- pos_salu_ON[[7]]

POS_salu_ON_076 <- pos_salu_ON[[8]]

POS_salu_ON_077 <- pos_salu_ON[[9]]

POS_salu_ON_078 <- pos_salu_ON[[10]]

POS_salu_ON_079 <- pos_salu_ON[[11]]

POS_salu_ON_080 <- pos_salu_ON[[12]]

POS_salu_ON_081 <- pos_salu_ON[[13]]

POS_salu_ON_082 <- pos_salu_ON[[14]]

stats_salu_ON_all<-list(POS_salu_ON_069, POS_salu_ON_070, POS_salu_ON_071, POS_salu_ON_072,
POS_salu_ON_073, POS_salu_ON_074, POS_salu_ON_075, POS_salu_ON_076, POS_salu_ON_077,
POS_salu_ON_078, POS_salu_ON_079, POS_salu_ON_080, POS_salu_ON_081, POS_salu_ON_082)

stats_salu_ON_all<-lapply(stats_salu_ON_all, function(x) x[5:7])

stats_salu_ON_all<-lapply(stats_salu_ON_all,function(x) summary(x))

stats_salu_ON_all<-do.call(cbind.data.frame,stats_salu_ON_all)

cols=c("DOY069", "variabla069", "069", "DOY070", "variabla070", "070", "DOY071", "variabla071",
"071","DOY072", "variabla072", "072", "DOY073", "variabla073", "073", "DOY074", "variabla074", "074",
"DOY075", "variabla075", "075", "DOY076", "variabla076", "076", "DOY077", "variabla077", "077",
"DOY078", "variabla078", "078","DOY079", "variabla079", "079", "DOY080", "variabla080", "080",
"DOY081", "variabla081", "081", "DOY082", "variabla082", "082")

rows=c("lat_m_min","lat_m_1stQ", "lat_m_median", "lat_m_mean","lat_m_3rdQ",
"lat_m_max","lon_m_min","lon_m_1stQ", "lon_m_median", "lon_m_mean","lon_m_3rdQ", "lon_m_max",
"h_m_min","h_m_1stQ", "h_m_median", "h_m_mean","h_m_3rdQ", "h_m_max")

colnames(stats_salu_ON_all)<-cols

```



```

rownames(stats_salu_ON_all)<-rows

stats_salu_ON_all<-stats_salu_ON_all[,c(3,6,9,12,15,18,21,24,27,30,33,36,39,42)]

stats_salu_ON_all<-sapply(stats_salu_ON_all, function(x) gsub(".*:", "", x))

rownames(stats_salu_ON_all)<-rows

print(stats_salu_ON_all)

write.csv(file='stats_salu_ON_all.csv', stats_salu_ON_all)

par(mfrow=c(1,3))

hist(POS_salu_ON$lat_m, col="red",

     xlab="Odstupanja geografske sirine (m)",

     ylab="Ucestalost", breaks=20,

     main="Geografska sirina")

hist(POS_salu_ON$lon_m, col="blue",

     xlab="Odstupanja geografske duljine (m)",

     ylab="Ucestalost", breaks=20,

     main="Geografska duljina")

hist(POS_salu_ON$h_m, col="darkgreen",

     xlab="Odstupanja nadmorske visine (m)",

     ylab="Ucestalost", breaks=20,

     main="Nadmorska visina")

par(mfrow=c(1,1))

plot(POS_salu_ON$lon_m, POS_salu_ON$lat_m, col="red",

     ylab="Odstupanje geografske sirine (m)",

     xlab="Odstupanje geografske duljine (m)",

     main="IGS SALU DOY069-082/2015")

points(POS_salu_ON$lon_m, POS_salu_ON$lat_m, col="blue")

```

```

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

library("scatterplot3d")

scatterplot3d(POS_salu_ON$lat_m, POS_salu_ON$lon_m,

              POS_salu_ON$h_m, angle=235, pch = 16,

              color='red', main="IGS SALU 3D Prikaz rasporenosti položajnih odstupanja za

              modelirane vrijednosti - 069 - 082 / 2015",

              xlab = "Odstupanja geografske sirine [m]",

              ylab = "Odstupanja geografske duljine [m]",

              zlab = "Odstupanja nadmorske visine [m]")

files_pos_salu_OFF<-Sys.glob('*OFF*.pos')

pos_salu_OFF<-lapply(files_pos_salu_OFF, function(x) read.csv(x, skip=12, sep = ','))

pos_salu_OFF<-lapply(pos_salu_OFF, function(x) x[1:4])

ref_pos<-c(-2.5934583333, -44.2124777778, 18.9)

dev_mtr <- function(ref_pos,df) {

  d_lat<-(ref_pos[1]-df[,2])

  d_lon<-(ref_pos[2]-df[,3])

  d_h<-(ref_pos[3]-df[,4])

  cos_lat<-(cos(ref_pos[1]*pi/180))

  lat_m<-(d_lat*60*1852)

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

  df$lat_m<-lat_m

  df$lon_m<-lon_m

  df$h_m<-d_h

  return(df)

}

```

```

pos_salu_OFF<-lapply(pos_salu_OFF,function(x) dev_mtr(ref_pos,x))

POS_salu_OFF<-do.call(rbind.data.frame,pos_salu_OFF)

cols = c("time","lat", "lon", "height", "lat_m", "lon_m", "h_m")

colnames(POS_salu_OFF)<-cols

POS_salu_OFF$time<-as.POSIXct(POS_salu_OFF$time)

plot(x = POS_salu_OFF$time, y =POS_salu_OFF$lat_m, col="red",ylim=c(min(POS_salu_OFF$h_m),
max(POS_salu_OFF$h_m)), type='l',

      main = 'IGS SALU: Odstupanje za nemodelirane vrijednosti - 069 - 082 / 2015', xlab = 'Vrijeme (dani)',

      ylab ='Odstupanja (m)')

grid(nx = NULL, ny = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted")

points(x = POS_salu_OFF$time, y = POS_salu_OFF$lon_m, col ='blue', type='l')

points(x = POS_salu_OFF$time, y = POS_salu_OFF$h_m, col ='darkgreen',type='l')

legend("bottomleft", legend=c("lat_m", "lon_m", "h_m"),

      col=c("red", "blue", "darkgreen"), bg="transparent", lty=c(1,1), cex=0.8)

summary(POS_salu_OFF)

summary(POS_salu_OFF$lat_m)

rows<-names(summary(POS_salu_OFF$lat_m))

summary_lat_m_salu_OFF<-as.data.frame(matrix(summary(POS_salu_OFF$lat_m)))

summary_lat_m_salu_OFF<-rbind(summary_lat_m_salu_OFF,sd(POS_salu_OFF$lat_m))

summary(POS_salu_OFF$lon_m)

rows<-names(summary(POS_salu_OFF$lon_m))

summary_lon_m_salu_OFF<-as.data.frame(matrix(summary(POS_salu_OFF$lon_m)))

summary_lon_m_salu_OFF<-rbind(summary_lon_m_salu_OFF,sd(POS_salu_OFF$lon_m))

summary(POS_salu_OFF$h_m)

rows<-names(summary(POS_salu_OFF$h_m))

summary_h_m_salu_OFF<-as.data.frame(matrix(summary(POS_salu_OFF$h_m)))

```

```

summary_h_m_salu_OFF<-rbind(summary_h_m_salu_OFF,sd(POS_salu_OFF$h_m))

cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m')

stats_salu_OFF<-cbind.data.frame(summary_lat_m_salu_OFF,summary_lon_m_salu_OFF,
summary_h_m_salu_OFF)

rownames(stats_salu_OFF)<-c(rows, 'sd')

colnames(stats_salu_OFF)<-cols

print(stats_salu_OFF)

write.csv(file='stats_salu_OFF.csv', stats_salu_OFF)

POS_salu_OFF_069 <- pos_salu_OFF[[1]]

POS_salu_OFF_070 <- pos_salu_OFF[[2]]

POS_salu_OFF_071 <- pos_salu_OFF[[3]]

POS_salu_OFF_072 <- pos_salu_OFF[[4]]

POS_salu_OFF_073 <- pos_salu_OFF[[5]]

POS_salu_OFF_074 <- pos_salu_OFF[[6]]

POS_salu_OFF_075 <- pos_salu_OFF[[7]]

POS_salu_OFF_076 <- pos_salu_OFF[[8]]

POS_salu_OFF_077 <- pos_salu_OFF[[9]]

POS_salu_OFF_078 <- pos_salu_OFF[[10]]

POS_salu_OFF_079 <- pos_salu_OFF[[11]]

POS_salu_OFF_080 <- pos_salu_OFF[[12]]

POS_salu_OFF_081 <- pos_salu_OFF[[13]]

POS_salu_OFF_082 <- pos_salu_OFF[[14]]

stats_salu_OFF_all<-list(POS_salu_OFF_069, POS_salu_OFF_070, POS_salu_OFF_071, POS_salu_OFF_072,
POS_salu_OFF_073, POS_salu_OFF_074, POS_salu_OFF_075, POS_salu_OFF_076, POS_salu_OFF_077,
POS_salu_OFF_078, POS_salu_OFF_079, POS_salu_OFF_080, POS_salu_OFF_081, POS_salu_OFF_082)

stats_salu_OFF_all<-lapply(stats_salu_OFF_all, function(x) x[5:7])

stats_salu_OFF_all<-lapply(stats_salu_OFF_all,function(x) summary(x))

```

```

stats_salu_OFF_all<-do.call(cbind.data.frame,stats_salu_OFF_all)

cols=c("DOY069", "varijabla069", "069", "DOY070", "varijabla070", "070", "DOY071", "varijabla071",
"071","DOY072", "varijabla072", "072", "DOY073", "varijabla073", "073", "DOY074", "varijabla074", "074",
"DOY075", "varijabla075", "075", "DOY076", "varijabla076", "076", "DOY077", "varijabla077", "077",
"DOY078", "varijabla078", "078","DOY079", "varijabla079", "079", "DOY080", "varijabla080", "080",
"DOY081", "varijabla081", "081", "DOY082", "varijabla082", "082")

rows=c("lat_m_min","lat_m_1stQ",          "lat_m_median",          "lat_m_mean","lat_m_3rdQ",
"lat_m_max","lon_m_min","lon_m_1stQ",  "lon_m_median",  "lon_m_mean","lon_m_3rdQ",  "lon_m_max",
"h_m_min","h_m_1stQ", "h_m_median", "h_m_mean","h_m_3rdQ", "h_m_max")

colnames(stats_salu_OFF_all)<-cols

rownames(stats_salu_OFF_all)<-rows

stats_salu_OFF_all<-stats_salu_OFF_all[,c(3,6,9,12,15,18,21,24,27,30,33,36,39,42)]

stats_salu_OFF_all<-sapply(stats_salu_OFF_all, function(x) gsub(".*:", "", x))

rownames(stats_salu_OFF_all)<-rows

print(stats_salu_OFF_all)

write.csv(file='stats_salu_OFF_all.csv', stats_salu_OFF_all)

par(mfrow=c(1,3))

hist(POS_salu_OFF$lat_m, col="red",

      xlab="Odstupanja geografske sirine (m)",

      ylab="Ucestalost", breaks=20,

      main="Geografska sirina")

hist(POS_salu_OFF$lon_m, col="blue",

      xlab="Odstupanja geografske duljine (m)",

      ylab="Ucestalost", breaks=20,

      main="Geografska duljina")

hist(POS_salu_OFF$h_m, col="darkgreen",

      xlab="Odstupanja nadmorske visine (m)",

      ylab="Ucestalost", breaks=20,

```

```

    main="Nadmorska visina")

par(mfrow=c(1,1))

plot(POS_salu_OFF$lon_m, POS_salu_OFF$lat_m, col="red",

     ylab="Odstupanje geografske sirine (m)",

     xlab="Odstupanje geografske duljine (m)",

     main="IGS NKLK DOY069-082/2015")

points(POS_salu_OFF$lon_m, POS_salu_OFF$lat_m, col="blue")

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

library("scatterplot3d")

scatterplot3d(POS_salu_OFF$lat_m, POS_salu_OFF$lon_m,

              POS_salu_OFF$h_m, angle=235, pch =16,

              color='red', main="IGS SALU 3D Prikaz rasporenosti položajnih odstupanja za

              nemodelirane vrijednosti - 069 - 082 / 2015",

              xlab = "Odstupanja geografske sirine [m]",

              ylab = "Odstupanja geografske duljine [m]",

              zlab = "Odstupanja nadmorske visine [m]")

salu_files_on <- Sys.glob("*salu*_ON.pos")

salu_files_off<-Sys.glob("*salu*_OFF.pos")

salu_iono_on<-lapply(salu_files_on, function(x) read.csv(x, skip=12))

salu_iono_on<-lapply(salu_iono_on, function(x) x[1:4])

salu_iono_off<-lapply(salu_files_off, function(x) read.csv(x, skip=12))

salu_iono_off<-lapply(salu_iono_off, function(x) x[1:4])

c_names<-c("Time", "lat", "lon", "H")

salu_iono_on<-lapply(salu_iono_on, setNames, c_names)

salu_iono_off<-lapply(salu_iono_off, setNames, c_names)

```

```

salu_ref_pos<-c(-2.5934583333,-44.2124777778,18.9)

dev_mtr <- function(salu_ref_pos,df) {

  d_lat<-(salu_ref_pos[1]-df[,2])

  d_lon<-(salu_ref_pos[2]-df[,3])

  d_h<-(salu_ref_pos[3]-df[,4])

  cos_lat<-(cos(salu_ref_pos[1]*pi/180))

  lat_m<-(d_lat*60*1852)

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

  df$lat_m<-lat_m

  df$lon_m<-lon_m

  df$h_m<-d_h

  return(df)

}

salu_dev_on<-lapply(salu_iono_on,function(x)

  dev_mtr(salu_ref_pos,x))

salu_dev_off<-lapply(salu_iono_off,function(x)

  dev_mtr(salu_ref_pos,x))

salu_POS_ON<-do.call(rbind.data.frame,salu_dev_on)

salu_cols_on = c("Time","salu_Lat", "salu_Lon", "salu_Nadmorska visina",

  "salu_lat_m_on", "salu_lon_m_on", "salu_h_m_on")

colnames(salu_POS_ON)<-salu_cols_on

salu_POS_ON$Time<-as.POSIXct(salu_POS_ON$Time)

salu_POS_OFF<-do.call(rbind.data.frame,salu_dev_off)

salu_cols_off = c("Time","salu_Lat", "salu_Lon", "salu_Nadmorska

visina", "salu_lat_m_off", "salu_lon_m_off", "salu_h_m_off")

```

```

colnames(salu_POS_OFF)<-salu_cols_off

salu_POS_OFF$Time<-as.POSIXct(salu_POS_OFF$Time)

salu_stat_data_pos_on<-summary(salu_POS_ON[,5:7])

print(salu_stat_data_pos_on)

write.csv(salu_stat_data_pos_on, "salu_stat_data_pos_on.csv")

salu_stat_data_pos_off<-summary(salu_POS_OFF[,5:7])

print(salu_stat_data_pos_off)

write.csv(salu_stat_data_pos_off, "salu_stat_data_pos_off.csv")

salu_rez_lat<-salu_POS_OFF$salu_lat_m_off-salu_POS_ON$salu_lat_m_on

salu_rez_lon <- salu_POS_OFF$salu_lon_m_off-salu_POS_ON$salu_lon_m_on

salu_rez_h <- salu_POS_OFF$salu_h_m_off-salu_POS_ON$salu_h_m_on

salu_rez_lat_stats<-summary(salu_rez_lat)

print(summary(salu_rez_lat))

salu_rez_lon_stats<-summary(salu_rez_lon)

print(summary(salu_rez_lon))

salu_rez_h_stats<-summary(salu_rez_h)

print(summary(salu_rez_h))

salu_residuals_stats<-

  as.data.frame(cbind(salu_rez_h_stats,salu_rez_lon_stats,salu_rez_lat_stats)

)

write.csv(salu_residuals_stats,"salu_residuals_stats.csv")

salu_rez<-as.data.frame(cbind(salu_rez_lat, salu_rez_lon, salu_rez_h))

salu_rez$Time<-salu_POS_OFF$Time

library("ggplot2")

g<-ggplot(salu_rez, aes(Time, color = Legend)) +

```



```

geom_line(aes(y = salu_rez_lat, color = "Reziduali geografske sirine
[m]"))+

geom_line(aes(y = salu_rez_lon, color = "Reziduali geografske duljine
[m]"))+

geom_line(aes(y = salu_rez_h, color = "Reziduali nadmorske visine
[m]"))+

scale_color_manual(values=c('red','blue','green'))+

ggtitle("IGS SALU - Reziduali polozejnih odstupanja

0690 - 0820 / 2015")+

ylab("Reziduali polozejnih odstupanja [m]")+xlab("Vrijeme (dani)")+

theme_minimal()+

theme(legend.position = "right")

g

files_pos_salu_ON<-Sys.glob('*ON*.pos')

pos_salu_ON<-lapply(files_pos_salu_ON, function(x) read.csv(x, skip=12, sep = ','))

pos_salu_ON<-lapply(pos_salu_ON, function(x) x[1:4])

pos_salu_ON <- do.call(rbind, pos_salu_ON)

pos_salu_ON$X...GPST<-as.POSIXct(pos_salu_ON$X...GPST)

cols = c("GPST", "lat", "lon", "height")

colnames(pos_salu_ON)<-cols

files_tec <- Sys.glob("salu*.Std")

tec<-lapply(files_tec, function(x) read.csv(x, header=FALSE, sep = ','))

tec<-lapply(tec, function(x) x[1:2])

for (i in 1:length(tec)) {

colnames(tec[[i]]) <- c("time", "TEC")

```

```

}

tec <- do.call(rbind, tec)

tec$GPST<-pos_salu_ON$GPST

tec<-tec[,2:3]

files_geom<-Sys.glob('ttb*.min')

geom<-lapply(files_geom, function(x) read.csv(x, skip=21, sep = ','))

geom<-lapply(geom, function(x) x[1:6])

for (j in 1:length(geom)) {

  colnames(geom[[j]]) <- c("Date", "Time", "DOY", "X", "Y", "Z")

}

geom<-do.call(rbind, geom)

fctr.col<-c("Date", "Time")

geom[, fctr.col] <- sapply(geom[, fctr.col], as.character)

geom$GPST <- paste(geom$Date,geom$Time)

geom$GPST<-as.POSIXct(geom$GPST)

geom <- geom[,4:7]

lat<--2.5934583333

lon<-44.2124777778

h<- 18.9

d_lat<-(lat-pos_salu_ON$lat)

d_lon<-(lon-pos_salu_ON$lon)

d_h<-(h-pos_salu_ON$height)

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

lat_m<-(d_lat*60*1852)

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

```

```

dev<-as.data.frame(cbind(lat_m, lon_m, d_h))

dev$GPST<-pos_salu_ON$GPST

write.csv(file='pos_devs_salu (edit).csv', dev,row.names = FALSE)

total <- merge(tec,dev,by="GPST", all.x=TRUE)

total <- merge(total, geom, by = "GPST", all.x = TRUE)

summary(total)

write.csv(file='all_observations_salu (edited).csv', total, row.names = FALSE)

stats<-lapply(total, function(x) matrix(summary(x)))

stats<-lapply(stats, function(x) as.data.frame(x))

stats<-lapply(stats, function(x) x[1:6,])

stats<-do.call(cbind.data.frame, stats)

row.names(stats)<-c("MIN", "1stQ","Median","Mean","3rdQ","MAX")

stats<-stats[,2:8]

summary(stats)

plot(x = total$GPST, y= total$TEC, col="red",ylim=c(min(stats$TEC), max(stats$TEC)), type = 'l',

      main = 'Ukupni sadrzaj elektrona (TEC) za stanicu SALU, DOY 069 - 082 / 2015', xlab = 'Vrijeme (h)',

      ylab = 'TEC [TECU]')

total$Date <- as.Date(total$GPST)

split_data <- split(total, total$Date)

for (i in 1:length(split_data)) {

  date <- as.Date(names(split_data)[i])

  filename <- paste0("TEC_values_", format(date, "%Y-%m-%d"), ".csv")

  tec_values <- paste0("", as.character(split_data[[i]]$TEC))

  write.csv(tec_values, file = filename, row.names = FALSE)

}

```

```

total$Date <- as.Date(total$GPST)

split_data <- split(total, total$Date)

summary_stats <- lapply(split_data, function(df) {

  result <- c(

    MIN = min(df$TEC),

    "1stQ" = quantile(df$TEC, 0.25),

    Median = median(df$TEC),

    Mean = mean(df$TEC),

    "3rdQ" = quantile(df$TEC, 0.75),

    MAX = max(df$TEC)

  )

  result

})

summary_data <- do.call(rbind, summary_stats)

row.names(summary_data) <- names(split_data)

write.csv(summary_data, file = "TEC_summary_stats.csv", row.names = TRUE)

files_pos_nklg_ON<-Sys.glob('*ON*.pos')

pos_nklg_ON<-lapply(files_pos_nklg_ON, function(x) read.csv(x, skip=12, sep = ','))

pos_nklg_ON<-lapply(pos_nklg_ON, function(x) x[1:4])

ref_pos<-c(0.3539077106 , 9.6721262689, 31.5000)

dev_mtr <- function(ref_pos,df) {

  d_lat<-(ref_pos[1]-df[,2])

  d_lon<-(ref_pos[2]-df[,3])

  d_h<-(ref_pos[3]-df[,4])

  cos_lat<-(cos(ref_pos[1]*pi/180))

```

```

lat_m<-(d_lat*60*1852)

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

df$lat_m<-lat_m

df$lon_m<-lon_m

df$h_m<-d_h

return(df)

}

pos_nklg_ON<-lapply(pos_nklg_ON,function(x) dev_mtr(ref_pos,x))

POS_nklg_ON<-do.call(rbind.data.frame,pos_nklg_ON)

cols = c("time", "lat", "lon", "height", "lat_m", "lon_m", "h_m")

colnames(POS_nklg_ON)<-cols

POS_nklg_ON$time<-as.POSIXct(POS_nklg_ON$time)

plot(x = POS_nklg_ON$time, y = POS_nklg_ON$lat_m, col="red",ylim=c(min(POS_nklg_ON$h_m),
max(POS_nklg_ON$h_m)), type='l',

      main = 'IGS NKLK: Odstupanje za modelirane vrijednosti - DOY 069 - 082 /2015', xlab = 'Vrijeme (dani)',

      ylab ='Odstupanja (m)')

grid(nx = NULL, ny = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted")

points(x = POS_nklg_ON$time, y = POS_nklg_ON$lon_m, col='blue', type='l')

points(x = POS_nklg_ON$time, y = POS_nklg_ON$h_m, col ='darkgreen',type='l')

legend("bottomleft", legend=c("lat_m", "lon_m", "h_m"),

      col=c("red", "blue", "darkgreen"), bg="transparent", lty=c(1,1), cex=0.8)

summary(POS_nklg_ON)

summary(POS_nklg_ON$lat_m)

rows<-names(summary(POS_nklg_ON$lat_m))

summary_lat_m_nklg_ON<-as.data.frame(matrix(summary(POS_nklg_ON$lat_m)))

summary_lat_m_nklg_ON<-rbind(summary_lat_m_nklg_ON,sd(POS_nklg_ON$lat_m))

```

```

summary(POS_nklg_ON$lon_m)

rows<-names(summary(POS_nklg_ON$lon_m))

summary_lon_m_nklg_ON<-as.data.frame(matrix(summary(POS_nklg_ON$lon_m)))

summary_lon_m_nklg_ON<-rbind(summary_lon_m_nklg_ON,sd(POS_nklg_ON$lon_m))

summary(POS_nklg_ON$h_m)

rows<-names(summary(POS_nklg_ON$h_m))

summary_h_m_nklg_ON<-as.data.frame(matrix(summary(POS_nklg_ON$h_m)))

summary_h_m_nklg_ON<-rbind(summary_h_m_nklg_ON,sd(POS_nklg_ON$h_m))

cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m')

stats_nklg_ON<-cbind.data.frame(summary_lat_m_nklg_ON,summary_lon_m_nklg_ON,
summary_h_m_nklg_ON)

rownames(stats_nklg_ON)<-c(rows, 'sd')

colnames(stats_nklg_ON)<-cols

print(stats_nklg_ON)

write.csv(file='stats_nklg_ON.csv', stats_nklg_ON)

POS_nklg_ON_069 <- pos_nklg_ON[[1]]

POS_nklg_ON_070 <- pos_nklg_ON[[2]]

POS_nklg_ON_071 <- pos_nklg_ON[[3]]

POS_nklg_ON_072 <- pos_nklg_ON[[4]]

POS_nklg_ON_073 <- pos_nklg_ON[[5]]

POS_nklg_ON_074 <- pos_nklg_ON[[6]]

POS_nklg_ON_075 <- pos_nklg_ON[[7]]

POS_nklg_ON_076 <- pos_nklg_ON[[8]]

POS_nklg_ON_077 <- pos_nklg_ON[[9]]

POS_nklg_ON_078 <- pos_nklg_ON[[10]]

POS_nklg_ON_079 <- pos_nklg_ON[[11]]

```

```

POS_nklg_ON_080 <- pos_nklg_ON[[12]]

POS_nklg_ON_081 <- pos_nklg_ON[[13]]

POS_nklg_ON_082 <- pos_nklg_ON[[14]]

stats_nklg_ON_all<-list(POS_nklg_ON_069, POS_nklg_ON_070, POS_nklg_ON_071, POS_nklg_ON_072,
POS_nklg_ON_073, POS_nklg_ON_074, POS_nklg_ON_075, POS_nklg_ON_076, POS_nklg_ON_077,
POS_nklg_ON_078, POS_nklg_ON_079, POS_nklg_ON_080, POS_nklg_ON_081, POS_nklg_ON_082)

stats_nklg_ON_all<-lapply(stats_nklg_ON_all, function(x) x[5:7])

stats_nklg_ON_all<-lapply(stats_nklg_ON_all,function(x) summary(x))

stats_nklg_ON_all<-do.call(cbind.data.frame,stats_nklg_ON_all)

cols=c("DOY069", "varijabla069", "069", "DOY070", "varijabla070", "070", "DOY071", "varijabla071",
"071","DOY072", "varijabla072", "072", "DOY073", "varijabla073", "073", "DOY074", "varijabla074", "074",
"DOY075", "varijabla075", "075", "DOY076", "varijabla076", "076", "DOY077", "varijabla077", "077",
"DOY078", "varijabla078", "078","DOY079", "varijabla079", "079", "DOY080", "varijabla080", "080",
"DOY081", "varijabla081", "081", "DOY082", "varijabla082", "082")

rows=c("lat_m_min","lat_m_1stQ", "lat_m_median", "lat_m_mean","lat_m_3rdQ",
"lat_m_max","lon_m_min","lon_m_1stQ", "lon_m_median", "lon_m_mean","lon_m_3rdQ", "lon_m_max",
"h_m_min","h_m_1stQ", "h_m_median", "h_m_mean","h_m_3rdQ", "h_m_max")

colnames(stats_nklg_ON_all)<-cols

rownames(stats_nklg_ON_all)<-rows

stats_nklg_ON_all<-stats_nklg_ON_all[,c(3,6,9,12,15,18,21,24,27,30,33,36,39,42)]

stats_nklg_ON_all<-sapply(stats_nklg_ON_all, function(x) gsub(".*:", "", x))

rownames(stats_nklg_ON_all)<-rows

print(stats_nklg_ON_all)

write.csv(file='stats_nklg_ON_all.csv', stats_nklg_ON_all)

par(mfrow=c(1,3))

hist(POS_nklg_ON$lat_m, col="red",

      xlab="Odstupanja geografske sirine (m)",

      ylab="Ucestalost", breaks=20,

```

```

    main="Geografska sirina")

hist(POS_nklg_ON$lon_m, col="blue",

    xlab="Odstupanja geografske duljine (m)",

    ylab="Ucestalost", breaks=20,

    main="Geografska duljina")

hist(POS_nklg_ON$h_m, col="darkgreen",

    xlab="Odstupanja nadmorske visine (m)",

    ylab="Ucestalost", breaks=20,

    main="Nadmorska visina")

par(mfrow=c(1,1))

plot(POS_nklg_ON$lon_m, POS_nklg_ON$lat_m, col="red",

    ylab="Odstupanje geografske sirine (m)",

    xlab="Odstupanje geografske duljine (m)",

    main="IGS NKLK DOY069-082/2015")

points(POS_nklg_ON$lon_m, POS_nklg_ON$lat_m, col="blue")

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

library("scatterplot3d")

scatterplot3d(POS_nklg_ON$lat_m, POS_nklg_ON$lon_m,

    POS_nklg_ON$h_m, angle=235, pch=16,

    color='red', main="IGS NKLK 3D Prikaz rasporenosti položajnih odstupanja za

    modelirane vrijednosti - 069 - 082 / 2015",

    xlab = "Odstupanja geografske sirine [m]",

    ylab = "Odstupanja geografske duljine [m]",

    zlab = "Odstupanja nadmorske visine [m]")

files_pos_nklg_OFF<-Sys.glob('*OFF*.pos')

```



```

pos_nklg_OFF<-lapply(files_pos_nklg_OFF, function(x) read.csv(x, skip=12, sep = ','))

pos_nklg_OFF<-lapply(pos_nklg_OFF, function(x) x[1:4])

ref_pos<-c(0.3539077106, 9.6721262689, 31.5000)

dev_mtr <- function(ref_pos,df) {

  d_lat<-(ref_pos[1]-df[,2])

  d_lon<-(ref_pos[2]-df[,3])

  d_h<-(ref_pos[3]-df[,4])

  cos_lat<-(cos(ref_pos[1]*pi/180))

  lat_m<-(d_lat*60*1852)

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

  df$lat_m<-lat_m

  df$lon_m<-lon_m

  df$h_m<-d_h

  return(df)

}

pos_nklg_OFF<-lapply(pos_nklg_OFF,function(x) dev_mtr(ref_pos,x))

POS_nklg_OFF<-do.call(rbind.data.frame,pos_nklg_OFF)

cols = c("time", "lat", "lon", "height", "lat_m", "lon_m", "h_m")

colnames(POS_nklg_OFF)<-cols

POS_nklg_OFF$time<-as.POSIXct(POS_nklg_OFF$time)

plot(x = POS_nklg_OFF$time, y =POS_nklg_OFF$lat_m, col="red",ylim=c(min(POS_nklg_OFF$h_m),
max(POS_nklg_OFF$h_m)), type = 'l',

      main = 'IGS NKLK: Odstupanje za nemodelirane vrijednosti - 069 - 082 / 2015', xlab = 'Vrijeme (dani)',

      ylab ='Odstupanja (m)')

grid(nx = NULL, ny = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted")

points(x = POS_nklg_OFF$time, y = POS_nklg_OFF$lon_m, col ='blue', type='l')

```

```

points(x = POS_nklg_OFF$time, y = POS_nklg_OFF$h_m, col = 'darkgreen', type = 'l')

legend("bottomleft", legend=c("lat_m", "lon_m", "h_m"),

      col=c("red", "blue", "darkgreen"), bg="transparent", lty=c(1,1), cex=0.8)

summary(POS_nklg_OFF)

summary(POS_nklg_OFF$lat_m)

rows<-names(summary(POS_nklg_OFF$lat_m))

summary_lat_m_nklg_OFF<-as.data.frame(matrix(summary(POS_nklg_OFF$lat_m)))

summary_lat_m_nklg_OFF<-rbind(summary_lat_m_nklg_OFF,sd(POS_nklg_OFF$lat_m))

summary(POS_nklg_OFF$lon_m)

rows<-names(summary(POS_nklg_OFF$lon_m))

summary_lon_m_nklg_OFF<-as.data.frame(matrix(summary(POS_nklg_OFF$lon_m)))

summary_lon_m_nklg_OFF<-rbind(summary_lon_m_nklg_OFF,sd(POS_nklg_OFF$lon_m))

summary(POS_nklg_OFF$h_m)

rows<-names(summary(POS_nklg_OFF$h_m))

summary_h_m_nklg_OFF<-as.data.frame(matrix(summary(POS_nklg_OFF$h_m)))

summary_h_m_nklg_OFF<-rbind(summary_h_m_nklg_OFF,sd(POS_nklg_OFF$h_m))

cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m')

stats_nklg_OFF<-cbind.data.frame(summary_lat_m_nklg_OFF,summary_lon_m_nklg_OFF,
summary_h_m_nklg_OFF)

rownames(stats_nklg_OFF)<-c(rows, 'sd')

colnames(stats_nklg_OFF)<-cols

print(stats_nklg_OFF)

write.csv(file='stats_nklg_OFF.csv', stats_nklg_OFF)

POS_nklg_OFF_069 <- pos_nklg_OFF[[1]]

POS_nklg_OFF_070 <- pos_nklg_OFF[[2]]

POS_nklg_OFF_071 <- pos_nklg_OFF[[3]]

```

```

POS_nklg_OFF_072 <- pos_nklg_OFF[[4]]

POS_nklg_OFF_073 <- pos_nklg_OFF[[5]]

POS_nklg_OFF_074 <- pos_nklg_OFF[[6]]

POS_nklg_OFF_075 <- pos_nklg_OFF[[7]]

POS_nklg_OFF_076 <- pos_nklg_OFF[[8]]

POS_nklg_OFF_077 <- pos_nklg_OFF[[9]]

POS_nklg_OFF_078 <- pos_nklg_OFF[[10]]

POS_nklg_OFF_079 <- pos_nklg_OFF[[11]]

POS_nklg_OFF_080 <- pos_nklg_OFF[[12]]

POS_nklg_OFF_081 <- pos_nklg_OFF[[13]]

POS_nklg_OFF_082 <- pos_nklg_OFF[[14]]

stats_nklg_OFF_all<-list(POS_nklg_OFF_069, POS_nklg_OFF_070, POS_nklg_OFF_071, POS_nklg_OFF_072,
POS_nklg_OFF_073, POS_nklg_OFF_074, POS_nklg_OFF_075, POS_nklg_OFF_076, POS_nklg_OFF_077,
POS_nklg_OFF_078, POS_nklg_OFF_079, POS_nklg_OFF_080, POS_nklg_OFF_081, POS_nklg_OFF_082)

stats_nklg_OFF_all<-lapply(stats_nklg_OFF_all, function(x) x[5:7])

stats_nklg_OFF_all<-lapply(stats_nklg_OFF_all,function(x) summary(x))

stats_nklg_OFF_all<-do.call(cbind.data.frame,stats_nklg_OFF_all)

cols=c("DOY069", "varijabla069", "069", "DOY070", "varijabla070", "070", "DOY071", "varijabla071",
"071","DOY072", "varijabla072", "072", "DOY073", "varijabla073", "073", "DOY074", "varijabla074", "074",
"DOY075", "varijabla075", "075", "DOY076", "varijabla076", "076", "DOY077", "varijabla077", "077",
"DOY078", "varijabla078", "078","DOY079", "varijabla079", "079", "DOY080", "varijabla080", "080",
"DOY081", "varijabla081", "081", "DOY082", "varijabla082", "082")

rows=c("lat_m_min","lat_m_1stQ", "lat_m_median", "lat_m_mean","lat_m_3rdQ",
"lat_m_max","lon_m_min","lon_m_1stQ", "lon_m_median", "lon_m_mean","lon_m_3rdQ", "lon_m_max",
"h_m_min","h_m_1stQ", "h_m_median", "h_m_mean","h_m_3rdQ", "h_m_max")

colnames(stats_nklg_OFF_all)<-cols

rownames(stats_nklg_OFF_all)<-rows

stats_nklg_OFF_all<-stats_nklg_OFF_all[,c(3,6,9,12,15,18,21,24,27,30,33,36,39,42)]

```

```

stats_nklg_OFF_all<-sapply(stats_nklg_OFF_all, function(x) gsub(".*:", "", x))

rownames(stats_nklg_OFF_all)<-rows

print(stats_nklg_OFF_all)

write.csv(file='stats_nklg_OFF_all.csv', stats_nklg_OFF_all)

par(mfrow=c(1,3))

hist(POS_nklg_OFF$lat_m, col="red",

     xlab="Odstupanja geografske sirine (m)",

     ylab="Ucestalost", breaks=20,

     main="Geografska sirina")

hist(POS_nklg_OFF$lon_m, col="blue",

     xlab="Odstupanja geografske duljine (m)",

     ylab="Ucestalost", breaks=20,

     main="Geografska duljina")

hist(POS_nklg_OFF$h_m, col="darkgreen",

     xlab="Odstupanja nadmorske visine (m)",

     ylab="Ucestalost", breaks=20,

     main="Nadmorska visina")

par(mfrow=c(1,1))

plot(POS_nklg_OFF$lon_m, POS_nklg_OFF$lat_m, col="red",

     ylab="Odstupanje geografske sirine (m)",

     xlab="Odstupanje geografske duljine (m)",

     main="IGS NKLK DOY069-082/2015")

points(POS_nklg_OFF$lon_m, POS_nklg_OFF$lat_m, col="blue")

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

library("scatterplot3d")

```

```

scatterplot3d(POS_nklg_OFF$lat_m, POS_nklg_OFF$lon_m,

              POS_nklg_OFF$h_m, angle=235, pch =16,

              color='red', main="IGS NKLK 3D Prikaz rasprsenosti polozejnih odstupanja za

              nemodelirane vrijednosti - 069 - 082 / 2015",

              xlab = "Odstupanja geografske sirine [m]",

              ylab = "Odstupanja geografske duljine [m]",

              zlab = "Odstupanja nadmorske visine [m]")

nklg_files_on <- Sys.glob("*nklg*_ON.pos")

nklg_files_off<-Sys.glob("*nklg*_OFF.pos")

nklg_iono_on<-lapply(nklg_files_on, function(x) read.csv(x, skip=12))

nklg_iono_on<-lapply(nklg_iono_on, function(x) x[1:4])

nklg_iono_off<-lapply(nklg_files_off, function(x) read.csv(x, skip=12))

nklg_iono_off<-lapply(nklg_iono_off, function(x) x[1:4])

c_names<-c("Time", "lat", "lon", "H")

nklg_iono_on<-lapply(nklg_iono_on, setNames, c_names)

nklg_iono_off<-lapply(nklg_iono_off, setNames, c_names)

nklg_ref_pos<-c(0.3539077106 , 9.6721262689, 31.5000)

dev_mtr <- function(nklg_ref_pos,df) {

  d_lat<-(nklg_ref_pos[1]-df[,2])

  d_lon<-(nklg_ref_pos[2]-df[,3])

  d_h<-(nklg_ref_pos[3]-df[,4])

  cos_lat<-(cos(nklg_ref_pos[1]*pi/180))

  lat_m<-(d_lat*60*1852)

  103

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

```

```

df$lat_m<-lat_m

df$lon_m<-lon_m

df$h_m<-d_h

return(df)

}

nklg_dev_on<-lapply(nklg_iono_on,function(x)

  dev_mtr(nklg_ref_pos,x))

nklg_dev_off<-lapply(nklg_iono_off,function(x)

  dev_mtr(nklg_ref_pos,x))

nklg_POS_ON<-do.call(rbind.data.frame,nklg_dev_on)

nklg_cols_on = c("Time","nklg_Lat", "nklg_Lon", "nklg_Nadmorska visina",

  "nklg_lat_m_on", "nklg_lon_m_on", "nklg_h_m_on")

colnames(nklg_POS_ON)<-nklg_cols_on

nklg_POS_ON$Time<-as.POSIXct(nklg_POS_ON$Time)

nklg_POS_OFF<-do.call(rbind.data.frame,nklg_dev_off)

nklg_cols_off = c("Time","nklg_Lat", "nklg_Lon", "nklg_Nadmorska

visina", "nklg_lat_m_off", "nklg_lon_m_off", "nklg_h_m_off")

colnames(nklg_POS_OFF)<-nklg_cols_off

nklg_POS_OFF$Time<-as.POSIXct(nklg_POS_OFF$Time)

nklg_stat_data_pos_on<-summary(nklg_POS_ON[,5:7])

print(nklg_stat_data_pos_on)

write.csv(nklg_stat_data_pos_on, "nklg_stat_data_pos_on.csv")

nklg_stat_data_pos_off<-summary(nklg_POS_OFF[,5:7])

print(nklg_stat_data_pos_off)

write.csv(nklg_stat_data_pos_off, "nklg_stat_data_pos_off.csv")

```

```

nklg_rez_lat <- nklg_POS_OFF$nklg_lat_m_off-nklg_POS_ON$nklg_lat_m_on

nklg_rez_lon <- nklg_POS_OFF$nklg_lon_m_off-nklg_POS_ON$nklg_lon_m_on

nklg_rez_h <- nklg_POS_OFF$nklg_h_m_off-nklg_POS_ON$nklg_h_m_on

nklg_rez_lat_stats<-summary(nklg_rez_lat)

print(summary(nklg_rez_lat))

nklg_rez_lon_stats<-summary(nklg_rez_lon)

print(summary(nklg_rez_lon))

nklg_rez_h_stats<-summary(nklg_rez_h)

print(summary(nklg_rez_h))

nklg_residuals_stats<-

  as.data.frame(cbind(nklg_rez_h_stats,nklg_rez_lon_stats,nklg_rez_lat_stats)

)

write.csv(nklg_residuals_stats,"nklg_residuals_stats.csv")

nklg_rez<-as.data.frame(cbind(nklg_rez_lat, nklg_rez_lon, nklg_rez_h))

nklg_rez$Time<-nklg_POS_OFF$Time

library("ggplot2")

g<-ggplot(nklg_rez, aes(Time, color = Legend)) +

  geom_line(aes(y = nklg_rez_lat, color = "Reziduali geografske sirine

[m]"))+

  geom_line(aes(y = nklg_rez_lon, color = "Reziduali geografske duljine

[m]"))+

  geom_line(aes(y = nklg_rez_h, color = "Reziduali nadmorske visine

[m]"))+

  scale_color_manual(values=c('red','blue','green'))+

  ggtitle("IGS NKLK - Reziduali položajnih odstupanja

```

```

0690 - 0820 / 2015")+

ylab("Reziduali položajnih odstupanja [m]")+xlab("Vrijeme (dani)")+

theme_minimal()+

theme(legend.position = "right")

g

files_pos_mbar_ON<-Sys.glob('*ON*.pos')

pos_mbar_ON<-lapply(files_pos_mbar_ON, function(x) read.csv(x, skip=12, sep = ','))

pos_mbar_ON<-lapply(pos_mbar_ON, function(x) x[1:4])

ref_pos<-c(-0.6014690556, 30.7378761944, 1337.653)

dev_mtr <- function(ref_pos,df) {

  d_lat<-(ref_pos[1]-df[,2])

  d_lon<-(ref_pos[2]-df[,3])

  d_h<-(ref_pos[3]-df[,4])

  cos_lat<-(cos(ref_pos[1]*pi/180))

  lat_m<-(d_lat*60*1852)

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

  df$lat_m<-lat_m

  df$lon_m<-lon_m

  df$h_m<-d_h

  return(df)

}

pos_mbar_ON<-lapply(pos_mbar_ON,function(x) dev_mtr(ref_pos,x))

POS_mbar_ON<-do.call(rbind.data.frame,pos_mbar_ON)

cols = c("time", "lat", "lon", "height", "lat_m", "lon_m", "h_m")

colnames(POS_mbar_ON)<-cols

```



```

POS_mbar_ON$time<-as.POSIXct(POS_mbar_ON$time)

plot(x = POS_mbar_ON$time, y =POS_mbar_ON$lat_m, col="red",ylim=c(min(POS_mbar_ON$h_m),
max(POS_mbar_ON$h_m)), type='l',

     main = 'IGS MBAR: Odstupanje za modelirane vrijednosti - DOY 069 - 082 /2015', xlab = 'Vrijeme (dani)',

     ylab ='Odstupanja (m)')

grid(nx = NULL, ny = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted")

points(x = POS_mbar_ON$time, y = POS_mbar_ON$lon_m, col='blue', type='l')

points(x = POS_mbar_ON$time, y = POS_mbar_ON$h_m, col ='darkgreen',type='l')

legend("bottomleft", legend=c("lat_m", "lon_m", "h_m"),

      col=c("red", "blue", "darkgreen"), bg="transparent", lty=c(1,1), cex=0.8)

summary(POS_mbar_ON)

summary(POS_mbar_ON$lat_m)

rows<-names(summary(POS_mbar_ON$lat_m))

summary_lat_m_mbar_ON<-as.data.frame(matrix(summary(POS_mbar_ON$lat_m)))

summary_lat_m_mbar_ON<-rbind(summary_lat_m_mbar_ON,sd(POS_mbar_ON$lat_m))

summary(POS_mbar_ON$lon_m)

rows<-names(summary(POS_mbar_ON$lon_m))

summary_lon_m_mbar_ON<-as.data.frame(matrix(summary(POS_mbar_ON$lon_m)))

summary_lon_m_mbar_ON<-rbind(summary_lon_m_mbar_ON,sd(POS_mbar_ON$lon_m))

summary(POS_mbar_ON$h_m)

rows<-names(summary(POS_mbar_ON$h_m))

summary_h_m_mbar_ON<-as.data.frame(matrix(summary(POS_mbar_ON$h_m)))

summary_h_m_mbar_ON<-rbind(summary_h_m_mbar_ON,sd(POS_mbar_ON$h_m))

cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m')

stats_mbar_ON<-cbind.data.frame(summary_lat_m_mbar_ON,summary_lon_m_mbar_ON,
summary_h_m_mbar_ON)

```

```

rownames(stats_mbar_ON)<-c(rows, 'sd')

colnames(stats_mbar_ON)<-cols

print(stats_mbar_ON)

write.csv(file='stats_mbar_ON.csv', stats_mbar_ON)

POS_mbar_ON_069 <- pos_mbar_ON[[1]]

POS_mbar_ON_070 <- pos_mbar_ON[[2]]

POS_mbar_ON_071 <- pos_mbar_ON[[3]]

POS_mbar_ON_072 <- pos_mbar_ON[[4]]

POS_mbar_ON_073 <- pos_mbar_ON[[5]]

POS_mbar_ON_074 <- pos_mbar_ON[[6]]

POS_mbar_ON_075 <- pos_mbar_ON[[7]]

POS_mbar_ON_076 <- pos_mbar_ON[[8]]

POS_mbar_ON_077 <- pos_mbar_ON[[9]]

POS_mbar_ON_078 <- pos_mbar_ON[[10]]

POS_mbar_ON_079 <- pos_mbar_ON[[11]]

POS_mbar_ON_080 <- pos_mbar_ON[[12]]

POS_mbar_ON_081 <- pos_mbar_ON[[13]]

POS_mbar_ON_082 <- pos_mbar_ON[[14]]

stats_mbar_ON_all<-list(POS_mbar_ON_069, POS_mbar_ON_070, POS_mbar_ON_071, POS_mbar_ON_072,
POS_mbar_ON_073, POS_mbar_ON_074, POS_mbar_ON_075, POS_mbar_ON_076, POS_mbar_ON_077,
POS_mbar_ON_078, POS_mbar_ON_079, POS_mbar_ON_080, POS_mbar_ON_081, POS_mbar_ON_082)

stats_mbar_ON_all<-lapply(stats_mbar_ON_all, function(x) x[5:7])

stats_mbar_ON_all<-lapply(stats_mbar_ON_all,function(x) summary(x))

stats_mbar_ON_all<-do.call(cbind.data.frame,stats_mbar_ON_all)

cols=c("DOY069", "varijabla069", "069", "DOY070", "varijabla070", "070", "DOY071", "varijabla071",
"071","DOY072", "varijabla072", "072", "DOY073", "varijabla073", "073", "DOY074", "varijabla074", "074",
"DOY075", "varijabla075", "075", "DOY076", "varijabla076", "076", "DOY077", "varijabla077", "077",

```

```

"DOY078", "varijabla078", "078","DOY079", "varijabla079", "079", "DOY080", "varijabla080", "080",
"DOY081", "varijabla081", "081", "DOY082", "varijabla082", "082")

rows=c("lat_m_min","lat_m_1stQ",          "lat_m_median",          "lat_m_mean","lat_m_3rdQ",
"lat_m_max","lon_m_min","lon_m_1stQ",  "lon_m_median",  "lon_m_mean","lon_m_3rdQ",  "lon_m_max",
"h_m_min","h_m_1stQ", "h_m_median", "h_m_mean","h_m_3rdQ", "h_m_max")

colnames(stats_mbar_ON_all)<-cols

rownames(stats_mbar_ON_all)<-rows

stats_mbar_ON_all<-stats_mbar_ON_all[,c(3,6,9,12,15,18,21,24,27,30,33,36,39,42)]

stats_mbar_ON_all<-sapply(stats_mbar_ON_all, function(x) gsub(".*:", "", x))

rownames(stats_mbar_ON_all)<-rows

print(stats_mbar_ON_all)

write.csv(file='stats_mbar_ON_all.csv', stats_mbar_ON_all)

par(mfrow=c(1,3))

hist(POS_mbar_ON$lat_m, col="red",

      xlab="Odstupanja geografske sirine (m)",

      ylab="Ucestalost", breaks=20,

      main="Geografska sirina")

hist(POS_mbar_ON$lon_m, col="blue",

      xlab="Odstupanja geografske duljine (m)",

      ylab="Ucestalost", breaks=20,

      main="Geografska duljina")

hist(POS_mbar_ON$h_m, col="darkgreen",

      xlab="Odstupanja nadmorske visine (m)",

      ylab="Ucestalost", breaks=20,

      main="Nadmorska visina")

par(mfrow=c(1,1))

plot(POS_mbar_ON$lon_m, POS_mbar_ON$lat_m, col="red",

```

```

ylab="Odstupanje geografske sirine (m)",

xlab="Odstupanje geografske duljine (m)",

main="IGS MBAR DOY069-082/2015")

points(POS_mbar_ON$lon_m, POS_mbar_ON$lat_m, col="blue")

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

library("scatterplot3d")

scatterplot3d(POS_mbar_ON$lat_m, POS_mbar_ON$lon_m,

              POS_mbar_ON$h_m, angle=235, pch =16,

              color='red', main="IGS MBAR 3D Prikaz raspršenosti položajnih odstupanja za

              modelirane vrijednosti - 069 - 082 / 2015",

              xlab = "Odstupanja geografske sirine [m]",

              ylab = "Odstupanja geografske duljine [m]",

              zlab = "Odstupanja nadmorske visine [m]")

files_pos_mbar_OFF<-Sys.glob('*OFF*.pos')

pos_mbar_OFF<-lapply(files_pos_mbar_OFF, function(x) read.csv(x, skip=12, sep = ','))

pos_mbar_OFF<-lapply(pos_mbar_OFF, function(x) x[1:4])

ref_pos<-c(-0.6014690556, 30.7378761944, 1337.653)

dev_mtr <- function(ref_pos,df) {

  d_lat<-(ref_pos[1]-df[,2])

  d_lon<-(ref_pos[2]-df[,3])

  d_h<-(ref_pos[3]-df[,4])

  cos_lat<-(cos(ref_pos[1]*pi/180))

  lat_m<-(d_lat*60*1852)

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

  df$lat_m<-lat_m

```

```

df$lon_m<-lon_m

df$h_m<-d_h

return(df)

}

pos_mbar_OFF<-lapply(pos_mbar_OFF,function(x) dev_mtr(ref_pos,x))

POS_mbar_OFF<-do.call(rbind.data.frame,pos_mbar_OFF)

cols = c("time","lat", "lon", "height", "lat_m", "lon_m", "h_m")

colnames(POS_mbar_OFF)<-cols

POS_mbar_OFF$time<-as.POSIXct(POS_mbar_OFF$time)

plot(x = POS_mbar_OFF$time, y =POS_mbar_OFF$lat_m, col="red",ylim=c(min(POS_mbar_OFF$h_m),
max(POS_mbar_OFF$h_m)), type ='l',

      main = 'IGS MBAR: Odstupanje za nemodelirane vrijednosti - 069 - 082 / 2015', xlab = 'Vrijeme (dani)',

      ylab ='Odstupanja (m)')

grid(nx = NULL, ny = NULL, col = "lightgray", lty = "dotted")

points(x = POS_mbar_OFF$time, y = POS_mbar_OFF$lon_m, col ='blue', type='l')

points(x = POS_mbar_OFF$time, y = POS_mbar_OFF$h_m, col ='darkgreen',type='l')

legend("bottomleft", legend=c("lat_m", "lon_m", "h_m"),

      col=c("red", "blue", "darkgreen"), bg="transparent", lty=c(1,1), cex=0.8)

summary(POS_mbar_OFF)

summary(POS_mbar_OFF$lat_m)

rows<-names(summary(POS_mbar_OFF$lat_m))

summary_lat_m_mbar_OFF<-as.data.frame(matrix(summary(POS_mbar_OFF$lat_m)))

summary_lat_m_mbar_OFF<-rbind(summary_lat_m_mbar_OFF,sd(POS_mbar_OFF$lat_m))

summary(POS_mbar_OFF$lon_m)

rows<-names(summary(POS_mbar_OFF$lon_m))

summary_lon_m_mbar_OFF<-as.data.frame(matrix(summary(POS_mbar_OFF$lon_m)))

```

```

summary_lon_m_mbar_OFF<-rbind(summary_lon_m_mbar_OFF,sd(POS_mbar_OFF$lon_m))

summary(POS_mbar_OFF$h_m)

rows<-names(summary(POS_mbar_OFF$h_m))

summary_h_m_mbar_OFF<-as.data.frame(matrix(summary(POS_mbar_OFF$h_m)))

summary_h_m_mbar_OFF<-rbind(summary_h_m_mbar_OFF,sd(POS_mbar_OFF$h_m))

cols<-c('lat_m', 'lon_m', 'h_m')

stats_mbar_OFF<-cbind.data.frame(summary_lat_m_mbar_OFF,summary_lon_m_mbar_OFF,
summary_h_m_mbar_OFF)

rownames(stats_mbar_OFF)<-c(rows, 'sd')

colnames(stats_mbar_OFF)<-cols

print(stats_mbar_OFF)

write.csv(file='stats_mbar_OFF.csv', stats_mbar_OFF)

POS_mbar_OFF_069 <- pos_mbar_OFF[[1]]

POS_mbar_OFF_070 <- pos_mbar_OFF[[2]]

POS_mbar_OFF_071 <- pos_mbar_OFF[[3]]

POS_mbar_OFF_072 <- pos_mbar_OFF[[4]]

POS_mbar_OFF_073 <- pos_mbar_OFF[[5]]

POS_mbar_OFF_074 <- pos_mbar_OFF[[6]]

POS_mbar_OFF_075 <- pos_mbar_OFF[[7]]

POS_mbar_OFF_076 <- pos_mbar_OFF[[8]]

POS_mbar_OFF_077 <- pos_mbar_OFF[[9]]

POS_mbar_OFF_078 <- pos_mbar_OFF[[10]]

POS_mbar_OFF_079 <- pos_mbar_OFF[[11]]

POS_mbar_OFF_080 <- pos_mbar_OFF[[12]]

POS_mbar_OFF_081 <- pos_mbar_OFF[[13]]

POS_mbar_OFF_082 <- pos_mbar_OFF[[14]]

```

```

stats_mbar_OFF_all<-list(POS_mbar_OFF_069,          POS_mbar_OFF_070,          POS_mbar_OFF_071,
POS_mbar_OFF_072, POS_mbar_OFF_073, POS_mbar_OFF_074, POS_mbar_OFF_075, POS_mbar_OFF_076,
POS_mbar_OFF_077, POS_mbar_OFF_078, POS_mbar_OFF_079, POS_mbar_OFF_080, POS_mbar_OFF_081,
POS_mbar_OFF_082)

stats_mbar_OFF_all<-lapply(stats_mbar_OFF_all, function(x) x[5:7])

stats_mbar_OFF_all<-lapply(stats_mbar_OFF_all,function(x) summary(x))

stats_mbar_OFF_all<-do.call(cbind.data.frame,stats_mbar_OFF_all)

cols=c("DOY069", "varijabla069", "069", "DOY070", "varijabla070", "070", "DOY071", "varijabla071",
"071","DOY072","varijabla072", "072","DOY073","varijabla073", "073","DOY074","varijabla074", "074",
"DOY075", "varijabla075", "075", "DOY076", "varijabla076", "076", "DOY077", "varijabla077", "077",
"DOY078", "varijabla078", "078","DOY079", "varijabla079", "079", "DOY080", "varijabla080", "080",
"DOY081", "varijabla081", "081", "DOY082", "varijabla082", "082")

rows=c("lat_m_min","lat_m_1stQ",          "lat_m_median",          "lat_m_mean","lat_m_3rdQ",
"lat_m_max","lon_m_min","lon_m_1stQ",  "lon_m_median",  "lon_m_mean","lon_m_3rdQ",  "lon_m_max",
"h_m_min","h_m_1stQ", "h_m_median", "h_m_mean","h_m_3rdQ", "h_m_max")

colnames(stats_mbar_OFF_all)<-cols

rownames(stats_mbar_OFF_all)<-rows

stats_mbar_OFF_all<-stats_mbar_OFF_all[,c(3,6,9,12,15,18,21,24,27,30,33,36,39,42)]

stats_mbar_OFF_all<-sapply(stats_mbar_OFF_all, function(x) gsub(".*:", "", x))

rownames(stats_mbar_OFF_all)<-rows

print(stats_mbar_OFF_all)

write.csv(file='stats_mbar_OFF_all.csv', stats_mbar_OFF_all)

par(mfrow=c(1,3))

hist(POS_mbar_OFF$lat_m, col="red",

      xlab="Odstupanja geografske sirine (m)",

      ylab="Ucestalost", breaks=20,

      main="Geografska sirina")

hist(POS_mbar_OFF$lon_m, col="blue",

      xlab="Odstupanja geografske duljine (m)",

```

```

ylab="Ucestalost", breaks=20,

main="Geografska duljina")

hist(POS_mbar_OFF$h_m, col="darkgreen",

xlab="Odstupanja nadmorske visine (m)",

ylab="Ucestalost", breaks=20,

main="Nadmorska visina")

par(mfrow=c(1,1))

plot(POS_mbar_OFF$lon_m, POS_mbar_OFF$lat_m, col="red",

ylab="Odstupanje geografske sirine (m)",

xlab="Odstupanje geografske duljine (m)",

main="IGS MBAR DOY069-082/2015")

points(POS_mbar_OFF$lon_m, POS_mbar_OFF$lat_m, col="blue")

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

library("scatterplot3d")

scatterplot3d(POS_mbar_OFF$lat_m, POS_mbar_OFF$lon_m,

POS_mbar_OFF$h_m, angle=235, pch =16,

color='red', main="IGS MBAR 3D Prikaz raspršenosti položajnih odstupanja za

nemodelirane vrijednosti - 069 - 082 / 2015",

xlab = "Odstupanja geografske sirine [m]",

ylab = "Odstupanja geografske duljine [m]",

zlab = "Odstupanja nadmorske visine [m]")

mbar_files_on <- Sys.glob("*mbar*_ON.pos")

mbar_files_off<-Sys.glob("*mbar*_OFF.pos")

mbar_iono_on<-lapply(mbar_files_on, function(x) read.csv(x, skip=12))

mbar_iono_on<-lapply(mbar_iono_on, function(x) x[1:4])

```



```

mbar_iono_off<-lapply(mbar_files_off, function(x) read.csv(x, skip=12))

mbar_iono_off<-lapply(mbar_iono_off, function(x) x[1:4])

c_names<-c("Time", "lat", "lon", "H")

mbar_iono_on<-lapply(mbar_iono_on, setNames, c_names)

mbar_iono_off<-lapply(mbar_iono_off, setNames, c_names)

mbar_ref_pos<-c(-0.6014690556, 30.7378761944, 1337.653)

dev_mtr <- function(mbar_ref_pos,df) {

  d_lat<-(mbar_ref_pos[1]-df[,2])

  d_lon<-(mbar_ref_pos[2]-df[,3])

  d_h<-(mbar_ref_pos[3]-df[,4])

  cos_lat<-(cos(mbar_ref_pos[1]*pi/180))

  lat_m<-(d_lat*60*1852)

  103

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

  df$lat_m<-lat_m

  df$lon_m<-lon_m

  df$h_m<-d_h

  return(df)

}

mbar_dev_on<-lapply(mbar_iono_on,function(x)

  dev_mtr(mbar_ref_pos,x))

mbar_dev_off<-lapply(mbar_iono_off,function(x)

  dev_mtr(mbar_ref_pos,x))

mbar_POS_ON<-do.call(rbind.data.frame,mbar_dev_on)

mbar_cols_on = c("Time", "mbar_Lat", "mbar_Lon", "mbar_Nadmorska

```

```

visina",

      "mbar_lat_m_on", "mbar_lon_m_on", "mbar_h_m_on")

colnames(mbar_POS_ON)<-mbar_cols_on

mbar_POS_ON$Time<-as.POSIXct(mbar_POS_ON$Time)

mbar_POS_OFF<-do.call(rbind.data.frame,mbar_dev_off)

mbar_cols_off = c("Time","mbar_Lat", "mbar_Lon", "mbar_Nadmorska
visina", "mbar_lat_m_off", "mbar_lon_m_off", "mbar_h_m_off")

colnames(mbar_POS_OFF)<-mbar_cols_off

mbar_POS_OFF$Time<-as.POSIXct(mbar_POS_OFF$Time)

mbar_stat_data_pos_on<-summary(mbar_POS_ON[,5:7])

print(mbar_stat_data_pos_on)

write.csv(mbar_stat_data_pos_on, "mbar_stat_data_pos_on.csv")

mbar_stat_data_pos_off<-summary(mbar_POS_OFF[,5:7])

print(mbar_stat_data_pos_off)

write.csv(mbar_stat_data_pos_off, "mbar_stat_data_pos_off.csv")

mbar_rez_lat<-mbar_POS_OFF$mbar_lat_m_off-mbar_POS_ON$mbar_lat_m_on

mbar_rez_lon <- mbar_POS_OFF$mbar_lon_m_off-mbar_POS_ON$mbar_lon_m_on

mbar_rez_h <- mbar_POS_OFF$mbar_h_m_off-mbar_POS_ON$mbar_h_m_on

mbar_rez_lat_stats<-summary(mbar_rez_lat)

print(summary(mbar_rez_lat))

mbar_rez_lon_stats<-summary(mbar_rez_lon)

print(summary(mbar_rez_lon))

mbar_rez_h_stats<-summary(mbar_rez_h)

print(summary(mbar_rez_h))

mbar_residuals_stats<-

```

```

as.data.frame(cbind(mbar_rez_h_stats,mbar_rez_lon_stats,mbar_rez_lat_stats)
)

write.csv(mbar_residuals_stats,"mbar_residuals_stats.csv")

mbar_rez<-as.data.frame(cbind(mbar_rez_lat, mbar_rez_lon, mbar_rez_h))

mbar_rez$Time<-mbar_POS_OFF$Time

library("ggplot2")

g<-ggplot(mbar_rez, aes(Time, color = Legend)) +

  geom_line(aes(y = mbar_rez_lat, color = "Reziduali geografske sirine
[m]"))+

  geom_line(aes(y = mbar_rez_lon, color = "Reziduali geografske duljine
[m]"))+

  geom_line(aes(y = mbar_rez_h, color = "Reziduali nadmorske visine
[m]"))+

  scale_color_manual(values=c('red','blue','green'))+

  ggtitle("IGS MBAR - Reziduali položajnih odstupanja
0690 - 0820 / 2015")+

  ylab("Reziduali položajnih odstupanja [m]")+xlab("Vrijeme (dani)")+

  theme_minimal()+

  theme(legend.position = "right")

g

files_pos_mbar_ON<-Sys.glob('*ON*.pos')

pos_mbar_ON<-lapply(files_pos_mbar_ON, function(x) read.csv(x, skip=12, sep = ','))

pos_mbar_ON<-lapply(pos_mbar_ON, function(x) x[1:4])

pos_mbar_ON <- do.call(rbind, pos_mbar_ON)

pos_mbar_ON$X...GPST<-as.POSIXct(pos_mbar_ON$X...GPST)

```

```

cols = c("GPST","lat", "lon", "height")

colnames(pos_mbar_ON)<-cols

files_tec <- Sys.glob("mbar*.Std")

tec<-lapply(files_tec, function(x) read.csv(x, header=FALSE, sep = ','))

tec<-lapply(tec, function(x) x[1:2])

for (i in 1:length(tec)) {

  colnames(tec[[i]]) <- c("time", "TEC")

}

tec <- do.call(rbind, tec)

tec$GPST<-pos_mbar_ON$GPST

tec<-tec[,2:3]

files_geom<-Sys.glob('aee*.min')

geom<-lapply(files_geom, function(x) read.csv(x, skip=21, sep = ','))

geom<-lapply(geom, function(x) x[1:6])

for (j in 1:length(geom)) {

  colnames(geom[[j]]) <- c("Date", "Time", "DOY", "X", "Y", "Z")

}

geom<-do.call(rbind, geom)

fctr.col<-c("Date", "Time")

geom[, fctr.col] <- sapply(geom[, fctr.col], as.character)

geom$GPST <- paste(geom$Date,geom$Time)

geom$GPST<-as.POSIXct(geom$GPST)

geom <- geom[,4:7]

lat<--0.6014690556

lon<-30.7378761944

```

```

h<- 1337.653

d_lat<-(lat-pos_mbar_ON$lat)

d_lon<-(lon-pos_mbar_ON$lon)

d_h<-(h-pos_mbar_ON$height)

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

lat_m<-(d_lat*60*1852)

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

dev<-as.data.frame(cbind(lat_m, lon_m, d_h))

dev$GPST<-pos_mbar_ON$GPST

write.csv(file='pos_devs_mbar (edit).csv', dev,row.names = FALSE)

total <- merge(tec,dev,by="GPST", all.x=TRUE)

total <- merge(total, geom, by = "GPST", all.x = TRUE)

summary(total)

write.csv(file='all_observations_mbar (edited).csv', total, row.names = FALSE)

stats<-lapply(total, function(x) matrix(summary(x)))

stats<-lapply(stats, function(x) as.data.frame(x))

stats<-lapply(stats, function(x) x[1:6,])

stats<-do.call(cbind.data.frame, stats)

row.names(stats)<-c("MIN", "1stQ","Median","Mean","3rdQ","MAX")

stats<-stats[,2:8]

summary(stats)

plot(x = total$GPST, y= total$TEC, col="red",ylim=c(min(stats$TEC), max(stats$TEC)), type='l',

      main = 'Ukupni sadrzaj elektrona (TEC) za stanicu MBAR, DOY 069 - 082 / 2015', xlab = 'Vrijeme (h)',

      ylab = 'TEC [TECU]')

total$Date <- as.Date(total$GPST)

```

```

split_data <- split(total, total$Date)

for (i in 1:length(split_data)) {

  date <- as.Date(names(split_data)[i])

  filename <- paste0("TEC_values_", format(date, "%Y-%m-%d"), ".csv")

  tec_values <- paste0("", as.character(split_data[[i]]$TEC))

  write.csv(tec_values, file = filename, row.names = FALSE)

}

total$Date <- as.Date(total$GPST)

split_data <- split(total, total$Date)

summary_stats <- lapply(split_data, function(df) {

  result <- c(

    MIN = min(df$TEC),

    "1stQ" = quantile(df$TEC, 0.25),

    Median = median(df$TEC),

    Mean = mean(df$TEC),

    "3rdQ" = quantile(df$TEC, 0.75),

    MAX = max(df$TEC)

  )

  result

})

summary_data <- do.call(rbind, summary_stats)

row.names(summary_data) <- names(split_data)

write.csv(summary_data, file = "TEC_summary_stats.csv", row.names = TRUE)

```

PRILOG 2. TABLIČNI PRIKAZI DOBIVENIH REZULTATA ZA POJEDINU STANICU

MODELIRANI ZAPISI ZA STANICU SALU			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-6.01018077601292	-4.21843482255073	-25.2483
1st Qu.	-1.5078206159956	-0.574684567055447	-6.6796
Median	-0.350283576015791	0.216262248810439	-3.57355
Mean	-0.594876863247515	0.307541054262491	-4.01997558035714
3rd Qu.	0.399943103979474	1.04339708145476	-0.763525
Max.	3.63547970398045	5.67798853905615	9.8395
sd	1.39487739898653	1.27329402801853	4.29194366806256
NEMODELIRANI ZAPISI ZA STANICU SALU			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-6.46955085602404	-5.18607573293512	-38.2258
1st Qu.	-1.58907711601991	-0.712637502734896	-18.507075
Median	-0.371229696021729	0.306565780085682	-13.5771
Mean	-0.613642187104572	0.360384138797683	-13.1471317311508
3rd Qu.	0.425334024007746	1.39076318418802	-8.04615
Max.	7.12842578401094	5.0237180878394	4.0141
sd	1.49915409605541	1.4219229616308	6.52082442095352

PRIKAZ ODSUPANJA MODELIRANIH VRIJEDNOSTI PO DANIMA ZA STANICU SALU														
	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080	081	082
lat_m_min	-5.65726	-5.4022	-5.78483	-4.28015	-5.2411	-3.28641	-5.74871	-6.0102	-6.00996	-4.6551	-5.2509	-4.9471	-5.29657	-5.2795
lat_m_1stQ	-1.72067	-1.4493	-1.21358	-1.26889	-1.9202	-1.21749	-0.79385	-1.1745	-2.03539	-1.8719	-1.0838	-1.1722	-2.18235	-2.0075
lat_m_median	-0.77960	-0.3025	-0.47963	0.01919	-0.2840	-0.08348	0.03469	-0.1807	-0.81715	-0.1028	-0.0627	-0.3339	-0.92050	-0.5271
lat_m_mean	-0.97333	-0.5662	-0.66648	-0.22534	-0.6654	-0.27172	-0.11838	-0.5749	-1.03581	-0.5281	-0.3381	-0.4333	-1.09672	-0.8346
lat_m_3rdQ	-0.06176	0.4677	0.04242	0.72850	0.4647	0.59629	0.58843	0.3687	0.04719	0.6673	0.4861	0.5579	-0.02884	0.2002
lat_m_max	2.83075	2.9416	1.87034	3.37168	2.9901	2.77563	3.56225	2.5286	2.26804	2.5511	3.6355	2.8754	3.62548	2.7785
lon_m_min	-4.2184	-2.1477	-3.7936	-2.752043	-3.24358	-3.70659	-3.2424	-3.3287	-1.5504	-2.0740	-2.5730	-2.5836	-2.9459	-3.0912
lon_m_1stQ	-0.8716	-0.5163	-0.4870	-0.730176	-0.81080	-0.68297	-0.5172	-0.7521	0.1471	-0.2210	-0.5442	-0.4313	-0.5898	-0.6929
lon_m_median	-0.2898	0.1108	0.2332	-0.001976	-0.07358	0.08777	0.4631	0.2548	0.9140	0.5707	0.1252	0.2572	0.2996	0.1958
lon_m_mean	-0.2876	0.2792	0.4287	0.279154	-0.09225	-0.05979	0.4682	0.2494	1.0254	0.6913	0.2029	0.3690	0.2963	0.4555
lon_m_3rdQ	0.4496	0.8892	1.1359	1.029577	0.62596	0.69631	1.4427	1.0533	1.8498	1.4032	0.8137	1.0814	1.1628	1.4586
lon_m_max	1.8151	4.3406	4.5351	5.085327	3.25961	2.60945	5.2239	5.6780	4.7806	5.2062	3.9383	4.2560	3.9806	4.6845
h_m_min	-20.1025	-21.7058	-14.6078	-20.7018	-17.3110	-21.87340	-17.9955	-18.0228	-20.2703	-15.5564	-18.526	-17.020	-19.107	-25.248
h_m_1stQ	-6.6387	-6.5538	-3.0581	-4.9595	-6.2919	-6.76222	-5.2573	-7.1884	-9.1653	-6.9894	-6.643	-5.772	-7.191	-8.094
h_m_median	-4.0588	-4.0723	-1.1180	-1.7229	-3.0632	-2.68220	-2.5819	-3.2857	-5.7779	-3.4198	-4.548	-3.501	-4.893	-5.362
h_m_mean	-3.7220	-3.5825	-1.7924	-2.7716	-3.9133	-3.64482	-3.2642	-4.2135	-6.8718	-3.9753	-4.498	-3.590	-4.682	-5.757
h_m_3rdQ	0.1677	-0.4833	0.8991	0.6416	-0.9541	0.02245	-0.6892	-0.4178	-3.8353	-0.5181	-1.103	-1.491	-1.559	-2.820
h_m_max	5.2098	6.9390	9.8395	6.0616	5.5031	5.13430	4.1739	3.3969	0.4597	5.5597	4.490	6.291	7.419	2.600
PRIKAZ ODSUPANJA NEMODELIRANIH VRIJEDNOSTI PO DANIMA ZA STANICU SALU														
	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080	081	082
lat_m_min	-6.0659	-6.2195	-5.8133	-4.00413	-5.8405	-3.81445	-5.097886	-6.2504	-6.4696	-4.8023	-5.33090	-5.0520	-5.88939	-5.5548
lat_m_1stQ	-1.9519	-1.6291	-1.2982	-1.30633	-2.0025	-1.25399	-0.879104	-1.3227	-2.1136	-1.9396	-1.07954	-1.2095	-2.22843	-1.9979
lat_m_median	-0.8450	-0.3488	-0.5470	0.09297	-0.3299	-0.09465	-0.002145	-0.2594	-0.8149	-0.1429	-0.09193	-0.3614	-0.87571	-0.5155
lat_m_mean	-1.1023	-0.6403	-0.6647	-0.19697	-0.6656	-0.28381	-0.106461	-0.5984	-1.0434	-0.5423	-0.34038	-0.4476	-1.10899	-0.8497
lat_m_3rdQ	-0.1357	0.4740	0.1008	0.78639	0.5097	0.65482	0.655380	0.3946	0.0610	0.6893	0.50640	0.5935	0.09784	0.2123
lat_m_max	4.1696	4.4453	4.3761	7.12843	3.9303	4.45621	4.237195	3.6175	2.7549	2.9304	4.27309	3.7958	4.62667	4.4694
lon_m_min	-5.1861	-3.3397	-3.7802	-2.9441	-3.79528	-3.766973	-4.1670	-4.1674	-2.36163	-1.7981	-3.2323	-3.5159	-3.0984	-2.8686
lon_m_1stQ	-1.0707	-0.5800	-0.6794	-0.8311	-0.99459	-0.753849	-0.6525	-0.8455	0.01895	-0.4687	-0.7424	-0.6451	-0.7071	-0.7049
lon_m_median	-0.3605	0.3125	0.4520	0.2110	-0.16688	0.104590	0.5284	0.4383	1.06263	0.7339	0.2339	0.3027	0.3383	0.2286
lon_m_mean	-0.2633	0.3179	0.4322	0.3803	-0.05527	0.007372	0.5453	0.3160	1.11793	0.7262	0.2371	0.4070	0.3484	0.5282
lon_m_3rdQ	0.7602	1.1473	1.4346	1.5041	0.86432	0.943852	1.7793	1.5371	2.26483	1.7517	1.3461	1.2693	1.2903	1.8642
lon_m_max	2.8602	3.8351	4.4785	3.9366	4.02833	3.307118	5.0237	5.0166	4.27909	4.9187	3.2154	4.5196	3.5579	4.0651
h_m_min	-33.221	-35.273	-29.060	-38.226	-29.846	-30.3801	-25.736	-30.7352	-29.800	-31.896	-30.683	-30.088	-36.948	-31.866
h_m_1stQ	-18.208	-18.154	-17.433	-18.470	-17.355	-18.1265	-16.226	-19.4237	-18.822	-18.540	-19.701	-18.115	-19.944	-20.303
h_m_median	-11.978	-12.145	-12.508	-13.967	-13.657	-13.0704	-12.467	-12.9125	-16.409	-13.689	-13.510	-13.375	-14.005	-13.895
h_m_mean	-12.225	-12.103	-12.288	-13.345	-12.873	-12.6207	-12.183	-13.1705	-15.839	-12.979	-13.500	-12.492	-13.681	-14.759

h_m_3rdQ	-6.998	-6.672	-6.640	-8.634	-9.188	-6.5582	-8.017	-7.4410	-12.780	-8.034	-8.472	-6.339	-7.961	-9.291
h_m_max	2.244	4.014	3.291	1.004	3.008	-0.3785	1.359	0.5252	-4.289	2.276	1.562	2.718	2.706	-1.731

REZIDUALI ZA STANICU SALU			
	salu_rez_h_stats	salu_rez_lon_stats	salu_rez_lat_stats
Min.	-21.5042	-1.5952698774805	-1.37066519996015
1st Qu.	-13.845225	-0.360048559672797	-0.172124879980338
Median	-9.64285	-0.0188155484510514	-0.0317803200141142
Mean	-9.12715615079365	0.0528430845351912	-0.0187653238570573
3rd Qu.	-3.660425	0.49372775728935	0.109675439994703
Max.	-1.6469	2.30770757024986	3.88119936002969

NEMODELIRANI ZAPISI ZA STANICU NKLK			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-12.5909405280043	-9.74060448981605	-35.6643
1st Qu.	-2.1729404880042	-1.37109463547896	-16.958975
Median	-0.0738281280018516	0.035657727744559	-12.19085
Mean	-0.896794761614098	-0.313483159847673	-12.3792538955224
3rd Qu.	0.989368031999853	0.902293854920778	-7.061
Max.	4.90201435199757	7.216317381793	19.0477
sd	2.8600641484821	1.75035740768394	6.00169453461905

MODELIRANI ZAPISI ZA STANICU NKLK			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-12.1470161280005	-9.33713546679809	-31.5622
1st Qu.	-2.17621852800247	-1.04735269158481	-5.4514
Median	-0.0858290880017032	-0.0444582639921125	-3.1404
Mean	-0.920062905413955	-0.230075472141163	-3.80262399621872
3rd Qu.	0.899971991999102	0.699142590420763	-1.34355
Max.	4.84423195199714	7.14331293438515	22.7624
sd	2.77668332765284	1.47767655649498	4.19132554717313

PRIKAZ ODSUPANJA MODELIRANIH VRIJEDNOSTI PO DANIMA ZA STANICU NKLK														
	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080	081	082
lat_m_min	-7.96059	-8.0539	-7.7126	-6.434915	-9.1354	-9.1437	-7.9306	-2.64450	-2.1106	-0.5886	-0.8254	-9.1252	-9.8450	-2.0010
lat_m_1stQ	-1.59158	-0.9497	-1.8547	-1.377816	-1.6708	-3.2139	-2.5012	-0.07332	0.8071	0.8537	0.7539	-1.2521	-1.9223	0.4559
lat_m_median	0.01366	0.3351	0.1498	-0.000678	-0.3904	-1.5609	-0.5628	0.55598	2.5935	2.0239	1.4923	-0.3515	-0.1785	1.5588
lat_m_mean	-0.88635	-0.2185	-0.4396	-0.121345	-0.9059	-1.9333	-1.2777	0.90317	2.3187	2.0727	1.6576	-0.8855	-0.8675	1.6008
lat_m_3rdQ	0.58931	1.4963	1.2503	1.660872	0.4726	0.2878	0.2371	1.55659	3.8587	3.3407	2.7578	0.3624	0.6736	2.5613
lat_m_max	2.67092	3.5250	4.0191	4.869656	3.3960	1.4299	1.6478	6.71036	6.8849	5.3080	4.1616	1.9714	3.2183	5.3591
lon_m_min	-4.42473	-3.315705	-2.767136	-3.2600	-3.62860	-2.18834	-2.96681	-3.01270	-2.9061	-4.1723	-3.9526	-3.86250	-4.2400	-3.8542
lon_m_1stQ	-0.82117	-0.842949	-0.952646	-1.1155	-1.02251	-0.73425	-0.57233	-0.81792	-0.7861	-1.2433	-0.6621	-1.05131	-1.0843	-1.4397
lon_m_median	-0.07373	0.001211	-0.092013	-0.5194	-0.05674	-0.06962	0.08416	0.06988	-0.1938	-0.5624	0.1889	-0.19874	-0.2590	-0.3744
lon_m_mean	0.03500	0.178249	0.006839	-0.3422	0.24080	0.11844	0.33085	0.24224	-0.1009	-0.4596	0.2491	-0.09566	-0.2913	-0.4919
lon_m_3rdQ	0.87637	1.221492	0.840565	0.3841	1.32469	0.95473	1.36305	1.42727	0.5958	0.6056	1.0570	0.85890	0.4713	0.6850
lon_m_max	3.67702	4.401376	3.212124	4.5116	6.24887	2.83667	5.57596	3.72625	2.0048	2.4459	3.5196	3.70003	4.8176	2.7292
h_m_min	-8.4777	-7.0449	-6.0350	-5.185	-10.49670	-15.0843	-12.0097	-12.50930	-11.9056	-8.2141	-10.53520	-10.2847	-11.3594	-8.1674
h_m_1stQ	-1.9843	-1.5516	0.5549	0.849	-1.88857	-2.0983	-1.0003	-2.81018	-2.6354	-2.4034	-1.34425	-2.3496	-2.1234	-1.8612
h_m_median	0.1074	0.7127	1.9537	2.371	0.10810	-0.1089	0.9415	0.00245	-0.3387	-0.6710	-0.16755	-0.7188	-0.7582	-0.2426
h_m_mean	-0.1323	0.4404	1.8184	2.053	0.09075	-0.6144	0.8795	-1.19941	-0.4089	-0.3445	-0.01412	-0.3861	-0.6230	-0.4877
h_m_3rdQ	1.5567	2.3704	3.1054	3.388	1.65525	1.6326	2.7734	1.51490	1.5334	1.6811	1.79482	1.3864	1.3080	1.1533
h_m_max	5.3884	8.1684	9.6482	9.452	11.57990	5.7557	10.3749	8.11460	9.6021	9.5528	7.96550	6.6521	7.0099	6.0610

PRIKAZ ODSTUPANJA NEMODELIRANIH VRIJEDNOSTI PO DANIMA ZA STANICU NKLG														
	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080	081	082
lat_m_min	-7.91414	-7.9596	-7.8606	-6.30713	-9.5628	-9.0369	-8.0394	-2.47571	-2.195	-0.8035	-0.7961	-9.3917	-9.28192	-2.0567
lat_m_1stQ	-1.50971	-0.9618	-1.7477	-1.32837	-1.6706	-3.0538	-2.2204	0.01619	1.051	0.9990	0.9158	-1.0814	-1.85505	0.5988
lat_m_median	0.04127	0.3561	0.2401	0.07088	-0.3094	-1.5567	-0.4679	0.72694	3.113	2.1716	1.6695	-0.2031	-0.06629	1.7776
lat_m_mean	-0.82709	-0.1447	-0.2707	0.06611	-0.8023	-1.8542	-1.1640	1.08722	2.574	2.2603	1.8637	-0.7522	-0.75611	1.8138
lat_m_3rdQ	0.64560	1.7567	1.5132	2.04790	0.6597	0.3634	0.3317	1.82205	4.212	3.6350	3.0069	0.4550	0.84525	2.8091
lat_m_max	3.98636	3.6140	4.0945	4.82565	4.2135	1.7709	2.0672	7.91557	7.893	5.4721	4.6536	2.0265	3.41987	6.1780
lon_m_min	-4.8125	-3.3360	-2.908917	-3.6205	-3.7650	-3.5418	-2.9919	-3.4519	-3.194035	-4.3825	-4.08428	-4.40806	-5.2364	-4.1387
lon_m_1stQ	-0.8611	-1.3526	-1.181429	-1.4769	-1.2254	-0.9700	-0.8373	-0.9992	-0.892117	-1.5948	-0.77009	-1.14826	-1.2823	-1.7344
lon_m_median	0.1642	-0.1079	0.001767	-0.4847	0.3468	-0.1256	0.1164	0.2125	-0.185016	-0.5514	-0.05435	-0.25007	-0.0819	-0.4272
lon_m_mean	0.1797	0.2828	0.087638	-0.2243	0.4167	0.2659	0.4916	0.3656	0.002946	-0.3701	0.36203	0.05146	-0.2420	-0.3591
lon_m_3rdQ	1.2700	1.6131	1.282715	1.2371	2.1995	1.5466	1.9071	1.4428	0.752841	1.1025	1.56706	1.55603	1.0557	1.1416
lon_m_max	4.3789	5.1786	4.313485	3.8868	5.7000	3.9011	5.4752	5.4165	3.480131	3.2015	4.39838	3.46980	4.0777	3.8784
h_m_min	-26.147	-23.027	-23.472	-25.481	-23.273	-32.666	-21.100	-20.276	-29.932	-23.945	-24.178	-27.924	-30.916	-24.917
h_m_1stQ	-14.725	-12.060	-14.188	-13.630	-13.945	-13.494	-12.550	-15.129	-14.215	-15.354	-13.717	-14.085	-14.608	-14.346
h_m_median	-7.441	-7.194	-7.197	-6.775	-7.944	-9.763	-7.465	-12.130	-8.647	-7.795	-7.577	-7.535	-8.722	-7.554
h_m_mean	-8.510	-7.877	-8.189	-8.031	-8.388	-9.098	-7.487	-9.741	-8.919	-8.886	-8.593	-8.803	-9.179	-9.037
h_m_3rdQ	-3.069	-2.810	-2.806	-2.300	-2.521	-3.971	-2.484	-2.973	-3.059	-3.412	-3.706	-4.339	-4.348	-4.235
h_m_max	2.382	2.690	2.337	4.932	3.255	1.881	7.709	5.235	2.947	1.994	1.239	1.669	4.044	1.239

REZIDUALI ZA STANICU NKLG			
	nklg_rez_h_stats	nklg_rez_lon_stats	nklg_rez_lat_stats
Min.	-22.0834	-2.26158221563895	-1.74569520000023
1st Qu.	-13.1548	-0.631149559627029	-0.0965632799954363
Median	-8.8123	-0.055003350708323	0.0333360000009586
Mean	-8.57632962336435	-0.0829572900272306	0.0232590873058228
3rd Qu.	-3.1523	0.47780688480242	0.163124159997412
Max.	-0.0112000000000023	1.42008650876605	1.09808784000184

NEMODELIRANI ZAPISI ZA STANICU MBAR			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-9.56283163199934	-5.23641925245397	-32.66630000000001
1st Qu.	-0.784573871999701	-1.13378933763249	-14.06950000000001
Median	0.451969488003288	-0.102346992603786	-7.986750000000003
Mean	0.220985705443951	0.0936325557093676	-8.62425397817458
3rd Qu.	1.74198934800203	1.35613376134869	-3.291100000000003
Max.	7.91556652800097	5.69996412564301	7.708800000000011
sd	2.577312648622	1.73433632615543	6.05667522576507
MODELIRANI ZAPISI ZA STANICU MBAR			
	lat_m	lon_m	h_m
Min.	-9.84496531200197	-4.42473237837457	-15.0843
1st Qu.	-0.846884411992348	-0.931589859177777	-1.778249999999996
Median	0.323292528003165	-0.139125685891077	0.2595500000000104
Mean	0.0726555694796989	-0.027150692653082	0.0765418154762096
3rd Qu.	1.48983028800291	0.872899509043464	2.134424999999996
Max.	6.88492852799754	6.24886667976262	11.5799
sd	2.48725063008765	1.33364098849768	3.08156062446974

PRIKAZ ODSUPANJA MODELIRANIH VRIJEDNOSTI PO DANIMA ZA STANICU MBAR														
	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080	081	082
lat_m_min	-7.96059	-8.0539	-7.7126	-6.434915	-9.1354	-9.1437	-7.9306	-2.64450	-2.1106	-0.5886	-0.8254	-9.1252	-9.8450	-2.0010
lat_m_1stQ	-1.59158	-0.9497	-1.8547	-1.377816	-1.6708	-3.2139	-2.5012	-0.07332	0.8071	0.8537	0.7539	-1.2521	-1.9223	0.4559
lat_m_median	0.01366	0.3351	0.1498	-0.000678	-0.3904	-1.5609	-0.5628	0.55598	2.5935	2.0239	1.4923	-0.3515	-0.1785	1.5588
lat_m_mean	-0.88635	-0.2185	-0.4396	-0.121345	-0.9059	-1.9333	-1.2777	0.90317	2.3187	2.0727	1.6576	-0.8855	-0.8675	1.6008
lat_m_3rdQ	0.58931	1.4963	1.2503	1.660872	0.4726	0.2878	0.2371	1.55659	3.8587	3.3407	2.7578	0.3624	0.6736	2.5613
lat_m_max	2.67092	3.5250	4.0191	4.869656	3.3960	1.4299	1.6478	6.71036	6.8849	5.3080	4.1616	1.9714	3.2183	5.3591
lon_m_min	-4.42473	-3.315705	-2.767136	-3.2600	-3.62860	-2.18834	-2.96681	-3.01270	-2.9061	-4.1723	-3.9526	-3.86250	-4.2400	-3.8542
lon_m_1stQ	-0.82117	-0.842949	-0.952646	-1.1155	-1.02251	-0.73425	-0.57233	-0.81792	-0.7861	-1.2433	-0.6621	-1.05131	-1.0843	-1.4397
lon_m_median	-0.07373	0.001211	-0.092013	-0.5194	-0.05674	-0.06962	0.08416	0.06988	-0.1938	-0.5624	0.1889	-0.19874	-0.2590	-0.3744
lon_m_mean	0.03500	0.178249	0.006839	-0.3422	0.24080	0.11844	0.33085	0.24224	-0.1009	-0.4596	0.2491	-0.09566	-0.2913	-0.4919
lon_m_3rdQ	0.87637	1.221492	0.840565	0.3841	1.32469	0.95473	1.36305	1.42727	0.5958	0.6056	1.0570	0.85890	0.4713	0.6850
lon_m_max	3.67702	4.401376	3.212124	4.5116	6.24887	2.83667	5.57596	3.72625	2.0048	2.4459	3.5196	3.70003	4.8176	2.7292
h_m_min	-8.4777	-7.0449	-6.0350	-5.185	-10.49670	-15.0843	-12.0097	-12.50930	-11.9056	-8.2141	-10.53520	-10.2847	-11.3594	-8.1674
h_m_1stQ	-1.9843	-1.5516	0.5549	0.849	-1.88857	-2.0983	-1.0003	-2.81018	-2.6354	-2.4034	-1.34425	-2.3496	-2.1234	-1.8612
h_m_median	0.1074	0.7127	1.9537	2.371	0.10810	-0.1089	0.9415	0.00245	-0.3387	-0.6710	-0.16755	-0.7188	-0.7582	-0.2426
h_m_mean	-0.1323	0.4404	1.8184	2.053	0.09075	-0.6144	0.8795	-1.19941	-0.4089	-0.3445	-0.01412	-0.3861	-0.6230	-0.4877
h_m_3rdQ	1.5567	2.3704	3.1054	3.388	1.65525	1.6326	2.7734	1.51490	1.5334	1.6811	1.79482	1.3864	1.3080	1.1533
h_m_max	5.3884	8.1684	9.6482	9.452	11.57990	5.7557	10.3749	8.11460	9.6021	9.5528	7.96550	6.6521	7.0099	6.0610

PRIKAZ ODSUPANJA NEMODELIRANIH VRIJEDNOSTI PO DANIMA ZA STANICU MBAR														
	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080	081	082
lat_m_min	-7.91414	-7.9596	-7.8606	-6.30713	-9.5628	-9.0369	-8.0394	-2.47571	-2.195	-0.8035	-0.7961	-9.3917	-9.28192	-2.0567
lat_m_1stQ	-1.50971	-0.9618	-1.7477	-1.32837	-1.6706	-3.0538	-2.2204	0.01619	1.051	0.9990	0.9158	-1.0814	-1.85505	0.5988
lat_m_median	0.04127	0.3561	0.2401	0.07088	-0.3094	-1.5567	-0.4679	0.72694	3.113	2.1716	1.6695	-0.2031	-0.06629	1.7776
lat_m_mean	-0.82709	-0.1447	-0.2707	0.06611	-0.8023	-1.8542	-1.1640	1.08722	2.574	2.2603	1.8637	-0.7522	-0.75611	1.8138
lat_m_3rdQ	0.64560	1.7567	1.5132	2.04790	0.6597	0.3634	0.3317	1.82205	4.212	3.6350	3.0069	0.4550	0.84525	2.8091
lat_m_max	3.98636	3.6140	4.0945	4.82565	4.2135	1.7709	2.0672	7.91557	7.893	5.4721	4.6536	2.0265	3.41987	6.1780
lon_m_min	-4.8125	-3.3360	-2.908917	-3.6205	-3.7650	-3.5418	-2.9919	-3.4519	-3.194035	-4.3825	-4.08428	-4.40806	-5.2364	-4.1387
lon_m_1stQ	-0.8611	-1.3526	-1.181429	-1.4769	-1.2254	-0.9700	-0.8373	-0.9992	-0.892117	-1.5948	-0.77009	-1.14826	-1.2823	-1.7344
lon_m_median	0.1642	-0.1079	0.001767	-0.4847	0.3468	-0.1256	0.1164	0.2125	-0.185016	-0.5514	-0.05435	-0.25007	-0.0819	-0.4272
lon_m_mean	0.1797	0.2828	0.087638	-0.2243	0.4167	0.2659	0.4916	0.3656	0.002946	-0.3701	0.36203	0.05146	-0.2420	-0.3591
lon_m_3rdQ	1.2700	1.6131	1.282715	1.2371	2.1995	1.5466	1.9071	1.4428	0.752841	1.1025	1.56706	1.55603	1.0557	1.1416
lon_m_max	4.3789	5.1786	4.313485	3.8868	5.7000	3.9011	5.4752	5.4165	3.480131	3.2015	4.39838	3.46980	4.0777	3.8784
h_m_min	-26.147	-23.027	-23.472	-25.481	-23.273	-32.666	-21.100	-20.276	-29.932	-23.945	-24.178	-27.924	-30.916	-24.917
h_m_1stQ	-14.725	-12.060	-14.188	-13.630	-13.945	-13.494	-12.550	-15.129	-14.215	-15.354	-13.717	-14.085	-14.608	-14.346
h_m_median	-7.441	-7.194	-7.197	-6.775	-7.944	-9.763	-7.465	-12.130	-8.647	-7.795	-7.577	-7.535	-8.722	-7.554
h_m_mean	-8.510	-7.877	-8.189	-8.031	-8.388	-9.098	-7.487	-9.741	-8.919	-8.886	-8.593	-8.803	-9.179	-9.037
h_m_3rdQ	-3.069	-2.810	-2.806	-2.300	-2.521	-3.971	-2.484	-2.973	-3.059	-3.412	-3.706	-4.339	-4.348	-4.235
h_m_max	2.382	2.690	2.337	4.932	3.255	1.881	7.709	5.235	2.947	1.994	1.239	1.669	4.044	1.239

REZIDUALI ZA STANICU MBAR			
	mbar_rez_h_stats	mbar_rez_lon_stats	mbar_rez_lat_stats
Min.	-21.3383000000001	-1.75526592082554	-0.945520079992708
1st Qu.	-13.468625	-0.46867833474727	-0.0214461599979643
Median	-8.41054999999994	0.0699461856567301	0.100785839999382
Mean	-8.70079579365079	0.12078324836245	0.148330135964252
3rd Qu.	-3.17290000000003	0.745074104624177	0.290689920007372
Max.	-1.28269999999998	1.97693810592292	1.42878096000667